

PN-ABA-808

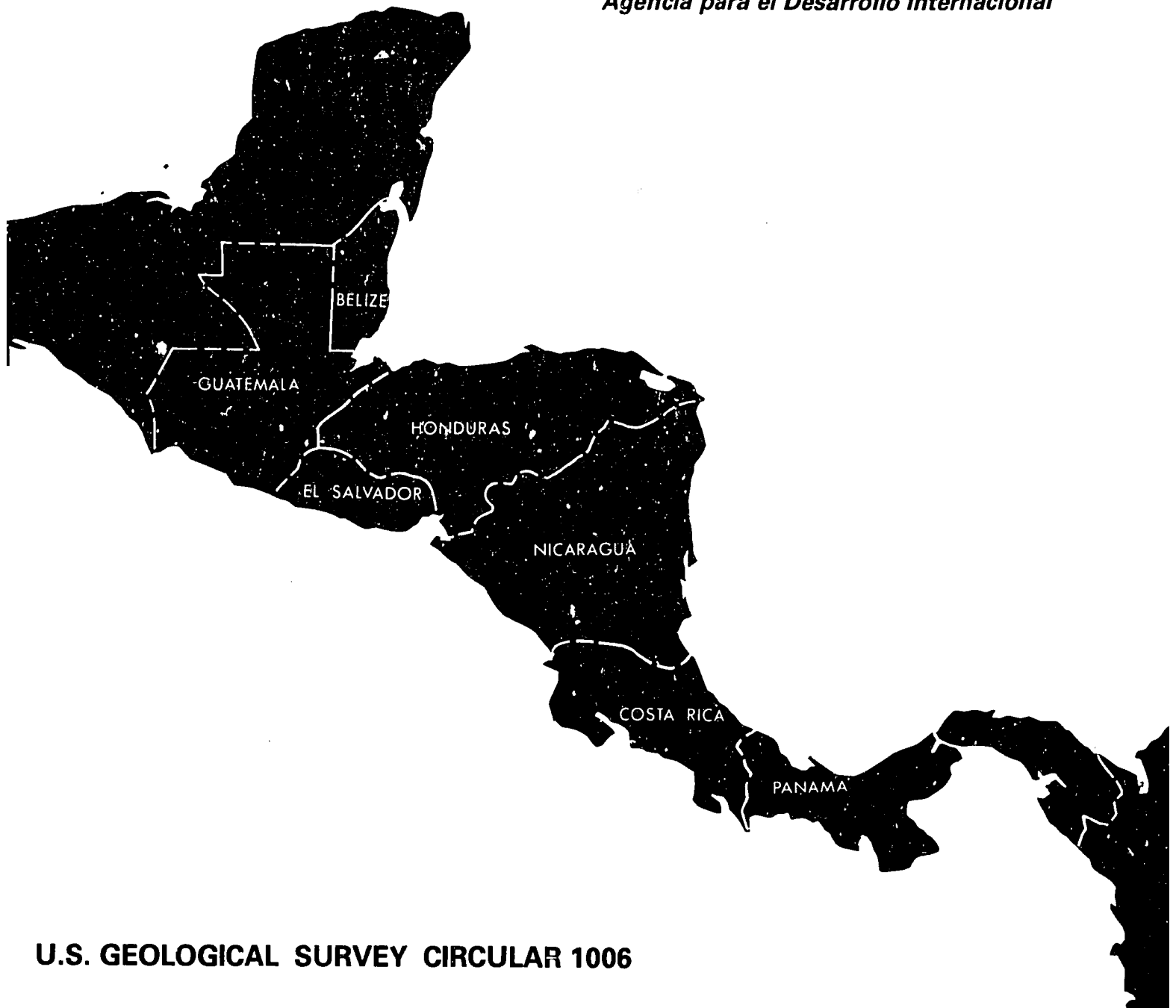
71313

**Proceedings of a Workshop on
Development of Mineral, Energy, and
Water Resources and Mitigation of
Geologic Hazards in Central America**

**Curso de Accion de un taller sobre
Desarrollo de Recursos Minerales,
Energía, y Agua y Mitigación de Riesgos
Geológicos en Centroamerica**

*Prepared in cooperation with the U.S.
Agency for International Development*

*Preparado con la cooperación de la
Agencia para el Desarrollo Internacional*



**Proceedings of a Workshop on
Development of Mineral, Energy, and
Water Resources and Mitigation of
Geologic Hazards in Central America**

Edited by Richard D. Krushensky, Simon M. Cargill, and Gary L. Raines

**Curso de Accion de un taller sobre
Desarrollo de Recursos Minerales,
Energía, y Agua y Mitigación de Riesgos
Geológicos en Centroamerica**

Redactado por Richard D. Krushensky, Simon M. Cargill, y Gary L. Raines

U.S. GEOLOGICAL SURVEY CIRCULAR 1006

*Prepared in cooperation with the U.S.
Agency for International Development*

*A workshop concerning needs and
opportunities for resource development*

*Preparado con la cooperación de la Agencia
para el Desarrollo Internacional*

*Un taller concerniente a las necesidades y
oportunidades para el desarrollo de recursos*

DEPARTMENT OF THE INTERIOR
DONALD PAUL HODEL, Secretary

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
Dallas L. Peck, Director



Any trade names in this publication are used for descriptive purposes only and do not constitute endorsement by the U.S. Geological Survey.

UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE : 1987

Free on application to the Books and Open-File Reports Section,
U.S. Geological Survey, Federal Center, Box 25425, Denver, CO 80225

Library of Congress Cataloging in Publication Data

Development of mineral, energy, and water resources and
mitigation of geologic hazards in Central America.

(U.S. Geological Survey circular ; 1006)

English and Spanish.

"Prepared in cooperation with the U.S. Agency for
International Development."

Supt. of Docs. no.: I 19.4/2:1006

1. Mines and mineral resources—Central America—
Congresses. 2. Geology—Central America—
Congresses. 3. Hydrology—Central America—
Congresses.

I. Krushensky, R.D. II. Cargill, Simon M. III. Raines,
Gary L. IV. United States. Agency for International
Development. V. Title: Desarrollo de recursos
minerales, energía, y agua y mitigación de riesgos
geológicos. VI. Series.

TN30.D48 1988 553'.09728 87-600167

CONTENTS

INDICE

Introduction	1
Objectives	1
Participants	1
Specific subjects discussed	1
Agenda	2
Introducción	5
Objetivos	5
Participantes	5
Sujetos específicos	5
Agenda	6
Geological Situation in Guatemala, by Oscar Salazar	9
Situación Geológica en Guatemala, por Oscar Salazar	11
Current Geological Situation in El Salvador, by Ricardo Burgos	13
Situación Actual de la Geología en El Salvador, por Ricardo Burgos	19
Current Geological Situation in Honduras, by Carlo Hugo Rivera	25
Situación Actual de la Geología en Honduras, por Carlo Hugo Rivera	28
Use of Water, Energy, and Mineral Resources and the Reduction of Geologic Risks in Panama, by Jose Saenz	31
Aprovechamiento de los Recursos Hidrológicos, Energéticos, y Minerales y la Disminución de los Riesgos Geológicos en Panama, por Jose Saenz	33
Present Geological Situation in Costa Rica, by Rolando Castillo	35
Situación Actual de la Geología en Costa Rica, por Rolando Castillo	45
Report on Geological Work in Belize, by Prasada Rao and Clinton Gardiner	56
Reporte sobre el Trabajo Geológico Realizado en Belice, por Prasada Rao y Clinton Gardiner	58
The Interamerican Development Bank and the Development of Minerals and Fossil Fuels in Central America, by Bernardo F. Grossling	61
El Banco Interamericano de Desarrollo y el Desarrollo de Minerales y Recursos Energéticos en America Central, por Bernardo F. Grossling	63
An Integrated Program of Energy and Mineral Resources Support for Central America, by Ronald K. Lohrding and John T. Whetten	65
Programa de Asesoramiento Integrado de Recursos Minerales y Energéticos para América Central, por Ronald K. Lohrding y John T. Whetten	67
Developing a Comprehensive Data Base for Mineral-Resource Planning and Development in Central America, by Byron R. Berger, Dennis P. Cox, James E. Case, Donald A. Singer, Carroll A. Hodges, John P. Albers, and Roger P. Ashley	69
Creación de una Base de Datos Completos para el Planeamiento y Desarrollo de Recursos Minerales en América Central, por Byron R. Berger, Dennis P. Cox, James E. Case, Donald A. Singer, Carroll A. Hodges, John P. Albers, y Roger P. Ashley	83
Coal Resource Assessment in Central America, by Edwin R. Landis	98

Evaluación de Recursos Carboníferos en América Central, por Edwin R. Landis	100
Offshore Resources, by N. Terence Edgar	102
Recursos de Aguas Afuera, por N. Terence Edgar	104
Minerals and Agriculture in Central America, by Thomas D. Fouch, James B. Cathcart, Richard A. Sheppard, and David Z. Piper	106
Los Minerales y la Agricultura en América Central, por Thomas D. Fouch, James B. Cathcart, Richard A. Sheppard, y David Z. Piper	109
Geothermal Resource Assessment for Central America, by Wendell A. Duffield	113
La Evaluación de Recursos Geotérmicos en Centroamérica, por Wendell A. Duffield	114
Selecting a Strategy for Reducing Landslide Losses, by Russell H. Campbell	115
Selección de Una Estrategia para Reducir las Pérdidas por Derrumbes, por Russell H. Campbell	118
Volcano Hazards in Central America, by Wendell A. Duffield	122
Riesgos Volcánicos en Centroamérica, por Wendell A. Duffield	123
USGS Cooperative Earthquake Hazard-Reduction Programs in Central America: A Review, Some Significant Results, and Recommendations, by Randall A. White	124
Programas Cooperativos del Servicio Geológico de los Estados Unidos para Reducción de Riesgos por Terremotos en Centroamérica: Una Revisión, Algunos Resultados Significativos, y Recomendaciones, por Randall A. White	129
The Bureau of Mines—Functions and Capabilities, by Harold J. Bennett	134
Oficina de Minas—Funciones y Aptitudes, por Harold J. Bennett	137
Management and Development of Surface and Ground Waters, by Ferdinand Quinones Marquez	140
El Manejo y Desarrollo de las Aguas Superficiales y Subterráneas, por Ferdinand Quinones Marquez	150
Water Resources Development—The Experience of the U.S. Bureau of Reclamation, by Richard H. Ives	160
Desarrollo de los Recursos Hídricos—Experiencia de la Oficina de Recuperación de los Estados Unidos, por Richard H. Ives	162
Regional Geological Framework Studies—A Necessary Foundation for Resource Development Programs, by Robert C. McDowell	165
Estudios Regionales de la Estructura Geológica—Una Base Necesaria para los Programas de Desarrollo de Recursos, por Robert C. McDowell	167
Library Resources, Information Management, and National Earth-Science Programs, by George Goodwin	170
Recursos para Biblioteca, Manejo de Información, y Programas Nacionales de las Ciencias de la Tierra, por George Goodwin	172
Precious-Metal Deposits in Volcanic Terranes, by Roger P. Ashley and Byron R. Berger	174
Depósitos de Metales Preciosos en Terrenos Volcánicos, por Roger P. Ashley y Byron R. Berger	183
Deposit Models in Resource Assessment and Mineral Exploration, by Dennis P. Cox and Donald A. Singer	192
Modelos de Yacimientos en Distribución de Recursos y Exploración Mineral, por Dennis P. Cox y Donald A. Singer	194
The Application of Electrical Geophysical Methods to Resource Assessment in the Tropics, by Donald B. Hoover	196
La Aplicación de los Métodos Geofísicos Eléctricos en la Evaluación de los Recursos en los Trópicos, por Donald B. Hoover	200

Geochemical Exploration for Mineral Resources in Tropical Environments of Central America and the Caribbean, by Sherman P. Marsh	205
Exploración Geoquímica de Recursos Minerales en los Ambientes Tropicales de Centroamérica y el Caribe, por Sherman P. Marsh	210
Expert Systems Research in Regional Resource Evaluation: Experiences in the Application of Microcomputer Technologies, by Richard B. McCammon	216
Sistemas Idóneos de Investigación en Recursos de Evaluación Regional: Experiencias en la Aplicación de Tecnologías Microcomputarizadas, por Richard B. McCammon	217
Current Geobotanical Remote-Sensing Techniques for Humid Regions, by Nancy Milton	218
Técnicas Geobotánicas Actuales de Percepción a Distancia para Regiones Húmedas, por Nancy Milton	223
Discussion Group 1: The Role of Geologic Framework Studies in a National Earth-Science Program	228
Grupo de Discusión 1: El Papel que Desempeñan los Estudios de Estructura Geológica en un Programa Nacional de Ciencias de la Tierra	230
Discussion Group 2: Geologic Hazards	232
Grupo de Discusión 2: Peligros Geológicos	236
Discussion Group 3: Water-Resource Management	240
Grupo de Discusión 3: Manejo de Recursos de Agua	242
Discussion Group 4: Mineral Resource Assessment	244
Grupo de Discusión 4: Asesoría de Recursos Minerales	246
Discussion Group 5: Regional-Resource Assessment	248
Grupo de Discusión 5: Asesoramiento de Recursos Regionales	249
Discussion Group 6: The Future of Exploration in Central America	250
Grupo de Discusión 6: El Futuro de la Exploración en Centroamérica	252
Discussion Group 7: Training, Technology Transfer, and Information Management	254
Grupo de Discusión 7: Entrenamiento, Transferencia de Tecnología y el Manejo de Información	256
ICAITI's Role as a Regional Geological Center, by Gabriel Dengo	258
Función del ICAITI como Organismo Geológico Regional, por Gabriel Dengo	261
Conclusions	264
Conclusiones	265
Invited Participants	266
Participantes Invitados	266

Development of Mineral, Energy, and Water Resources and Mitigation of Geologic Hazards in Central America: A Workshop Concerning Needs and Opportunities for Resource Development

Edited by Richard D. Krushensky, Simon M. Cargill, *and* Gary L. Raines

INTRODUCTION

A meeting entitled, "Development of Mineral, Energy, and Water Resources and the Mitigation of Geologic Hazards in Central America: A Workshop Concerning Needs and Opportunities for Resource Development," was convened by the U.S. Geological Survey (USGS) in Antigua, Guatemala, April 21–27, 1985. Funding was provided by the U.S. Agency for International Development (USAID) and the U.S. Department of the Interior; the USGS was assisted by the Instituto Centroamericano de Investigacion y Tecnologia Industrial (ICAITI). Contributions to the workshop were translated by ICAITI staff and supplemental translations were made by Mrs. Amalia Guerriero, USGS.

OBJECTIVES

The workshop was conducted under the assumption that, in order to be effective, contributions to the economic self-sufficiency of the nations of Central America, and possibly to the political stability of the region, must reduce the problems related to balance of payments in the region, substitute local for imported commodities, augment the availability of local jobs, increase the efficiency of agricultural production, and transfer technology, so that local scientists can conduct future geoscience work without dependence on outside assistance. The workshop was designed to solicit the opinions of Central American experts both as to the state of geoscience development in each of the participating countries and as to priorities for resource development and hazards mitigation in the region and in each country.

Objectives of the workshop were to make an initial assessment of the nature, scope, and availability of earth-

and water-resource data; to identify the potential for geologic hazards in the region; to identify opportunities for resource development and hazards mitigation; to identify those factors that might inhibit resource development; and to identify those programs needed to further appropriate development.

PARTICIPANTS

Participants at the workshop included representatives from Belizean, Guatemalan, Honduran, Salvadoran, Costa Rican, and Panamanian governmental agencies concerned with earth and water resources and geologic hazards, officials of the Inter-American Development Bank (IDB), specialists in resource development and geologic hazards from the USGS, U.S. Bureau of Mines, U.S. Bureau of Reclamation, the Los Alamos National Laboratory, and interested persons from the private and academic sectors.

SPECIFIC SUBJECTS DISCUSSED

Specific subjects discussed during the workshop included:

- Assessment of present knowledge of the basic geologic framework; mineral, energy, and water resources; and geologic hazards for each of the participating Central American countries.
- Examination of new technologies that could be used to identify, explore, and exploit new or already

known mineral, energy, and water resources and to mitigate hazards.

- Discussion of new concepts for discovery and development of various mineral and energy commodities.
- Examination of the potential and need for development of energy resources such as coal, oil, gas, geothermal power, and hydropower.
- Review of the means to predict and mitigate geologic and hydrologic disasters.
- Assessment of the availability and skills levels of

personnel trained in the earth sciences, and the needs for further training.

The workshop met in plenary session for 2 days, during which time Central American representatives presented assessments of the state of and need for mineral-, energy-, and water-resource development and hazards mitigation in each of their countries and other participants presented topical papers on a large variety of subjects related to resource development and hazard mitigation.

AGENDA

Monday, April 22, 1985

0800-0900	Registration
0900-1030	Inaugural Ceremony
1030-1100	Coffee Break

Moderator: Richard D. Krushensky

1100-1130	The Situation in Guatemala	Oscar Salazar (Instituto Geográfico Militar)
1130-1200	The Situation in El Salvador	Ricardo Burgos (Centro de Investigaciones Geotécnicas)
1200-1230	The Situation in Honduras	Carlo Hugo Rivera (Dirección General de Minas e Hidrocarburos)
1230-1300	The Situation in Panama	Jose Saenz (Instituto de Geociencias)
1300-1430	Lunch—The Transfer of Technology, Its Potential Benefits	Gregorio Escalante (Independent Consultant)
1430-1500	The Situation in Costa Rica	Rolando Castillo (Escuela Centroamericana de Geología)
1500-1530	The Situation in Belize	Prasada Rao (Ministry of Natural Resources)
1530-1600	Coffee Break	
1600-1630	The IDB and the Development of Minerals and Fossil Fuels in Central America	Bernardo F. Grossling (Interamerican Development Bank)
1630-1730	An Integrated Program of Mineral and Energy Resources for Central America	Ronald K. Lohrding, (Los Alamos National Laboratory)

Tuesday, April 23

Moderator: Gregorio Escalante

0800-0900	Developing a Comprehensive Data Base for Mineral Resource Planning and Development in Central America	Byron R. Berger (USGS)
0900-0930	Coal Resource Assessment in Central America	Edwin R. Landis (USGS)
0930-1000	Coffee Break	
1000-1030	Offshore Resources	N. Terence Edgar (USGS)
1030-1100	Minerals and Agriculture in Central America	Thomas D. Fouch (USGS)
1100-1130	Geothermal Resource Assessment for Central America	Wendell A. Duffield (USGS)
1130-1200	Selecting A Strategy for Reducing Landslide Losses	Russell H. Campbell (USGS)
1200-1230	Volcanic Risks in Central America	Wendell A. Duffield (USGS)
1230-1300	USGS Cooperative Hazard-Reduction Programs in Central America	Randall A. White (USGS)
1300-1400	Lunch	
1400-1430	An Integrated Program of Energy and Mineral Resources in Central America	Ronald K. Lohrding (Los Alamos National Laboratory)
1430-1500	The Bureau of Mines: Functions and Capabilities	Harold J. Bennett (U.S. Bureau of Mines)
1500-1530	Coffee Break	
1530-1600	Management and Development of Surface and Ground Water	Ferdinand Quiñones M. (USGS)
1600-1630	Water Resources Development: The Bureau of Reclamation Experience	Richard H. Ives (Bureau of Reclamation)

1630–1700	Regional Geologic Framework Studies: A Necessary Foundation for Resource Development Programs	Robert C. McDowell (USGS)
1700–1730	Library Resources, Information Management, and National Earth-Science Programs	George Goodwin, Jr. (USGS)
	<i>Informal Paper</i>	
1930–2000	Hydrology in Central America	Luis García (Comité Regional de Recursos Hidráulicos de América Central)
<i>Wednesday, April 24</i>		
0800–0830	Organization of the Discussion Groups	Gabriel Dengo (ICAITI)
0830–1200	Poster Sessions	U.S. Department of the Interior–Los Alamos National Laboratory participants
1200–1330	Lunch	
1330–1700	Continuation of Poster Session Informal Papers	
1930–2000	The Eruption of El Chichon 1982: Experience in Risk and Evaluation of Resources	Wendell A. Duffield (USGS)
2000–2300	Recent Microseismicity and Hazards Mitigation Studies in Central America	Randall A. White (USGS)
<i>Thursday, April 25</i>		
0800–1300	Discussion Groups Meet	
1300–1430	Lunch	
1430–1730	Discussion Groups Meet	
	<i>Informal Paper</i>	
1930–2000	Geological Problems in the Tunnels of the Chixoy Hydroelectric Project, Guatemala	Rodolfo Alvarado (Hydroelectric Study of the Usumacinta)
<i>Friday, April 26</i>		
0800–1200	Preparation of Discussion Group Reports	
1200–1330	Lunch	
1330–1730	Plenary Session for Discussion Group Reports	
1730–1800	The Function of ICAITI as a Regional Organization	Gabriel Dengo (ICAITI)
1800–1815	Closing Comment	Francisco Aguirre (ICAITI)
<i>Saturday, April 27</i>		
	Departure of the Participants	

Abstracts, in both Spanish and English, summarize the presentations noted in the agenda and are included in this report as a record of the proceedings. Informal papers, for which no abstracts were supplied, are not included in this report. Poster sessions papers, not listed in the agenda, but included in this report include the following:

Deposit Models in Resource Assessment and Mineral Exploration, by Dennis P. Cox and Donald A. Singer (USGS)

The Application of Electrical Geophysical Methods to Resource Assessment in the Tropics, by Donald B. Hoover (USGS)

Geochemical Exploration for Mineral Resources in Tropical Environments of Central America and the Caribbean, by Sherman P. Marsh (USGS)

Expert Systems Research in Regional Resource Evaluation: Experiences in the Application

of Microcomputer Technology, by Richard B. McCammon (USGS)

Current Geobotanical Remote Sensing Techniques for Humid Regions, by Nancy Milton (USGS)

Representatives participated in discussion groups for 2 days to determine regional and local needs and opportunities for development of indigenous resources. The groups, each chaired by a Central American representative, discussed the following topics: Geologic Framework Studies, Geologic Hazards, Water-Resource Management, Mineral-Resource Assessment, Regional Energy-Resources Assessment, Future of Exploration in Central America, and Training, Technology, and Information Transfer. Although recommendations of the discussion groups varied widely, all agreed upon the following priorities:

- Need for training (both for professional growth and for basic academic instruction) conducted chiefly within the region and preferably at the Central

American School of Geology, University of Costa Rica;

- Utilization of ICAITI as a unique Central American center for geoscience and related technology; and
- Centralization, in one institution within each of the

participating Central American countries, of all geoscience activities.

Summaries of the considerations and recommendations by each discussion group are included as part of this report.

Desarrollo de Recursos Minerales, Energía, y Agua y Mitigación de Riesgos Geológicos en Centroamérica: Un Taller Concerniente a las Necesidades y Oportunidades para el Desarrollo de Recursos.

Redactado por Richard D. Krushensky, Simon M. Cargill, y Gary L. Raines

INTRODUCCION

Un taller denominado “Desarrollo de Recursos Minerales, Energía, y Agua y Mitigación de Riesgos Geológicos en Centroamérica: Un Taller Concerniente a las Necesidades y Oportunidades para el Desarrollo de Recursos”, fue presentado por el U.S. Geological Survey (USGS) en Antigua, Guatemala, desde el 21 al 27 de abril de 1985. Los fondos fueron proporcionados por la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID), y el USGS fue apoyado por el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). Las contribuciones al taller fueron traducidas por el personal de ICAITI y las traducciones suplementarias por la Sra. Amalia M. Guerrero del U.S. Geological Survey.

OBJETIVOS

El taller fue llevado a cabo con la suposición de que contribuciones a la autosuficiencia económica de las naciones de América Central y posiblemente para la estabilidad política de la región, para ser eficaz debe reducir los problemas de pagos internacionales en la región, substituir productos locales por importados, aumentar la disponibilidad de trabajos locales, aumentar la eficiencia de la producción agrícola, y transferir tecnología, de manera que los científicos locales puedan llevar a cabo trabajos geocientíficos en el futuro sin necesidad de ayuda exterior. El taller fue diseñado con el propósito de solicitar opiniones de los expertos centroamericanos en lo referente al actual desarrollo geocientífico de cada uno de los países participantes y las prioridades para el desarrollo de recursos y mitigación de riesgos en la región y en cada país.

Los objetivos del taller tuvieron como fin hacer una evaluación del carácter, propósito y disponibilidad de datos sobre recursos de agua y tierra, identificar el potencial de riesgos geológicos en la región, identificar oportunidades para el desarrollo de recursos y mitigación de riesgos, identificar aquellos factores que pudieran inhibir el desarrollo de recursos, e identificar aquellos programas que pudieran favorecer el desarrollo adecuado.

PARTICIPANTES

Agencias gubernamentales relacionadas con los recursos de agua y tierra y riesgos geológicos de países tales como Belize, Guatemala, Honduras, El Salvador, Costa Rica, y Panama estuvieron representadas como así también el Banco Interamericano de Desarrollo, especialistas del U.S. Geological Survey (Servicio Geológico), Oficina de Minas (U.S. Bureau of Mines), Oficina de Reclamación (U.S. Bureau of Reclamation), el Laboratorio Nacional de los Alamos (Los Alamos National Laboratory) y el sector privado y académico.

SUJETOS ESPECIFICOS

Las siguientes tareas específicas fueron llevadas a cabo durante el taller:

- Evaluación de conocimientos actuales sobre la estructura geológica, mineral, recursos de energía y

agua y riesgos geológicos de cada uno de los países participantes de Centroamérica.

- Estudio de nuevas tecnologías que puedan ser utilizadas para identificar, explorar, y explotar recursos nuevos o conocidos de energía, minerales y agua, como así también para la mitigación de riesgos.
- Análisis de conceptos nuevos que puedan afectar el potencial para el descubrimiento y desarrollo de varios productos minerales y energéticos.
- Estudio del potencial y necesidad para el desarrollo de recursos energéticos como carbón, petróleo y gas, fuerza geotérmica e hidroeléctrica.

- Revisión del método para predecir desastres geológicos e hidrológicos y para su mitigación.
- Evaluación de la disponibilidad de personal entrenado en las ciencias de la tierra, el nivel de habilidad adquirida y la necesidad de fomentar entrenamiento.

El taller estuvo en sesión plenaria durante dos días durante los cuales los representantes centroamericanos presentaron evaluaciones del estado y requisitos para el desarrollo de recursos minerales, energía y agua y mitigación de riesgos en cada uno de los países, como así también la presentación de otros tópicos sobre el desarrollo de recursos y mitigación de riesgos. Se adjunta la agenda en español.

AGENDA

Lunes, Abril 22

0800-0900	Registro
0900-1030	Ceremonia Inaugural
1030-1100	Coffee Break

Moderador: Richard D. Krushensky

1100-1130	Situación en Guatemala	Oscar Salazar (Instituto Geográfico Militar)
1130-1200	Situación en El Salvador	Ricardo Burgos (Centro de Investigaciones Geotécnicas)
1200-1230	Situación en Honduras	Carlo Hugo Rivera (Dirección General de Minas y Hidrocarburos)
1230-1300	Situación en Panama	Jose Saenz (Instituto de Geociencias)
1300-1430	Almuerzo—Transferencia de Tecnología, sus Beneficios	Gregorio Escalante (Consultor)
1430-1500	Situación en Costa Rica	Rolando Castillo (Escuela Centramericana de Geología)
1500-1530	Situación en Belize	Prasada Rao (Ministry of Natural Resources)
1530-1600	Coffee Break	
1600-1630	El BID y el Desarrollo de Minerales y Recursos Energéticos en América Central	Bernardo Grossling (Banco Interamericano de Desarrollo)
1630-1730	Un Programa Integrado de Recursos Minerales y Energéticos para America Central	Ronald K. Lohrding (Los Alamos National Laboratory)

Martes, Abril 23

Moderador: Gregorio Escalante

0800-0900	Una "Base de Datos" de Recursos Minerales Para la Planificación y desarrollo en América Central	Byron R. Berger (USGS)
0900-0930	Evaluación de Recursos de Carbón de America Central	Edwin R. Landis (USGS)
0930-1000	Coffee Break	
1000-1030	Evaluación de Recursos Geológicos Marinos	N. Terrence Edgar (USGS)
1030-1100	Minerales y Agricultura en América Central	Thomas D. Fouch (USGS)
1100-1130	Evaluación de Recursos Geotérmicos en América Central	Wendell A. Duffield (USGS)
1130-1200	La Selección de Estrategias para Reducir Pérdidas por Derrumbes	Russell H. Campbell (USGS)
1200-1230	Riesgo Volcánico en América Central	Wendell A. Duffield (USGS)
1230-1300	Programa de Cooperación de USGS para Mitigación de Riesgos Sísmicos en América Central	Randall A. White (USGS)
1300-1400	Almuerzo	
1400-1430	Un Programa Integrado de Energía para América Central	Ronald K. Lohrding (Los Alamos National Laboratory)
1430-1500	Funciones y Capacidad Técnica del U.S. Bureau of Mines	Harold J. Bennett (U.S. Bureau of Mines)

1500–1530	Coffee Break	
1530–1600	Manejo y Desarrollo de las Aguas Superficiales y Subterráneas	Ferdinand Quiñones M. (USGS)
1600–1630	La Experiencia del Bureau of Reclamation en el Desarrollo de los Recursos Hidráulicos	Richard H. Ives (U.S. Bureau of Reclamation)
1630–1700	El Marco Geológico Regional Como una Base Necesaria para Programas de Desarrollo de los Recursos	Robert C. McDowell (USGS)
1700–1730	Manejo de Información de Recursos en Programas Científicos Nacionales	George Goodwin, Jr. (USGS)
<i>Trabajo Informal</i>		
1930–2000	Hidrología en América Central	Luis García (Comité Regional de Recursos Hidráulicos de América Central)
<i>Miercoles, Abril 24</i>		
0800–0830	Organización de los Grupos de Discusión	Gabriel Dengo (ICAITI)
0830–1200	“Poster Session”	Participación del U.S. Department of the Interior y Los Alamos National Laboratory
1200–1700	Continuación del “Poster Session”	
<i>Trabajos Informales</i>		
1930–2000	La Erupción del Chichón de 1982: Experiencia sobre Riesgos y Evaluación de Recursos	Wendell A. Duffield (USGS)
2000–2300	Estudios Recientes en Micro-Sismicidad y Mitigación de Riesgos Geológicos	Randall A. White (USGS)
<i>Jueves, Abril 25</i>		
0800–1300	Grupos de Discusión	
1300–1430	Almuerzo	
1400–1730	Grupos de Discusión	
<i>Trabajos Informales</i>		
1930–2000	Problemas Geológicos en los Túneles del Proyecto Hidroeléctrico Chixoy, Guatemala	Rodolfo Alvarado (Estudio Hidroeléctrico del Usumacinta)
<i>Viernes, Abril 26</i>		
0800–1200	Preparación del Informe	
1200–1330	Almuerzo	
<i>Moderador: Gabriel Dengo</i>		
1300–1730	Sesión plenaria y presentación de los informes de los Grupos de Discusión	
1730–1800	Resumen del Seminario	Gabriel Dengo (ICAITI)
1800–1815	Clausura	Francisco Aguirre (ICAITI)
<i>Sábado, Abril 27</i>		
	Salida de los participantes	

Extractos en Inglés y Español resumen las presentaciones mencionadas en la agenda y están incluidos en este informe como constancia. Documentos informales, los cuales no fueron suministrados con extractos no están incluidos en este informe. Documentos “poster session” que no figuran en la agenda, pero están incluidos en este documento incluyen lo siguiente:

Depósitos de Metales Preciosos en Terrenos Volcánicos por Roger P. Ashley and Byron R. Berger
Modelos de Yacimientos en Distribución de Recursos y Exploración Mineral por Dennis P. Cox y Donald P. Singer

La Aplicación de los Métodos Geofísicos Eléctricos en la Evaluación de los Recursos en Los Trópicos por Donald B. Hoover

Exploración Geoquímica de Recursos Minerales en los Ambientes Tropicales de Centroamérica y el Caribe por Sherman P. Marsh

Sistemas Idóneos de Investigación en Recursos de Evaluación Regional: Experiencias en la Aplicación de Tecnologías Microcomputarizadas por Richard B. McCammon

Técnicas Geobotánicas Actuales de Percepción a Distancia para Regiones Húmedas por Nancy Milton

Posteriormente los representantes participaron en grupos donde se llevaron a cabo debates para determinar oportunidades y requisitos locales para el desarrollo de recursos autóctonos. Los grupos, los cuales estaban presididos por representantes centroamericanos, incluyeron temas tales como: Estudios de la Geología Básica, Riesgos Geológicos, Control de los Recursos de Agua, Evaluación de los Recursos Minerales, Evaluación de los Recursos Regionales de Energía, Exploración Futura en Centroamérica, y Entrenamiento, Tecnología, y Transferencia de Información. Aunque las recomendaciones der-

ivadas de las discusiones en grupos fueron sumamente variadas, todos concordaron en lo siguiente:

- Necesidad de entrenamiento (ambos para el desarrollo profesional e instrucción básica) para ser llevada a cabo en la región y preferiblemente en la Escuela Central de Geología, Universidad de Costa Rica.
- Utilización de ICAITI como el único centro de América Central relacionado con geociencias y tecnología.
- Centralizar por medio de un instituto en cada país las actividades geocientíficas.

GEOLOGICAL SITUATION IN GUATEMALA

By Oscar Salazar¹

GOVERNMENTAL INSTITUTIONS

Ministry of Energy and Mines

Minerals, petroleum, coal, and new sources of energy

National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology, and Hydrology

Seismology, volcanology, hydrology, and meteorology

National Institute of Electricity

Geothermal studies

Usumacinta hydroelectric project

National Institute of Military Geography

Geologic maps

Technical Assistance Programs

Past

Ministry of Energy and Mines

(1965–1970) United Nations Development Fund

(1976–1978) Japanese Mission to Guatemala

(1979–1980) United Nations Development Fund

Petroleum Policy and Development

National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology, and Hydrology

U.S. Geological Survey

Seismic Risk Program

National Institute of Military Geography

(1973–1975) U.S. Geological Survey

Volcano Monitoring Program

(1977–1980) United Nations Development Fund

Ground-water study

(1967–1970) German Geologic Survey

Geologic mapping (scale 1:50,000)

National Institute of Electricity

Japanese Mission to Guatemala

Geothermal studies

Present

Ministry of Energy and Mines

(1985–1986) United Nations Development Fund

Technical assistance in petroleum geophysics and geology

National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology, and Hydrology

International Atomic Energy Agency

Study of Lake Petén with an enlargement of the study of ground water

National Institute of Military Geography

U.S. Geological Survey

Study of movement on the Motagua Fault

U.S. Geological Survey and International Geologic Correlation Program

Worldwide comparison of characteristics of major active faults

U.S. Universities (Rice University, University of Texas at Austin, Louisiana State University, University of Texas at Arlington, State University of New York at Binghamton, Dartmouth College, University of Washington, University of Missouri at Columbia, University of Pittsburgh).

Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources

Geologic map of Central America

In Process

Ministry of Energy and Mines

United Nations Revolving Fund

Mineral studies

Taiwan Mission to Guatemala

Nonmetallic mineral studies

University of Oklahoma

Topographic leveling in the area of Petén

National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology, and Hydrology

Japanese Mission to Guatemala

Flood control studies

U.S. Agency for International Development

Volcanic disaster prevention in the area of El Palmar

HUMAN RESOURCES

Existing

Ministry of Energy and Mines

¹ Instituto Geográfico Militar, Avenida de las Americas, 5–76, Zona 13, Guatemala, C.A.

Directorate of Mining: four geologists, two mining engineers

Directorate of Hydrocarbons: four geologists, three geophysicists

National Institute of Military Geography: one geologist

National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology, and Hydrology: two geologists, two hydrogeologists

National Institute of Electricity: four geologists, one geophysicist

The scarcity of geoscientists in Guatemala is very apparent. However, we note that the Ministry of Energy and Mines, at this time, has approximately 40 students on scholarship in the Americas who are receiving training in geology, geophysics, and other related sciences.

PRESENT STATE OF KNOWLEDGE OF THE GEOLOGICAL SCIENCES

The Institute of Military Geography is charged with the preparation of the geologic map of Guatemala and includes, to this time, the following:

- 1) Geologic map of the country, scale 1:500,000
- 2) Geologic maps, scale 1:250,000 (2 maps published and 6 in process)
- 3) Geologic maps, scale 1:50,000 (36 quadrangles published, seven in process (number of quadrangles remaining for complete coverage of the country, 224)

It is apparent that geologic knowledge based on careful and systematic geologic mapping, is necessary for the execution of programs of mineral resource studies of an area. Without doubt, some presently known problems should be studied immediately before they become worse. Lake Petén Itza and the eutrophication of Lake Amatitlán, are two examples.

To close, perhaps it would be useful to make a comment in regard to human resources. We noted previously that there are a number of students on scholarships abroad who are receiving professional training in the geological sciences. These young scientists who return to Guatemala should be made good use of and their knowledge put to use and developed, but we will have to be able to assure them of an adequate salary and job security.

SITUACION GEOLOGICA EN GUATEMALA

Por Oscar Salazar¹

INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES

Ministerio de Energía y Minas

Minerales, petróleo, carbón y nuevas fuentes de energía

Instituto Nacional de Sismología, Volcanología, Meteorología, e Hidrología

Sismología, volcanología, hidrología y meteorología

Instituto Nacional de Electricidad

Estudios geotérmicos

Proyecto hidroeléctrico Usumacinta

Instituto Nacional de Geografía Militar

Mapas geológicos

Programas de Asistencia Técnica

Pasado

Ministerio de Energía y Minas

(1965–1970) Fondo de Desarrollo de Naciones Unidas

(1976–1978) Misión Japonesa en Guatemala

(1979–1980) Fondo de Desarrollo de Naciones Unidas

Plan de Petróleo y Desarrollo

Instituto Nacional de Sismología, Volcanología, Meteorología, e Hidrología

Servicio Geológico de Estados Unidos

Programa de Riesgos Sísmicos

Instituto Nacional de Geografía Militar

(1973–1975) Servicio Geológico de Estados Unidos

Programa de Observación Volcanológica

(1977–1980) Fondo de Desarrollo de Naciones Unidas

Estudio de aguas subterráneas

Servicio Geológico Alemán

Mapeo Geológico (escala 1:50.000)

Instituto Nacional de Electricidad

Misión Japonesa en Guatemala

Estudios Geotérmicos

Presente

Ministerio de Energía y Minas

(1985–1986) Fondo de Desarrollo de Naciones Unidas

Asistencia técnica en geofísica de petróleo y geología

- Instituto Nacional de Sismología, Volcanología, Meteorología, e Hidrología

Agencia Internacional de Energía Atómica

Estudio del Lago Petén con una ampliación del estudio de aguas subterráneas

Instituto Nacional de Geografía Militar

(1976–) U.S. Geological Survey, control de corrimiento en un sector de la Falla Motagua

Servicio Geológico de Estados Unidos y el Programa Internacional de Correlación Geológica

Comparación mundial de características de principales fallas activas

Universidades de Estados Unidos: Rice University, University of Texas in Austin, State University of Louisiana, University of Texas in Arlington, State University of New York at Binghamton, Dartmouth College, University of Washington, University of Missouri at Columbia, University of Pittsburgh.

Circum-Pacific Council para Energía y Recursos Minerales

Mapa Geológico de Centroamérica

En Proceso

Ministerio de Energía y Minas

Fondo rotativo de Naciones Unidas

Estudio de Minerales

Misión de Taiwan en Guatemala

Estudios minerales no-metálicos

Universidad de Oklahoma

Nivelación topográfica en el área de Petén

Instituto Nacional de Sismología, Volcanología, Meteorología, e Hidrología

Misión Japonesa en Guatemala

Estudios de control de inundación

Agencia Estado Unidos para el Desarrollo Internacional

¹ Instituto Geográfico Militar, Avenida de las Américas, 5–76, Zona 13, Guatemala, C.A.

Prevención de desastres volcánicos en el área de El Palmar

RECURSOS HUMANOS

En existencia

Ministerio de Energía y Minas

Dirección de Minas: 4 geólogos, 2 ingenieros de minas

Instituto Nacional de Geografía Militar: 1 geólogo

Instituto Nacional de Sismología, Volcanología, Meteorología e Hidrología: 4 geólogos, 3 geofísicos

Instituto Nacional de Electricidad: 4 geólogos, se necesita un geofísico

La escasez de geocientíficos en Guatemala es muy aparente, sin embargo cabe mencionar que el Ministerio de Energía y Minas durante este tiempo tiene aproximadamente 40 estudiantes en América Latina y Estados Unidos recibiendo entrenamiento en geología, geofísica y otras ciencias relacionadas.

ESTADO ACTUAL SOBRE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS

El Instituto de Geografía Militar se encarga de la preparación del mapa geológico de Guatemala e incluye lo siguiente:

- 1) Mapa geológico del país, escala 1:500.000
- 2) Mapas geológicos, escala 1:250.000 (2 mapas publicados y 6 en proceso)
- 3) Mapas Geológicos, escala 1:50.000 (36 cuadriláteros publicados, siete en proceso (numero de cuadriláteros que quedan por cubrir la totalidad del país, 224))

Es aparente que el conocimiento geológico basado en un sistemático y cuidadoso mapeo geológico es necesario para la ejecución de programas de estudio de recursos minerales de un área. Sin duda, hay problemas actuales que deberían ser estudiados inmediatamente antes de que puedan tornarse peor. Tal es el caso del Lago Petén Itza y la eutrofización del Lago Amantitlan como ejemplos.

Para terminar, tal vez sería útil hacer un comentario con respecto a los recursos humanos. Observamos previamente que hay un número de estudiantes becados en el exterior los cuales están recibiendo entrenamiento profesional en las ciencias geológicas. Todos estos jóvenes que retornan a Guatemala deben ser utilizados en la conducción de programas donde sus conocimientos puedan ser empleados y desarrollados, pero para estos propósitos debemos asegurarles un sueldo adecuado y trabajo estable.

CURRENT GEOLOGICAL SITUATION IN EL SALVADOR

By Ricardo Burgos¹

In 1955, the National Geological Survey was organized in El Salvador as an agency of the Ministry of Public Works. This office was under the direction of German geologists until 1963. During this time, a preliminary geological map of El Salvador was prepared, geothermal fields were studied and a series of hydrogeological studies were carried out in different parts of the country.

In 1964, the National Geological Survey merged with the Soil Laboratory, which gave rise to the Geotechnical Research and Studies Center (Centro de Estudios e Investigaciones Geotécnicas), which later changed its name to Geotechnical Research Center (Centro de Investigaciones Geotécnicas). It has always been an entity of the Ministry of Public Works. Activities of this organization consist of the engineering study of soils and construction materials, and geological and seismic investigations.

Between the years 1968 and 1976, the German Geological Mission was assigned to El Salvador; in 1972, it finished field work related to the geological cartography of the country, and, in 1973, it delivered to the Salvadoran Government geological maps at a scale of 1:500,000 and sets of six sheets each at a scale of 1:100,000.

During the past few years, the Geotechnical Research Center has undertaken geological surveys in more limited areas where investigations regarding metallic and nonmetallic minerals have taken place.

The small number of geologists in El Salvador presents problems in the development of government and private projects. It is, therefore, of the utmost importance that the Central American School of Geology, in San Jose, Costa Rica, advertises and promotes itself in El Salvador.

El Salvador needs geologists and civil engineers in the following areas:

- Geochemistry: Training is needed in the techniques of sampling of rocks, soils, sediments, water, etc., as well as in the interpretation of results obtained from geochemical analyses.
- Geophysics: Training is needed in the techniques of geophysical prospecting, which includes operation of equipment and interpretation of results obtained in the search for minerals, or ore deposits, and underground water, as well as the geotechnical study of soils.
- Geology: Training of personnel is needed in geologic hazards, such as landslides, subsidence, settling, etc., as well as in other problems which might arise as a consequence of floods. This includes corrective measures to avoid or diminish damage resulting from such phenomena.
- Mining: Training of personnel at an artisan level is needed for the development of metallic mineral deposits.

MINING IN EL SALVADOR

The search for minerals, especially precious metals, has always aroused man's interest since ancient times; such minerals as gold and copper have been known since 18,000 and 12,000 B.C., respectively.

In El Salvador, mining development has undergone a series of ups-and-downs; that is to say, some fairly good times have alternated with other times of total inactivity; thus, mining has never played an important role in the national economy.

The gold-silver mining industry in El Salvador is centralized in the eastern part of the country and occupies an area of some 360 km² in the provinces of San Miguel, Morazán, and La Unión. Less important centers exist in the provinces of Cabañas and San Salvador. Gold and silver minerals are found in epithermal veins of Upper Tertiary rocks. Small iron-ore and base-metal deposits exist in the jurisdiction of Metapán and immediate vicinity at the farthest northeast side of the country.

During the colonial period (1525-1821), small amounts of iron ore were extracted. This ore was mainly limonite and goethite, or contact metamorphic iron ore in

¹ Director, Center for Geotechnical Studies, Calle la Chacra, contiguo Talleres el Coro, San Salvador, El Salvador.

the Metapán district. In accordance with investigations carried out by the Geotechnical Research Center (1965), during the last decade of the XIX century and continuously until 1951, the following were produced: a) 48.9 tons of lead and silver minerals; b) 55 tons of hand-cobbed copper-lead-zinc-silver minerals; c) approximately 40 tons of copper carbonate. However, documentation for the mining industry in the colonial period is generally not available.

Historical records began approximately in 1780 with the opening of mines in the provinces of Morazán and La Unión.

The modern era started with the development of the Butters Salvador Mining Company, between 1900 and 1905. The mining industry reached its high point in the years 1907–1917, after which it declined until the years 1934 and 1938 when Central American Mines Inc. reactivated mining in the province of San Miguel. El Salvador reached a second high point at the end of the '40s through the beginning of the '50s. After 1952, difficulties and problems introduced by a new Labor Code led to a decrease in mining. In 1960, mining had almost ceased; to the present date, the mining industry in El Salvador has remained almost static, without any substantial or material contributions to the development of the Salvadorean economy.

Legal Aspects

In El Salvador, four stages of mining legislation exist as follows:

1. Colonial Stage: From the discovery of the country to the implementation of the legal code in 1876. The Mining Ordinances of the Old Viceroyalty of Mexico, known as the Ordinances of New Spain, gave to the King all control over mines, and, at the same time, granted the property owners certain responsibilities and conditions which were: a) that they should pay a tax for the minerals extracted; and b) that the King did not permanently relinquish such deposits because he had granted such a licence.
2. The Mining Code of 1876 was enforced through 1922, when a new code was issued. The Code of 1876 had as a basis Spanish law, as well as other codes from countries where mining industry was given special preference.
A Special Senate Committee during that time could dispose of mines or deposits belonging to the Republic, but any person of any nationality could acquire a right and take possession thereof, under provisions set forth by the Committee.
3. The Current Mining Code of August 17, 1922, was sanctioned, and published in the Official Gazette (No. 183, Volume 93). It remains the governing Code to the present. This Code has been supplemented by Decree No. 930 dated January 19, 1953,

wherein new regulations are set forth for the Mining Commissioners. These specify a new inspection and supervision system.

Decree No. 106, dated July 23, 1937, as amended by Decree No. 65, dated October 4, 1940, creates a tax exemption and a special franchise. Later, Decree 23–26, dated February 20, 1957, as supplemented by Decree No. 583 of February 20, 1960, assigned some duties to the present Bureau of Industry and Tourism in connection with jurisdiction over the mining sector.

The Code in force does not differ from the System of Mining Domain, inasmuch as it sets forth the State's control over every mine and mineral substance. The State grants licenses for the development of these resources, but once such a license has expired, the mine reverts to the Government which is able to grant the use of the deposit or mine to a new concessionaire.

4. The Political Constitution of 1962. In accordance with this primary law, all subsoil is the property of the State, which shall be entitled to grant development licenses. There does not exist any provision whatsoever authorizing the disposal or sale of real estate which is the property of the State. This contradicts the Mining Code, and makes clear the need to draw up new mining legislation that is in agreement with the Political Constitution and general guidelines of a new mining policy.

GEOLOGY IN EL SALVADOR AND ITS CONTRIBUTION TO MINERAL RESEARCH

Traditionally, development of mineral resources in El Salvador has been centered on gold and silver, and to a lesser extent on iron and lead. However, limestone development has been increased notably in the cement industry during the most recent years.

In the last 20 years, mining research was favored through technical assistance and cooperation given by the United Nations Mining Development Program and by the German Geological Mission in El Salvador.

Between the years 1967 and 1970, the United Nations investigated all existing mineral resources in the northern zone of the country by means of geological, geochemical, and geophysical studies and drilling. Those minerals which were studied included lead, zinc, copper, gold, and silver in the project "Assessment of Ore Deposits in Northern El Salvador". As a result, mining may contribute more to the national economy in the future, as commercial deposits of lead, zinc, and silver are found favorable for development.

The German Geological Mission, which was assigned to El Salvador in the '70s, contributed to the following areas:

- Nonmetallic minerals industry, and industrial use of rocks and soils in El Salvador.
- Cement raw materials, caustic lime and pozzolana.
- Rock beds for engraving stones in El Salvador.
- Raw material for fine ceramics.
- Raw material for glass manufacturing in El Salvador.
- Road construction materials.
- Perlite beds in El Salvador.
- Raw material for brick and roof-tile ceramics.
- Diatomite and sulfur beds in El Salvador.
- Market research in El Salvador and neighboring countries.
- Mineral wool, Salvadorean raw materials and Central American markets.
- Economic-geological investigations with regard to the reopening of VIDESA.
- Pozzolana: Beds and possibilities for its utilization.
- Salvadorean perlite: Beds and possibilities for its utilization.
- Counseling in pumice stone, ceramics, pozzolana, limestone, perlite.
- Raw material for ceramics, clays.

CURRENT SITUATION ON GOLD AND SILVER PRODUCTION IN EL SALVADOR

El Salvador has produced 65,769.46 Troy ounces of gold and 2,445,178.70 Troy ounces of silver from two mines developed in the period 1971 through 1982.

The Mining Commissioners indicate that ingots produced by the "Central Minera" at San Sebastián contain approximately 95 percent gold and 1.5 percent silver and trace impurities, whereas the San Cristobal mine produced ingots containing 95 percent silver and 1.5 percent gold and remaining impurities.

At the present, because of civil unrest, no mines are in operation.

SEISMOLOGICAL INVESTIGATIONS

Introduction

Seismological investigations in El Salvador have been characterized by periods of advancement and retrenchment. At present, seismic studies show definite development in spite of conditions prevailing in the country.

Starting in 1983, the Geotechnical Research Center (CIG) began setting up an 11-station seismic telemetric network. All stations are working as of April 1985.

Instrumentation for the recording of seismic movements has been considerably increased. International cooperation has provided us with data-processing systems which open new possibilities and determine new priorities regarding areas needing study so as to actually reduce risks.

The following activities have been undertaken: compilation of a seismic catalogue; expansion of the seismological network, data analysis and interpretation; investigation of local geological effects; utilization of some seismological stations in order to observe volcanoes; and improvement of observation and logging equipment.

In spite of the fact that on September 19, 1982, there was a mud flow in the San Salvador volcano and even though there are risks originating from the uncontrolled development of quarries located next to the metropolitan area of San Salvador (Area Metropolitana de San Salvador), as well as continuing hydrological risks, very little has been done to mitigate these risks except for the emplacement of a seismological station in the San Salvador volcano, which has the capacity to register the movements of future mud flows from this volcano.

Historic Research

The majority of nations located in the world's seismic zones understand seismic conditions in their territories. In the western hemisphere, many countries have already achieved this understanding or are in the process.

There exist in El Salvador some publications concerning seismicity, among which the most important are: "Cronología Sísmica y Eruptiva de la República de El Salvador a partir de 1950" ("Seismic and Eruptive Chronology of the Republic of El Salvador as of 1950"), by Maximiliano Hernández Martínez, 1978; a compilation made by Jorge Larde in 1920, which was just recently condensed in one paper entitled "Obras Completas" ("Complete Works"); and the 1985 work by the Montessus de Ballore entitled "Earthquakes and Volcanic Eruptions in Central America" ("Temblores y Erupciones Volcánicas en Centro América").

Such publications constitute the reference framework for seismological studies. It is important to note that these focus on the theme from a chronological point of view. Present work attempts to compile all data available in such a way so as to use this compilation as support material for more specific works in addition to discovering primary references.

Given the small size of our country and the seismic complexity of the area, collaboration from other neighboring countries is most desirable.

Seismic Engineering Studies

After the earthquake of May 3, 1965, and at the suggestion of foreign experts, a seismic network was

initiated to record seismic activity. Equipment was donated by the United States Geological Survey (USGS), and other equipment was acquired by the Ministry of Public Works (MOP) and by the private sector at the request of the MOP.

By 1981, 14 seismoscopes and 7 accelerographs were installed at the AMSS and 5 seismoscopes distributed in the interior of the Republic. Together with these telemetric stations, two new accelerographs were purchased and installed in 1982. The complete network was projected to have 10 accelerographs. Two have been set up, one at Ahuachapán and the other at Santiago de María.

HYDROCARBONS AND GEOTHERMY

A program for exploration of hydrocarbons was begun in 1975, under the control of the National Petroleum Commission (CONAPE, Comisión Nacional de Petróleos). With the assistance of the United Nations, an aeromagnetic survey was completed in 1979, in the marine territory of El Salvador, and, subsequently, seismic and gravimetric studies were carried out in order to complement previous information.

The El Salvador Hydrocarbons Law became official in 1983, and the Río Lempa Hydroelectric Commission (CEL, Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa) became the entity responsible for hydrocarbon exploration programs in the country. The marine littoral of El Salvador was recently leased as so-called Risk Contracts. Subsequently, exploration programs for land areas have been implemented, of which part shall be considered risk contracts and the other part at CEL's risk.

In 1953, CEL, as the entity responsible for the development of energy resources of the country, began preliminary studies in collaboration with the National Geological Survey, and, in 1961, an inventory of superficial geothermic findings was completed. Preliminary geological surveying was also conducted.

Between 1965 and 1971, CEL, after securing the financial and technical assistance from the United Nations Development Program (UNDP), carried out a two-phase plan to investigate and assess the country's geothermic resources and to determine the possibility of generating electricity on a commercial scale:

Phase 1: Research with deep wells drilled in Berlin, Ahuachapán and Lempa.

Phase 2: Determination of technical and economical feasibility of field development in Ahuachapán.

At the end of 1971, consulting services were hired for exploration and development in Ahuachapán. In 1972, CEL decided to set up the first generating unit for 30

megawatts within a 95 MW Project. In 1975, this unit began operations and, in 1976, a second unit for 30 MW was installed. The third unit, with a 35 MW capacity, was set up in 1980.

Present production may be summarized as follows: Berlin Central, 55 MW; Chipilipa Feasibility, 55 MW; San Vicente Feasibility, 55 MW. Some investigations have also taken place at the Coatepeque area.

In 1982, 61.5 percent of the nation's electricity was produced by the hydroelectric plant and 34.3 percent was produced through geothermic facilities, placing El Salvador in 7th place in the world with regard to installed geothermical capacity.

HYDROLOGY IN EL SALVADOR

From a meteorological point of view, El Salvador has a dry season and a rainy season, and two transitional periods: from dry to rainy and from rainy to dry. Consequently, all rivers show the following periods:

- High-water period, from June through October;
- Low-water period, from December through April.
- Transitional periods in May and November.

Variations in volume of flow experienced by rivers throughout the year are important for planning and the use of resources.

In order to analyze and assess resources of a hydrographic basin, systematic and continued data should be available by means of which rainfall evaporation (escorrentia) and infiltration may be determined.

Taking into account some characteristics such as geology, vegetation, topography and climate, the Salvadoran territory has been divided into 11 great basins, as follows:

1. The Río Lempa Basin
2. The Río Paz Basin
3. Basin located between the San Francisco and Copinula Rivers
4. Basin located between the San Pedro Sensunapan and Banderas Rivers
5. Basin located between the Poluluya and Comalapa Rivers
6. The Río Jibra Basin
7. Basin located between the Jalponga and other rivers
8. Basin located between El Potrero and El Molino Rivers
9. The Río Grande Basin
10. Basin located between the Grande de San Miguel and Siramá Rivers
11. Basin located among the Goascorán-Siramá and other rivers

The Rio Lempa Basin

This basin extends into Guatemalan and Honduran territory and makes up almost half of Salvadorean Territory. The highest elevation along the basin is the "Cerro del Litoral" (2,730.06 m above sea level) located in the Alotepeque-Metapán Cordillera.

Along its course, the right margin of the Lempa receives domestic and industrial wastes from the most important population centers; along the left margin, the Lempa receives a high concentration of sediments from the deforested zones; waters entering from this forested area are oxygen-rich and contribute to water quality.

Sixty-eight percent of all hydraulic resources of the country flow through the Lempa Basin. Its most important present use is for the hydroelectric plant. Eighty-five percent of the underground water and 48 percent of the irrigated area of El Salvador lie within this basin.

More than 3 million cubic meters of sediments are deposited in the Río Lempa delta resulting in an annual loss of 0.17 mm of agricultural soil from its watershed (without taking into account volumes retained at reservoirs).

The Lempa River, in its low zone, is sufficient to supply irrigation for the agricultural development of the Coastal Alluvial Plateau.

Basin	Area (km ²)	Perimeter (km)	Length (km)	Median Elevation (masl)	Median Grade percent
Lempa River	18,240 (56.2%)*	933	389	665	11
Paz River	2,011 (42.9%)*	268.4	83	852.5	22.3
San Francisco-Copinula Rivers	647	32.4	20.8	335	22.3
San Pedro Sensunapan-Banderas Rivers	875	342	25.6	450	15.2
Pululuya-Comapala Rivers	1,400	53.9	26	393	28.6
Jiboa River	575	139	50	513	22.9
Jiboa-Lempa Rivers	958	216	35.2	169	7
El Potrero-El Molino Rivers	971	258	10	180	7
Rio Grande de San Miguel	2,247	232	127	279.6	12.5
Between Grande San Miguel-Siramá Rivers	804	225	7	275	24
Between Guascoran-Siramá Rivers	2,718	300	29.4	298	19.7

(*) % of the basin that is in Salvadoran territory.

Reservoirs in the country are classified as lakes and lagoons.

Natural lake	Basin area (km ²)	Lake area (km ²)	Depth (m)	Elevation (masl)	Type
Ilopango	184.9	72.0	245	440.14	Dystrophic
Coatepeque	70.3	240	120.0	744.35	Ologotrophic
Güija	2,767.6	44.0	150.0	425.29	Eutrophic
Olomega		18.0			

Artificial lakes	Area (km ²)	Storage (m ³)	Non-usable volume (m ³)
Cerrón Grande Reservoir	135	1,430 million	750 million
November 5 Reservoir	19	100 million	
San Lorenzo (Sept. 15) Reservoir	35	390 million	

Water Production and Consumption Water production recorded by ANDA*

	Production**	Consumption
1982	4.7 m ³ /s	85.2 million m ³
1983	4.3 m ³ /s	89.9 million m ³

* Administracion Nacional de Acueductos y Alcantarillados (Waterways and Sewerage National Administration).

** Water production decreased from 1982 to 1983; however, it has recently increased as a consequence of the increment in public services in San Salvador's metropolitan area.

Water production per zone				
Zones	1982 (LPS)*	%	1983 (LPS)*	%
Metropolitan	2,300	48.3	2,983	68.3
Central	710	15.0	613	14.1
Western	920	19.31	763	17.6
Eastern	829	17.4	—	—
Total	4,759	100.0	4,335	100.0

* Liters per second.

The AMSS (Metropolitan San Salvador) is the most densely populated center of the country; it is estimated that 841,000 inhabitants reside in this area, representing 17 percent of the country's overall population, and 67.7 percent of the total urban population of the country.

Water Consumption in AMSS		
1982	51.5	millions m ³
1983	54.4	millions m ³

The water consumption in Metropolitan San Salvador, is estimated as follows:

- 72.4% domestic
- 15.9% industrial and commercial
- 11.7% governmental and municipal institutions

Water consumption per user's class in the country (1983) is estimated as follows:

- Private 86.1%
- Government 8.0%
- Municipal 3.2%
- Irregular settlements 1.4%
- Autonomous institutions 1.1%

Drinkable water		Sewerage	
Urban	Rural	Urban	Rural
72.6%	43.7%	52.8%	—
		32.2%	34.3%
			Domiciliary Lavatories and septic tanks

55.9 and 55.7 percent of the total population enjoys drinkable water and sewerage services, respectively. With respect to municipalities, they have:

	Waterways	Sewerage
Under ANDA's responsibility	176 (67.4%)	80 (30.65%)
Under the MUNICIPALITY's responsibility	70 (26.8%)	---
Areas lacking such services	15 (5.7%)	181 (69.35%)

Construction of Deep Wells			
Province	1981	1982	1983
San Salvador	13	11	11
Chalatenango	2	0	-
La Libertad	1	2	2
Santa Ana	-	1	2
Cuscatlan	-	2	1

The Northern Zone Project has covered additional demand from the AMSS.

SITUACION ACTUAL DE LA GEOLOGIA EN EL SALVADOR

Por Ricardo Burgos¹

La Geología comenzó a desarrollarse de una manera más intensiva en El Salvador a partir del año 1955, con la fundación del Servicio Geológico Nacional, adscrito al Ministerio de Obras Públicas. Esta oficina estuvo, hasta el año 1963, bajo la dirección de geólogos de nacionalidad alemana. En este período se elaboró el mapa geológico preliminar de El Salvador, se comenzaron a estudiar los campos geotérmicos del país, así como también se hizo una serie de estudios hidrogeológicos en diferentes partes del territorio.

En el año de 1964, el Servicio Geológico Nacional fue fusionado con el Laboratorio de Suelos, originándose de esta manera el Centro de Estudios e Investigaciones Geotécnicas, que más tarde cambió su nombre a Centro de Investigaciones Geotécnicas, siempre perteneciendo al Ministerio de Obras Públicas. Las actividades de esta oficina consisten en el estudio ingenieril de los suelos, de los materiales de construcción y en investigaciones geológicas y sísmicas.

Entre los años de 1968 a 1976, estuvo destacada en El Salvador la Misión Geológica Alemana. En 1972 concluyó las labores de campo relativas a la cartografía geológica del país, entregando al Gobierno Salvadoreño en el año de 1973 cierta cantidad de mapas geológicos 1:500.000 y de juegos de seis hojas cada uno 1:100.000, conteniendo también la geología de El Salvador.

En los últimos años, el Centro de Investigaciones Geotécnicas ha realizado levantamientos geológicos en áreas más limitadas, donde se han efectuado investigaciones de minerales metálicos y no metálicos.

El número de geólogos es muy escaso en El Salvador, por lo que existen ciertos proyectos de carácter gubernamental y privado que confrontan problemas para su desarrollo; por lo que es de imperiosa necesidad que la Escuela Centroamericana de Geología, con sede en San José, Costa Rica, se promoció más con el objeto de que la juventud salvadoreña se interese por la carrera de Geología.

Es conveniente que en El Salvador se lleve a cabo ciertos eventos que sirvan para capacitar a geólogos e ingenieros civiles en las siguientes áreas:

- Geoquímica: en las técnicas de muestreo de rocas, suelos, sedimentos, aguas, etc.; así como también en la interpretación de resultados de análisis geoquímicos.
- Geofísica: adiestramiento en prospección geofísica, lo cual implica técnicas de operación de aparatos e interpretación de los resultados obtenidos en la búsqueda de yacimientos minerales, aguas subterráneas, así como también en el estudio geotécnico de los suelos.
- Geología: adiestramiento de personal en eventos relacionados con movimientos de tierra, tales como deslizamientos, desprendimientos, hundimientos, asentamientos, etc. y otros problemas que puedan surgir como consecuencia de las aguas que corren sobre la superficie sin ninguna clase de control. Esto implica las medidas correctivas que deben ser consideradas, para evitar o disminuir los daños que resulten de estos fenómenos.
- Minería: adiestramiento de personal en la explotación de yacimientos de minerales metálicos a nivel artesanal, tomando en cuenta que los recursos mineros de El Salvador son bien limitados.

MINERIA EN EL SALVADOR

La búsqueda de minerales, especialmente de los llamados preciosos, ha sido algo que desde tiempos muy remotos ha despertado el interés del hombre, de tal manera que minerales como el oro y el cobre, ya se conocían unos 18.000 y 12.000 A.C. respectivamente.

En lo que respecta a El Salvador, el desarrollo de la minería ha tenido una serie de altibajos, es decir, se han combinado épocas bonancibles con otras de total inactividad en este campo, por lo que esta industria nunca ha desempeñado un papel decisivo en la economía nacional.

¹ Director, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Calle La Chacra, Contiguo Talleres El Coro, San Salvador, El Salvador.

La industria minera de oro y plata existente en El Salvador ha estado centralizada en el oriente del país, ocupando un área de unos 360 km² en los departamentos de San Miguel, Morazán y La Unión. Centros secundarios se han desarrollado en los departamentos de Cabañas y San Salvador. Tales minerales se encuentran en vetas epitermales del Terciario Superior. Yacimientos pequeños de hierro y metales básicos existen en la jurisdicción de Metapán y alrededores inmediatos, en el extremo Noroeste del país.

Durante el período Colonial (1525–1821), se extrajeron pequeñas cantidades de hierro, principalmente limonita y goetita, de capas de hierro de metamorfismo de contacto en el distrito de Metapán. De acuerdo a las investigaciones realizadas por el Centro de Investigaciones Geotécnicas (1965), durante la última década del siglo XIX e intermitentemente hasta 1951, se produjeron: (a) 48.9 Ton. de minerales de plomo y plata; (b) 55 Ton. de broza de plomo-zinc-plata seleccionada a mano; (c) más o menos 40 Ton. de carbonato de cobre. Cabe mencionar que este período colonial está poco documentado.

Los registros históricos comienzan aproximadamente en 1780, con la apertura de algunas minas en los departamentos de Morazán y La Unión.

La era moderna comenzó con la intervención de la Compañía Butters Salvador Mines, entre 1900 y 1905. La industria minera alcanzó su punto más alto en los años de 1907 a 1917. Luego de un declive, entre 1934 y 1938, la Central American Mines Inc. reactivó la zona minera del departamento de San Miguel, de tal manera que logró que el país alcanzara un segundo auge al final de la década del cuarenta y principios del cincuenta. Después de 1952 se perdió el impulso debido en parte, a dificultades introducidas por un nuevo código laboral. En 1960, la actividad minera se terminó casi completamente, y desde entonces hasta la fecha, la industria minera en El Salvador se ha mantenido casi estática, sin aportes sustanciales al desarrollo de la economía Salvadoreña.

Aspecto Legal

La legislación minera, como se sabe, es preponderante en el desarrollo de este sector.

En El Salvador existen cuatro etapas en lo que a legislación minera se refiere; estas son las siguientes:

1. Etapa Colonial. Comprende desde el descubrimiento hasta la dotación del Código de 1876. Las Ordenanzas de Minería del Antiguo-Virreinato de México, conocidas como las Ordenanzas de Nueva España, consagraban el dominio patrimonial de la corona sobre las minas, y al mismo tiempo otorgaban a los particulares un derecho de propiedad sobre ellas, pero bajo dos condiciones que eran: (a) el pago de una contribución por el laboreo y el disfrute de las minas; y (b) el monarca no separaba las minas de su

real patrimonio, por el hecho de la concesión.

2. Código de Minería de 1876. Este período comprende todo el tiempo transcurrido hasta el año de 1922, en que se dicta un nuevo código. El código de 1876 tuvo como base la legislación española, así como otros códigos de países donde la industria minera fue objeto de particular preferencia.

La Comisión Especial del Senado de esa época, disponía que las minas pertenecían a la República, pero toda persona de cualquier nacionalidad podía adquirir el dominio y posesión de ellas, mediante las prescripciones que establecidas.

3. Actual Código de Minería. Con fecha 17 de agosto de 1922 se promulgó el nuevo código de Minería, publicado en el Diario Oficial No. 183, Tomo 93, el cual rige y mantienen su vigencia. Este código ha sido complementado por el Decreto No. 930 del 19 de Enero de 1953, el cual establece nuevas regulaciones a los Comisionados de Minas con un enfoque distinto de un sistema de inspección y vigilancia.

El Decreto No. 106 del 23 Julio de 1937, modificado por el Decreto No. 65 del 4 de Octubre de 1940, establece franquicia y excepciones de impuestos, posteriormente, el Decreto 23–26 del 20 de Febrero de 1957, complementado por el Decreto No. 583 del 20 de Febrero de 1960, asigna atribuciones a la actual dirección de Industria y Turismo relacionadas con la competencia en el sector minero.

El Código vigente no difiere al Sistema del dominio minero, ya que establece el dominio del Estado sobre todas las minas y sustancias minerales. El Estado, por su parte, da concesiones para la explotación de estos recursos, pero una vez que ha caducado la concesión, la mina vuelve a su dominio, para poder otorgarle a un nuevo concesionario.

4. Constitución política de 1962. De acuerdo a esta ley primaria, el subsuelo pertenece al Estado, el cual podrá otorgar concesiones para su explotación. En ella no existe ninguna disposición en que se autorice la enajenación de los bienes raíces propiedad del Estado. Todo esto entra en contradicción con el Código Minero en vigencia, por lo que es de urgente necesidad elaborar una nueva legislación minera, que esté en concordancia con la Constitución Política y los lineamientos de una nueva política minera.

GEOLOGIA EN EL SALVADOR Y SU CONTRIBUCION A LA INVESTIGACION DE MINERALES

Por tradición, la explotación de los recursos mineros en El Salvador se ha concentrado en el oro y la plata, en menor escala el hierro y el plomo; sin embargo, en los

últimos años la explotación de la caliza se ha incrementado notablemente en la industria del cemento.

En los últimos 20 años, la investigación minera se vio favorecida a través de la cooperación y asistencia técnica prestada por el Programa de Desarrollo Minero de las Naciones Unidas y por la Misión Geológica Alemana destacada en El Salvador.

La Naciones Unidas investigaron entre los años 1967 a 1970, los recursos minerales existentes en la Zona Norte del país, mediante estudios geológicos, geoquímicos, geofísicos y de sondeos mecánicos. Los minerales investigados fueron plomo, zinc, cobre, oro y plata en el proyecto "Evaluación de los Depósitos de Minerales en el Norte de El Salvador", con el resultado de que la minería podrá aportar más en el futuro, ya que se detectaron depósitos de plomo, zinc y plata favorables para su explotación comercial.

La Misión Geológica Alemana destacada en El Salvador en la década de los años 70, contribuyó con las siguientes investigaciones:

- La industria de minerales no metálicos y de rocas y de suelos de uso industrial en El Salvador.
- Materia prima para cemento, cal caústica y puzo lana.
- Yacimiento de rocas para piedras talladas en El Salvador.
- Materia prima para cerámica fina.
- Materia prima para la fabricación de vidrio en El Salvador.
- Materiales para construcción de carreteras.
- Yacimientos de perlitas en El Salvador.
- Materia prima para cerámica de tejas y ladrillos.
- Yacimientos de diatomitas y azufre en El Salvador.
- Investigaciones de mercado en El Salvador, y países vecinos.
- Lana mineral, materia prima salvadoreña y mercado en Centroamérica.
- Investigaciones geológica-económicas sobre reaperatura de VIDESA.
- Puzolana-Yacimientos y posibilidades de utilización.
- Perlita salvadoreña-yacimientos posibilidades de utilización.
- Asesoramientos en pómez, cerámica, puzolana, caliza, perlita.
- Materia prima para cerámica, arcilla.

SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCION DE ORO Y PLATA EN EL SALVADOR

El Salvador ha producido solamente en dos minas oro y plata en explotación, desde 1971 a 1982 la suma de 65.769.46 onzas troy de oro y 2.445.178.70 onzas troy de

plata, que representan 2.114.54 Kilogramos de oro y 76.614.31 Kilogramos de plata.

De acuerdo a los informes de los Comisionados de minas y de los ensayos de laboratorio, las barras de metal fundidas que produjo la Central Minera de San Sebastián, contienen una proporción de más o menos 95% de oro, 1.5% de plata y el resto de impurezas; en tanto—que la mina San Cristobal produjo barras con un 95% de plata, 1.5% de oro y el resto de impurezas.

El momento actual, debido a la situación anormal que se vive en el país, ninguna mina se encuentra en operación.

ESTUDIOS SISMOLOGICOS

Introduccion

El desarrollo de las investigaciones sismológicas en El Salvador se ha caracterizado por períodos de avance y estancamiento. El actual, puede afirmarse que es un momento que inicia un claro desarrollo; esto a pesar de las condiciones prevalecientes en el país.

A partir de 1983, El Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG), comienza a trabajar en la instalación de la Red Telemétrica Sísmica que al momento (Abril de 1985), cuenta con 11 estaciones instaladas y funcionando.

El instrumental para registro de movimientos violentos ha tenido una considerable ampliación. La cooperación internacional nos ha provisto de sistemas de procesamiento de datos, que abren nuevas posibilidades y determinan nuevas exigencias. Con la idea clara de las áreas necesarias de investigar, para poder disminuir los riesgos de una manera real.

Se han emprendido las siguientes actividades: investigación histórica tendiente a la elaboración de un catálogo sísmico del país, ampliación de la red sismológica y de movimiento violentos, análisis e interpretación de los datos obtenidos de ambas redes, investigación de los efectos geológicos locales, utilización de algunas estaciones sismológicas para la observación de volcanes y mejoramiento del instrumental de observación y registro.

A pesar de que el 19 de Septiembre de 1982 hubo un flujo de lodo en el volcán de San Salvador y los peligros provenientes de la explotación incontrolada de las canteras cercanas al Area Metropolitana de San Salvador (AMSS) y en el interior de la República, así como los peligros hidrológicos presentes, muy poco se ha hecho en este sentido a excepción de la estación sismológica en el volcán de San Salvador que seguramente registraría el movimiento de un futuro flujo de lodo en ese volcán.

Investigacion Historica

La mayor parte de naciones, en todas las zonas sísmicas del mundo, cuentan ya con una recopilación histórica sísmica de su propio territorio. En el continente

americano ya muchos países lo han realizado o se encuentran realizándola.

En El Salvador, existen algunas publicaciones en las que ya se ha abordado el tema, las principales son: "Cronología Sísmica y Eruptiva de la República de El Salvador a partir de 1520", por Maximiliano Hernández Martínez, 1978; la recopilación realizada por Jorge Larde en 1920, que recientemente ha sido condensada en un solo Montessus de Ballore, quien en 1885 publicó su libro "Temblores y Erupciones Volcánicas en Centro América".

Dichas publicaciones forman el marco de referencia para esta investigación. Es importante comentar, que ellas enfocan el tema bajo el punto de vista cronológico, descuidando o desechando alguna información relativa. En el trabajo que se está realizando, se trata de recopilar todos los datos de manera que en el se puedan apoyar trabajos más específicos, además se pretende llegar a fuentes de primera mano.

Dado el tamaño pequeño de nuestro país y la compleja sismicidad del área, es necesaria la colaboración de países vecinos.

Investigaciones de Ingeniería Sísmica

Después del terremoto del 3 de Mayo de 1965 y a sugerencia de los expertos que visitaron el país en esta época, se comenzó a implementar una red de estaciones para registro de movimientos violentos, con equipo donado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), otros adquiridos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y por empresas privadas a requerimiento de este Ministerio.

Para 1981 se contaba con 14 sismoscopios y 7 acelerógrafos instalados en el AMSS y 5 sismoscopios distribuidos en el interior de la República. Junto con las estaciones telemétricas, también se adquirieron nuevos acelerógrafos, comenzándose su instalación en 1982. La red completa fue proyectada para instalar 10 acelerógrafos en el interior del país, de los que solamente se han instalado 2, uno en Ahuachapán y el otro en Santiago de María.

HIDROCARBUROS Y GEOTERMICA

En el año 1975 se inició un Programa de Exploración de Hidrocarburos, siendo COANPE, Comisión Nacional de Petróleos, la entidad encargada de llevar a cabo el programa. Con la ayuda de las Naciones Unidas, se efectuó en 1977, prospección cromagnética en el mar territorial de El Salvador y posteriormente estudios de gravimetría y sísmica para ampliar la información anterior.

Desde 1983 la ley de hidrocarburos es oficial y quedó CEL, Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa,

como la entidad encargada en los programas de exploración de hidrocarburos. Recientemente se efectuó una licitación internacional para explorar el mar territorial de El Salvador, con la modalidad de contratos de riesgo. Posteriormente han sido implementados programas de exploración en el área terrestre, la cual en parte, va a ser por contratos de riesgo y otra parte a riesgo de CEL.

En el año 1953, CEL, como responsable del desarrollo de los recursos energéticos del país, inició en colaboración del Servicio Geológico Nacional, las primeras investigaciones, habiéndose establecido en 1961 un inventario de manifestaciones geotermiales superficiales. Se hicieron levantamientos geológicos preliminares.

Entre los años 1965-71, CEL, con la ayuda financiera y técnica del PNUD se llevó a cabo un plan de operaciones en dos fases para investigar y evaluar los recursos geotérmicos del país y determinar la posibilidad de generar electricidad a nivel comercial.

1ª Fase: Investigación con pozos profundos en Berlin, Ahuachapán y Lempa.

2ª Fase: Determinar factibilidad técnica y económica de la explotación del campo de Ahuachapán.

A fines de 1971 se contrató consultoría para exploración y explotación en Ahuachapán. En 1972 CEL tomó la decisión de instalar la 1ª unidad generadora de 30 Megavatios dentro de un proyecto de 95 Megavatios. En 1975 entró en operación la Unidad y en el 76 la 2ª unidad se 30 Megavatios. La 3ª con capacidad de 35 Megavatios en 1980.

El desarrollo actual se resume así: Central de Berlin 55 Megavatios, factibilidad Chipilipa, 55 Megavatios, factibilidad San Vicente 55 Megavatios, se realizan investigaciones en el área de Coatepeque.

En 1982 el 61.5% de la energía eléctrica fue de origen hidroeléctrica y el 34.3% de origen geotérmico, ocupando el 7º lugar en el mundo, con respecto a la capacidad geotérmica instalada.

HIDROLOGIA DE EL SALVADOR

Desde el punto de vista meteorológico se ha establecido que en el país, hay dos estaciones: la seca y la lluviosa, las cuales dan origen a dos transiciones, la seca-lluviosa y la lluviosa-seca. A consecuencia de esto, los ríos presentan los siguientes períodos acuáticos:

- Período de aguas altas, de junio a octubre.
- Período de aguas bajas, de diciembre a abril.
- Períodos de transición en mayo y noviembre.

Las variaciones de caudal que experimentan los ríos en el transcurso del año son importantes, especialmente para la planificación y aprovechamiento de los recursos.

Para analizar y evaluar los recursos de una cuenca hidrográfica, se debe contar con datos sistemáticos y

continuos por medio de una red de estaciones de medición de los parámetros que constituyen el ciclo hidrológico: precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración.

Tomando en consideración algunas características como geología, la cobertura vegetal, la topografía y el clima, el territorio salvadoreño se ha dividido en 11 Grandes cuencas a saber.

1. Cuenca del Río Lempa
2. Cuenca del Río Paz
3. Cuenca entre los ríos San Francisco-Copinula
4. Cuenca entre los ríos San Pedro Sensunapan-Banderas
5. Cuenca entre los ríos Pululuya-Comalapa
6. Cuenca del Río Jibra
7. Cuenca entre los ríos Jalpanga y otros
8. Cuenca entre los ríos El Potrero y El Molino
9. Cuenca del Río Grande
10. Cuenca entre los ríos Grande de San Miguel-Siramá
11. Cuenca de los Goascorán-Siramá y otros

Cuenca del Río Lempa

Comprende parte de los territorios de Guatemala, Honduras y casi mitad del territorio salvadoreño (13° 10' y 14° 43' LM y 87° 45' y 90° 10' LWG). La mayor elevación en el interior de la cuenca, es el cerro del litoral (2730.06 mts. SNM) situado en la cordillera Alotepeque-Metapán.

En su curso, el Lempa recibe numerosos afluentes, los de la margen derecha están contaminados por ser receptores de desechos domiciliarios e industriales de los centros poblacionados más importantes. Los afluentes de la margen izquierda poseen alta concentración de sedimentos en suspensión, provenientes de la zona deforestada; son ricos en oxígeno, contribuyendo a mejorar la calidad del agua.

Por la cuenca del Lempa, cuyo drenaje es detrítico, fluye el 68% de los recursos hidráulicos del país; la utilización más importante es la hidroeléctrica, su abastecimiento representa el 85% a base de aguas subterráneas y el 48% del área regada del territorio salvadoreño corresponde a esta cuenca.

En el delta del río se depositan 3.16 millones m³ de sedimentos los que representa una pérdida anual de 0.17 mm de suelo agrícola, sin tomar en cuenta los volúmenes retenidos en los embalses.

El potencial hídrico del Lempa en su zona baja es capaz de abastecer el desarrollo agrícola que pueda inducirse en la Planicie Aluvial Costera, siempre y cuando se haga un aprovechamiento integral del recurso.

Cuenca	Area (Km ²)	Perímetro (Km)	Long. Cauce (Km)	Elev. Media	Pend. Media
Río Lempa	18.240 (56.2%)*	933	389	665.SNM	11
Río Paz	2,011 (42.9%)*	268.4	83	852.5	22.3
Entre Ríos San Francisco-Copinula	647	32.4	20.8	335	22.3
Entre Ríos San Pedro Sensunapan Banderas	875	342	25.6	450	15.2

* % de la cuenca correspondiente al territorio salvadoreño

Cuenca	Area (Km ²)	Perímetro (Km)	Long. Cauce (Km)	Elev. Media	Pend. Media
Entre Ríos Pululuya Comalapa	1,400	53.9	26	393	28.6
Río Jiboa	575	139	50	513	22.9
Entre Ríos Jiboa-Lempa	958	216	35.2	169	7
Entre Ríos El Potrero-El Molina	971	258	10	180	7
Río Grande de San Miguel-Siramá	804	225	7	275	24
Entre Ríos Goascorán-Siramá	2,718	300	29.4	298	19.7

En el país los embalses son clasificados en lagos y lagunas.

Lago Natural	Area Cuenca (Km ²)	Area Lago (Km ²)	Prof.(m)	Elev. (mSNM)	Tipo
Ilopango	184.9	72	245	440.14	Distrófico
Coatepeque	70.3	240	120	744.35	Ologotrófico
Guaja	2767.6	44	150	425.29	Eutrófico
Olomega		18			

Lagos Artificiales	Area (Km ²)	Almacenamiento (m ³)	Vol. no utilizable (m ³)
Embalse Cerrón Grande	135	1430 millones	750 millones
Embalse 5 de Noviembre	19	100 millones	
Embalse San Lorenzo (15 Sept)	35	390 millones	

Producción y consumo de agua La producción de agua registrada por ANDA (*)

1982	4.7 M ³ /seg.	85.2 millones M ³
1983	4.3 M ³ /seg.	89.9 millones

(*) Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
Se vio disminuida por comprender zonas conflictivas (M³/seg) sin embargo se ha dado un aumento como consecuencia del crecimiento de los servicios en el área metropolitana de San Salvador.

Producción de agua por zonas				
Zonas	1982 (LPS)	%	1983 (LPS)	%
Metropolitana	2300	48.3	2983	68.3
Central	710	15.0	613	14.1
Occidental	920	19.3	763	17.6
Oriental	829	17.4	---	---
Total	4759	100.0	4335	100.0

El AMSS es el centro urbano mas densamente poblado del país, se estima que en esta área residen 841 mil habitantes, lo cual representa el 17 por ciento de la población total del país y un 67 por ciento de la urbana.

El consumo de agua en el AMSS		
1982	51.5	millones M ³
1983	54.4	millones M ³

La estructura del consumo en el AMSS, se estima que tiene el siguiente comportamiento: (en %)

- 72.4 consumo particular
- 15.9 consumo industrial y comercial
- 11.7 consumo de instituciones gubernamentales y municipales

Consumo de agua por clase de usuario en el país (año 1983)

Particular	86.1%
Gobierno	8.0%
Municipales	3.2%
Asentamientos Irregulares	1.4%
Instituciones Autónomas	1.1%

Agua potable		Alcantarillado	
Urbana	Rural	Urbana	Rural
72.6%	43.7%	52.8%	--
		32.3%	34.3
			Domiciliar Letrinas y tanques septicos

El 55.9 y 55.7% de la población total tiene servicios de AP y alcantarillados respectivamente. Referido a municipios se tiene:

	Acueducto	Alcantarillado
Atendidos por ANDA	176 (67.4%)	80 (30.65%)
Atendidos por Municipalidad	70 (26.8%)	---
Carecen de Servicio	15 (5.7%)	181 (69.35%)

Construcción de pozos profundos			
Departamento	1981	1982	1983
San Salvador	13	11	11
Chalatenango	2	0	0
La Libertad	1	2	2
Santa Ana	--	1	2
Cuscatlan	--	2	1

El Proyecto Zona Norte, ha venido a cubrir las demandas en el AMSS.

CURRENT GEOLOGICAL SITUATION IN HONDURAS

By Carlo Hugo Rivera¹

GEOLOGICAL MAPPING

Geological mapping of Honduras was started by the General Bureau of Mines and Hydrocarbons (Dirección General de Minas e Hidrocarburos) (DGMH) through use of aerial photographs and topographic maps at a scale of 1:50,000. Mapping continued with the cooperation of the DGMH and the Central American Institute of Industrial Investigation and Technology (ICAITI), the U.S. Agency for International Development (USAID), the University of Texas, Austin, the University of Connecticut, and the Peace Corps. To the present, the National Geographic Institute has issued 16 geological map sheets, one is in the Department of Santa Barbara. An area of 35,341 km², representing 31.5 percent of the national territory, has been mapped geologically.

MINING

The General Bureau of Mines and Hydrocarbons (DGMH) is the branch of the Government Office for National Resources (Secretaría de Recursos Naturales) (SRN) that is in charge of technical and administrative control of minerals, petroleum, and coal through the application of the mining regulations and the Petroleum Law and its regulations. In respect to minerals, this institution is in charge of the control, inspection, and surveillance of all those activities directly or indirectly related to inspection and exploration of mines and quarries of special mineral substances, of free exploitation minerals, including treatment, transformation, benefit, and transportation of the extracted mineral substances and of mining promotion and production.

HYDROCARBONS

DGMH's functions, according to the Petroleum Law and its regulations, include all that is related to the exploration of the national territory in the search for petroleum, asphalt, natural gas, and other hydrocarbons, their field exploitation, whatever their origin and location, and to the transformation and refining, transportation of oil pipelines, gas pipe lines and storage of the exploited substances.

COAL

The General Bureau of Mines and Hydrocarbons, jointly with the Latin American Organization for Energy (Organización Latinoamericana de Energía) (OLADE), has carried out some research studies on coal.

The National Investments Corporation (Corporación Nacional de Inversiones) (CNI), in November 1971, also conducted a study by means of detailed geological mapping, diamond drilling, sampling, topographic location and coal sampling in the San Antonio area, western Honduras, which has determined the existence of a thick coal bed.

The General Bureau of Mines and Hydrocarbons also studied the El Patate area, Municipality of Teupasenti in the Department of El Paraiso in 1956.

GEOHERMAL RESOURCES

The National Enterprise for Electric Power (Empresa Nacional de Energía Eléctrica) (ENEE) has a Geothermal Energy Department in charge of geothermal research studies at a national level. In Honduras, as many as 65 individual geothermal areas are known, of which 30 have been studied. They are distributed in seven areas: El Triunfo, Pavana, Nacaome, Comayagua, San Ignacio, La Masica and Jutiapa.

¹ Dirección General de Minas e Hidrocarburos, Tegucigalpa, Honduras.

VOLCANIC SEISMOLOGY

This activity is not included in the purview of any government institution, but it does concern the Physics Department of the National Autonomous University of Honduras.

HYDROLOGY

This function is under the direction of the General Bureau of Water Resources (Dirección General de Recursos Hídricos) (DGRH), which is a branch of the Government Office for National Resources (SRN). It is responsible for the research study, design, and construction of irrigation systems, as well as for the administration, operation, the maintaining of projects, and the rendering of technical irrigation services in the state districts, especially those that contribute to a growth in national production.

UNDERGROUND WATERS

The General Bureau of Water Resources has studied underground waters in the Alianza area in southern Honduras and in Comayagua, Siguatepeque, Choluteca, Jamastrán, Talanga, and Quimistrán. At present, the Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) is undertaking a study of underground waters in the sector of Amarateca, some 25 km from the capital city.

TEACHING

A career in only geology does not exist in Honduras. At present, the National Autonomous University of Honduras offers geology courses as part of the Civil Engineering curriculum.

PAST TECHNICAL ASSISTANCE PROGRAM

During the period 1970–74, Honduras received technical assistance from the United Nations in an area of 10,800 km², located in northern Honduras. Twenty-one maps at a scale of 1:50,000 were made photogeologically, in quadrangles of about 500 km². These were summarized on maps (scale of 1:250,000) published by United Nations together with the booklet entitled "Geology of the Northwestern Region of Honduras" ("Geología de la Región Nor-Oeste de Honduras"). Field mapping of

10,800 km² and photogeologic interpretation of 9,367 km² was the basis for the work.

In 1974–78, the General Bureau of Mines and Hydrocarbons carried out regional geological mapping at a scale of 1:50,000 in the west part of Olancho with its own personnel directed by Chilean geological engineers. Field geology in 8,125 km² and geology by photographic interpretation in 731 km² was the basis for this mapping.

An agreement with the Government of Japan resulted in technical assistance from that country from 1977 through 1979 and covered an area within the area of the Mining Project of the United Nations, Sector of Minitas and Vueltas del Río. Geology was mapped at a scale of 1:50,000. The area covered by the Japanese was about 1,000 km². Their work culminated in a series of drillings; results of this work are given in a six-volume report entitled, "Report of Geological Survey of the Western Area" (including maps).

The area in which regional geochemistry was carried out by United Nations in western Honduras, plus what has been done in the Department of Olancho covers about 19.27 percent of the national territory. These regional geochemical studies have been the basis of the mining research in both projects. By means of these studies, it was possible to determine two important mineralized areas, that of Vueltas del Río and the Sector of Petoa (Minitas) in the Department of Santa Bárbara and the Sector of La Conce in the Department of Olancho.

In 1974, the General Bureau of Irrigation, through the Columbus Company of Baden, Switzerland, carried out geological mapping in the Sector of "Brasil" and the "Bocon" on the rivers Nacaome, Guacerope, and Sermil, in the south of the Republic.

The General Bureau of Mines, with the cooperation of the Canadian Government, carried out the following work: December 1977–June 1979 (Placer Gold in Honduras) a study of gold placers in the Río Guayape, Patuca, and other areas; research studies on radioactive minerals in the Department of Santa Bárbara, Sectors of San Nicolas, San José de Colinas, and Yamalá; report relating to the regulations that the companies with rights of Concessions on Exploration and Exploitation must follow (John Glover Report, July 1978). The Canadian Government also assisted in the conduct of some geological profiles in various sectors to determine the stratigraphy of the country. They also organized the mining registry and donated written materials and geophysical equipment.

GEOHERMAL STUDIES

In 1968, the General Bureau of Mines and Hydrocarbons made an inventory of about 65 scattered geothermal areas, in about half of the country. This information was the basis for a study, the objective of which was

the identification of geothermal areas throughout the country, under the direction of United Nations in 1976, in collaboration with the National Enterprise for Electric Power (ENEE) and the General Bureau of Mines and Hydrocarbons.

ENEE negotiated a contract with an expert company, "Geonomics Inc." of Berkeley, California, U.S.A., which was to be responsible for carrying out preliminary research in geothermal activity in different parts of the country, as well as for carrying out more detailed exploration, in order to select sites for drilling and deep exploration. This project was financed by ENEE. Because ENEE did not comply with its contract, the reports remain incomplete.

FUTURE PROJECTS

The General Bureau of Mines and Hydrocarbons will be the executory unit of a project for making of the mining inventory of Honduras, by means of an agreement signed with the Interamerican Development Bank (Banco Interamericano de Desarrollo) (BID). The purpose of the project is to strengthen the Mines and Hydrocarbons Bureau by means of formal training and the transfer of techniques in disciplines associated with mining exploration, and to obtain precise information on the mineralized zones of Honduras that may serve as a guide to national and foreign mining investors.

A geothermal project will be carried out with the United Nations Development Program and the Government of Italy. The international funds are to be given as a grant. This project is about to start; the bidding of consultants is done by United Nations in New York; field research will start probably in September 1985. The document was signed in January 22, 1985.

A geothermal project is to be carried out in collaboration with the Los Alamos National Laboratory, U.S.A., through USAID. With a grant from the U.S. Agency for International Development (USAID) the studies will last one year. Presently, three technicians from the Los Alamos Laboratory are in Honduras to do preliminary field visits. No agreement has yet been signed. This project is part of a group of projects in Central America. In Honduras, the funds are for geothermal studies only.

HUMAN RESOURCES

In Honduras there are few geologists, and all of them completed their studies abroad, because in Honduras a degree in geology is not available. Most of these geologists have been given scholarships by the General Bureau of Mines and Hydrocarbons. Because this organization cannot offer sufficient salaries, the geologists are commonly employed by ENEE. The only existing mining engineer works with private enterprise. The General Bureau of Mines and Hydrocarbons has two geologists and two petroleum engineers. ENEE has two geologists and the National University has two geophysicists.

PRESENT KNOWLEDGE OF GEOLOGICAL RESOURCES

When the Mining Inventory, May 1, 1985, is complete the following will be available:

- a) A national geological and metallogenic map.
- b) A set of specific recommendations for the generation of mining projects in the areas of major priority, and
- c) A set of proceedings and instructional material to keep the mining inventory and the metallogenic and geological map up-to-date.

NEEDS OF THE COUNTRY

The priority needs of the country are:

- a) Professional training of human resources in geology, mining engineering, economic geology, and geophysics.
- b) Training, through work and short-duration grants, for the personnel of the General Bureau of Mines and Hydrocarbons.
- c) Acquisition of geological and geophysical equipment for mineral exploration.
- d) Upkeep for the laboratory of the General Bureau of Mines and Hydrocarbons for the purpose of mineralogical analysis.
- e) Financing for specific projects.
- f) Increased funds available to the General Bureau of Mines and Hydrocarbons in order to retain personnel in geology.

SITUACION ACTUAL DE LA GEOLOGIA EN HONDURAS

Por Carlo Hugo Rivera¹

MAPEO GEOLOGICO

El mapeo geológico de Honduras fue iniciado por la Dirección General de Minas e Hidrocarburos utilizando fotografías aéreas y mapas base topográficos a escala 1:50,000 y continuando en cooperación con el Instituto Nacional y el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), el AID, Las Universidades de Austin, Texas, y Connecticut, y el Cuerpo de Paz U.S.A., habiendo levantado hasta la fecha mapas de 16 hojas, editados por el Instituto Geográfico Nacional y actualmente se encuentra en proceso el del Departamento de (Santa Barbara); existiendo a la fecha mapeo geológico en un área de 35,341 Kilómetros cuadrados, que representan un 35.8% del territorio Nacional.

MINERIA

La Dirección General de Minas e Hidrocarburos es la dependencia de la Secretaría de Recursos Naturales, encargada del control técnico y administrativo de los minerales e hidrocarburos, mediante la aplicación del código de minería y la Ley del Petróleo y sus respectivos reglamentos. En relación a los minerales, se encarga del control, inspección y vigilancia de todas aquellas actividades que directa o indirectamente se relacionan con el reconocimiento exploración de las minas y canteras, de las sustancias minerales especiales, de los de libre aprovechamiento, inclusive del tratamiento, transformación, beneficio y transporte de las sustancias minerales extraídas y del fomento y producción de la minería.

HIDROCARBUROS

Las atribuciones respecto a la Ley del Petróleo y su reglamento conciernen a todo lo relativo a la exploración del territorio nacional en la búsqueda de petróleo, asfalto, gas natural y otros hidrocarburos, en la explotación de yacimientos de los mismos cualquiera que sea su origen y colocación a la transformación o refinación transporte de oleoductos, gaseoductos y almacenamiento de las sustancias explotadas y otras que su manejo requiera.

CARBON

La Dirección General de Minas e Hidrocarburos, conjuntamente con la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), ha realizado algunos estudios sobre carbón mineral.

También la corporación Nacional de Inversiones, en noviembre de 1971 realizó un estudio mediante mapeo geológico detallado, perforaciones de diamante, extracción de testigos, localización topográfica y muestreo sistemático de carbón de la zona de San Antonio, Municipio de Sensenti en el Departamento de Ocotepeque, al Occidente de Honduras, que han determinado la existencia de un grueso manto de carbón.

La Dirección General de Minas e Hidrocarburos también realizó un estudio de la zona de el Patate, Municipio de Teupasenti en el Departamento de El Paraíso en 1956.

RECURSOS GEOTERMICOS

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) posee un Departamento de Geotermia, encargado de los estudios geotérmicos a nivel nacional. En Honduras se conocen alrededor, de 65 afloramientos individuales de

¹ Dirección General de Minas e Hidrocarburos, Tegucigalpa, Honduras.

los cuales se han investigado casi 30, distribuidos en 7 regiones: El Triunfo, Pavana, Nacaome, Comayagua, San Ignacio, La Masica y Jutiapa.

SISMOLOGIA VOLCANICA

Esta actividad no corresponde a ninguna institución gubernamental, sino al Departamento de Física de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

HIDROLOGIA

Esta función está a cargo de la Dirección General de Recursos Hídricos, dependencia de la Secretaría de Recursos Naturales, quien es responsable por el estudio, diseño, y construcción de sistemas de riego, así como de la administración, operación, mantenimiento de proyectos y la prestación de servicios técnicos de riego en los distritos estatales y particularmente que constituyan incremento a la producción nacional.

AGUAS SUBTERRANEAS

La Dirección General de Recursos Hídricos ha hecho estudios de investigación de aguas subterráneas, en el sector de Alianza al Sur de la República y Comayagua, Siguatepeque, Choluteca, Jamastran, Talanga y Quimistran. Actualmente el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) desarrolla un estudio de aguas subterráneas en el sector de Amaratéca a unos 25 km de la capital.

ENSEÑANZA

En Honduras no existe la carrera de geología, actualmente se imparte la clase de geología en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

PROGRAMA DE ASISTENCIA TECNICA PASADA

En el período (1970-74) se recibió asistencia técnica de Naciones Unidas que comprendió una superficie

de 10.800 km², situado al noroeste de Honduras se levantaron fotogeológicamente, 21 mapas a escala 1.50.000, en cuadrángulos de 500 km² aproximadamente los que se resumieron en un solo mapa a escala 1.250.000 que fueron publicados por Naciones Unidas, conjuntamente con el folleto "Geología de la Región Nor-Oeste de Honduras." La geología cubierta en el campo por Naciones Unidas fué de 10.800 km² y por fotointerpretación fué de 9.367 km².

En 1974-78, La Dirección General de Minas e Hidrocarburos con su propio personal dirigido por los ingenieros geólogos Chilenos, hizo mapeo geológico regional a escala 1.50.000 en la parte Oeste de Olancho, habiéndose realizado geología de campo en 8.125 km² y geología por fotointerpretación 731 km².

Mediante convenio suscrito con el Gobierno de Japón se obtuvo asistencia técnica de ese país en el período 1977-79 el que cubrió un sector mineralizado dentro del área de Proyecto Minero de Naciones Unidas Sector de Minitas y Vueltas del Río, con geología detallada a escala 1.50.000, el área cubierta por los japoneses es de aproximadamente 1000 km². El trabajo de la misma empresa culminó con una serie de perforaciones diamantinas y sus resultados se encuentran en un informe de seis volúmenes con sus mapas "Report of Geological Survey of the Western Area."

El área cubierta con geoquímica regional, hecho por Naciones Unidas en el occidente del país, más lo hecho en el Departamento de Olancho es del orden del 19.27% del territorio nacional. Estos trabajos de geoquímica regional han sido la base de las investigaciones mineras en ambos proyectos, mediante cuyos estudios se logró determinar dos áreas mineralizadas importantes como son la de Vueltas del Río y el sector de Petoa (Minitas) en el Departamento de Santa Bárbara y el sector de la Conce en el Departamento de Olancho.

En 1974, La Dirección General de Irrigación, a través de Cía Columbus de Baden Zuiza, realizó mapeo Geológico y algunos perfiles geológicos en el sector de "Brasilar" y el "Bocon" en los Ríos Nacaome, Guacerope y Semil, en el Sur de la República.

La Dirección General de Minas obtuvo también la cooperación del Gobierno de Canadá a través de CIDA, realizó varios trabajos. Diciembre 1977-Junio 1979 (Gold Placer in Honduras) estudio de oro de placer, Río Guayape, Patuca, etc. Estudios de minerales radioactivos en el Departamento de Santa Bárbara, sectores de San Nicolas, San José de Colinas y Yamalá, etc. Informe relacionado con las regulaciones a seguir por parte de las compañías con derechos de concesiones de Exploración y Explotación (Informe John Glover Julio 1978). Realizaron también perfiles geológicos en algunos sectores para determinar la estratigrafía del País. Organizó el registro minero y donaron literatura y equipo Geofísico.

ESTUDIOS GEOTERMICOS

En 1968, La Dirección General de Minas e Hidrocarburos, efectuó un inventario de aproximadamente 65 puntos termales dispersos, en casi la mitad del país, información que sirvió de base para un posterior reconocimiento de manifestaciones geotérmicas en el país a cargo de Naciones Unidas en 1976, en colaboración con la Empresa Nacional de Energía Eléctrica y la Dirección General de Minas e Hidrocarburos.

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica buscó la contratación, una compañía especializada, "Geonomics Inc." de Berkeley, California, U.S.A. la cual se comprometió a realizar un reconocimiento preliminar limitado de la actividad geotérmica en diversas partes del país y a realizar una exploración más detallada, para seleccionar sitios para perforación y exploración profunda proyecto que fué financiado por el BIRF con recursos propios de la Empresa de Energía Eléctrica (ENEE). La Empresa incumplió su contrato y los informes quedaron inconclusos.

PROYECTOS FUTUROS

La Dirección General de Minas e Hidrocarburos será la unidad ejecutora de un Proyecto para la elaboración del Inventario Minero de Honduras mediante convenio suscrito con el Banco Interamericano de Desarrollo cuyo objetivo es fortalecer la Dirección General de Minas e Hidrocarburos mediante el adiestramiento formal y en servicio de técnicas nacional en disciplinas asociadas con la exploración minera y obtener información precisa sobre zonas Mineralizadas de Honduras que puedan servir de guía a los inversionistas mineros nacional y extranjero.

Proyecto Geotérmico A Realizarse Con Programa De Las Naciones Unidas De Desarrollo Y El Gobierno De Italia

Los fondos internacionales son en carácter de donación. Se está por iniciar la licitación de los consultores (Lo hace Naciones Unidas en New York) las investigaciones de campo iniciarán probablemente en Sept./85. El documento se firmó el 22/1/85.

Proyecto Geotérmico A Realizarse Con El Laboratorio Los Alamos De U.S.A. Y A Traves De AID

Donación por \$1.400.000 los estudios duraran un año. En esta fecha están en Honduras 3 técnicos de Los Alamos para las visitas preliminares de campo. No se ha firmado todavía ningún documento. Forma parte de un paquete a nivel Centroamericano. En Honduras, los fondos son solo para geotermia.

RECURSOS HUMANOS

En Honduras existen pocos geólogos, todos los cuales son egresados del exterior al no existir a nivel nacional la carrera de geología. La mayoría de ellas han sido becadas de la Dirección General de Minas e Hidrocarburos que al no disponer de sueldos atractivos no puede retenerlos y son absorbidos por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica. El único ingeniero en minas que existe trabaja con la empresa privada la Dirección General de Minas e Hidrocarburos, solo dispone de 2 geólogos y dos ingenieros petroleros. La Empresa de Energía Eléctrica también tiene dos geólogos y la Universidad Nacional tiene 2 Geofísicos.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LOS RECURSOS GEOLOGICOS

Debido a que no se tiene con certeza un conocimiento de los recursos Geológicos del país, en la ejecución del Inventario Minero que se inicia en Mayo del presente año se va a obtener:

- a) Un mapa geológico y metalogénico nacional, en donde se condensara la información minera y geológica que se recopile.
- b) Un conjunto de recomendaciones específicas para la generación de proyectos mineros en las áreas de mayor prioridad y
- c) Un conjunto de procedimientos e instructivos para mantener actualizado el inventario minero y el mapa geológico y metalogénico que se elaboren.

NECESIDADES DEL PAIS

Las necesidades prioritarias del país son:

- a) La formación profesional de recursos humanos en el área de geología, ingeniería de minas, geología económica, y en geofísica.
- b) Capacitar mediante entrenamiento en el trabajo o becas de corta duración al personal de la Dirección General de Minas e Hidrocarburos.
- c) Adquisición de equipo geológico y geofísico para la exploración de minerales.
- d) Darle mantenimiento al laboratorio de la Dirección General de Minas e Hidrocarburos para los análisis de mineralogía.
- e) Financiamiento para proyectos específicos.
- f) Incrementar las disponibilidades económicas de la Dirección General de Minas e Hidrocarburos a fin de retener el personal del área de geología.

USE OF WATER, ENERGY, AND MINERAL RESOURCES AND THE REDUCTION OF GEOLOGIC RISKS IN PANAMA

By Jose Saenz¹

I. GOVERNMENTAL AGENCIES RESPONSIBLE FOR:

GEOLOGIC MAPS:	Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industria (DGRM).
MINING:	DRGM through the Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos-Mineros and the Departamento de Minas y Canteras y Registro Minero, in addition to the Corporación de Desarrollo Minero (CODEMIN).
HYDRO-CARBONS:	Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Comercio e Industria. Exploration by means of concessions to private companies under special contracts. Supervision of oil refineries.
COAL:	DGRM through the Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos-Mineros and the Instituto de Recursos Hidráulicos e Electrificación (IRHE) through the Dirección de Desarrollo.
GEOTHERMAL RESOURCES:	Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), through the Dirección de Desarrollo, Departamento de Estudios - Sección de Investigaciones Geológicas.
UNDER-GROUND WATER:	DGRM through the Sección de Aguas Profundas, Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos, the Ministerio de Desar-

rollo Agropecuario and the Banco Nacional through the program on shallow underground water; the Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales.

SEISMOLOGY: Instituto de Geociencias, University of Panama.

VOLCANOLOGY: DGRM and the Instituto de Geociencias, University of Panama.

HYDROLOGY: Dirección General de Recursos Hidráulicos and Electrificación (IRHE). Comisión del Canal de Panamá.

INDUSTRIAL MINERALS: Empresa Estatal de Cemento Bayano and Sector Privado.

EDUCATION: Universidad Tecnológica through the Escuela de Geología.

II. TECHNICAL ASSISTANCE PROGRAMS:

PREVIOUS PROGRAMS:

1. *Cadastral Land and Water Project:* From 1963 to 1965, with the assistance of the Alliance for Progress of United States of America. Seven volumes resulted from this study of which volume three corresponds to geology and volume four to water.
2. *Azuero Mining Project:* From 1966 to 1968, the United Nations Development Program (PNUD) and the national counterpart, DGRM, produced a three-volume study and one detailed volume on anomaly 65 named the "Pórfiro de Petaquilla-Botija" (Pórfiro Cuprífero). This project covered an area of 17,000 km². Base-map scale was 1:250,000.
3. *Mining Project Phase II:* From 1969 to 1972, the PNUD and the national counterpart, DRGM, produced a four-volume study. It covered four regions which comprise an area of 15,400 km². Base-map scale was 1:250,000.
4. *Peninsula de las Palmas-Soná and Isla de Coiba:* From 1973 to 1974, this study, which was called Phase III,

¹ Instituto de Geociencias, Universidad de Panama, Apartado Postal 6-3912, Panama 6A, Panama.

was carried out by DGRM and yielded very important geological information.

5. Independent of former projects, DGRM was in charge of the study of underground waters of the Llanos de Coclé and the reconnaissance of aquifers in the provinces of Herrera and Los Santos. In addition, a preliminary reconnaissance of 24 geothermal fields was done over most of the territory, a study of sands and gravel was completed by the United Nations, a study of magnetite sands was made and a reconnaissance of semiprecious stones derived from amorphous silica was also completed. In addition, DGRM has provided and will provide its support to national and foreign enterprises in the search for metallic and nonmetallic minerals, among them gold and hydrocarbons.

PRESENT PROGRAMS:

Presently, the DGRM handles the following programs:

1. *Proyecto Centro Minero Metalúrgico de Panamá (CIM-MPA)*: This program is being carried out with the assistance of the Agencia Internacional de Cooperación Técnica del Japón (JICA) and its national counterpart, Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias. Through this program, equipment is provided for laboratory analysis, sampling, and technological transfer at the professional level.
2. *Volcanological Mining Project-Valle de Antón*: This project is proceeding very slowly because of austerity measures imposed by the Government of Panama. The project covers an area of 600 km².
3. *Peninsula de Azuero Project*: This project is proceeding very slowly because of the austerity measures imposed by the Government of Panama. The project, which covers an area of 11,000 km², is directed toward the search for precious and nonmetallic minerals (fertilizers and construction materials).

FUTURE PROGRAMS:

DGRM is developing future programs which will need national and foreign support (through organizations or international enterprises). These are as follows:

1. *Mining Inventory*. DGRM is awaiting a delegation from the Banco Interamericano de Desarrollo (BID) whose purpose is to obtain information and, in conjunction with our technicians, to plan the activities of the future project which should start as soon as possible.
2. *Project on the Pequeña Minería*. We consider this a very important project since it organizes the activities of the small precious-metal mines in the province of Darien. Being proposed.
3. *Project on Radioactive Minerals*. In 1984, the United Nations carried out a program on preliminary regional exploration. The report submitted recommends the continuance of studies at a regional scale. Being proposed.
4. *Coal Project in the Province of Bocas del Toro*. Being proposed.
5. *Bauxite Project*. Being proposed.
6. *Remote-Sensing Project*. Creation of a geographical system of permanent information and the quantification and evaluation of the natural resources of the country utilizing remote sensing are under consideration. Outside funds from the Interamerican Development Bank.

HUMAN RESOURCES:

DGRM needs to strengthen its professional staff in order to respond to projects and problems. Panama needs to know its resources and it is essential that the international agencies cooperate with the geological investigations in the Central American area. We will face the demands of development in the same way that nature challenges us. Therefore, we expect from the seminar aid and solid support.

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS, ENERGETICOS Y MINERALES Y LA DISMINUCION DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS EN PANAMA

Por Jose Saenz¹

I. INSTITUCIONES GUBERNAMENTALES ENCARGADAS DE:

MAPA GEOLOGICO: Institución responsable, Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias.

MINERIA: Instituciones responsables, Dirección General de Recursos Minerales, a través de los Departamentos de Exploraciones y Estudios Geológicos-Mineros y el Departamento de Minas y Canteras y Registro Minero, además de la Corporación de Desarrollo Minero (CODEMIN).

HIDRO-CARBURROS: Institución responsable, Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Comercio e Industrias. Exploraciones por concesiones a empresas privadas bajo contratación especial. Supervisión de la Refinería de Petróleo.

CARBON: Instituciones responsables Dirección General de Recursos Minerales a través del Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos-Mineros y el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) a través de la Dirección de Desarrollo.

GEOTERMIA: Institución responsable, Instituto de Recursos Hidráulicos y Elec-

trificación (IRHE), a través de la Dirección de Desarrollo, Departamento de Estudios-Sección de Investigaciones Geológicas.

AGUAS SUB-TERRANEAS: Instituciones responsables, Dirección de Recursos Minerales a través de la Sección de Aguas Profundas, Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos; el Ministerio de Desarrollo Agropecuario y el Banco Nacional a través de programa de aguas subterráneas a poca profundidad para ganadería y riesgo; el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) a través del programa para consumo humano, con equipo propio.

SISMOLOGIA: Institución responsable, Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá.

VULCANOLOGIA: Institución responsable, Dirección General de Recursos Minerales y el Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá.

HIDROLOGIA: Instituciones responsables, el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Comisión del Canal de Panamá.

MINERALES INDUSTRIALES: Instituciones responsables. Empresa Estatal de Cemento Bayano y Sector privado.

ENSEÑANZA: Institución responsable, Universidad Tecnológica, a través de la Escuela de Geología.

¹ Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá, Apartado Postal 6-3912, Panamá 6A, Panamá.

II. PROGRAMAS DE ASISTENCIA TECNICA:

PROGRAMAS ANTERIORES:

1. *Proyecto de Catastro Rural de Tierras y Aguas*, de 1963 a 1965 con la asistencia de la Alianza para el Progreso de los Estados Unidos de América. Este proyecto arrojó un estudio de 7 volúmenes, en el cual el volumen III corresponde a geología y el volumen IV corresponde a aguas.
2. *Proyecto Minero de Azuero*, de 1966 a 1968 con la asistencia del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la contraparte nacional, Dirección General de Recursos Minerales. Este proyecto arrojó un estudio de 3 volúmenes y 1 volumen detallado de la anomalía 65 denominado el Pórfiro de Petaquilla-Botija (Pórfiro Cuprífero). Este Proyecto abarcó una área de 17.000 Km². Mapa base a escala 1:250.000.
3. *Proyecto Minero Fase II*, de 1969 a 1972 con la asistencia del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la contraparte nacional, Dirección General de Recursos Minerales. Este proyecto arrojó un estudio de 4 volúmenes. Abarcó 4 regiones en el país que totalizan una extensión de 15.400 Km². Mapa base a escala 1:250.000.
4. *Proyecto Peninsula de las Palmas-Sonáe Isla de Coiba*, denominado Fase III, 1973 a 1974. Este estudio lo efectuó la Dirección General de Recursos Minerales y arrojó un informe de gran valor geocronológico.
5. Independiente de los proyectos anteriores, la Dirección General de Recursos Minerales estuvo a cargo de los Estudios de Aguas Subterráneas (Hidrogeología) de los Llanos de Coclé, además de reconocimiento de mantos acuíferos en las Provincias de Herrera y Los Santos. Por otra parte se realizó el reconocimiento preliminar de 24 campos geotérmicos en todo el territorio, el estudio de las arenas y gravas con un experto de Naciones Unidas, el estudio de las arenas magnetíticas y el reconocimiento de las piedras semipreciosas derivadas de la sílice amorfa. Debemos añadir que nuestra Dirección brinda y brindará todo su apoyo a las empresas nacionales e internacionales, en la búsqueda de minerales metálicos y no metálicos, entre ellos el oro e hidrocarburos.

PROGRAMAS PRESENTES:

En la actualidad la Dirección General de Recursos Minerales atiende los siguientes programas:

1. *Proyecto Centro Minero Metalúrgico de Panamá (CIM-MPA)*, este programa se desarrolla con la asistencia de la Agencia Internacional de Cooperación Técnica del Japón (JICA) y su contraparte nacional, Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias. El programa consiste en

equipos para análisis del laboratorio, maquinaria continua para análisis y pruebas y transferencia tecnológica a nivel profesional. El avance del proyecto es de un 50%.

2. *Proyecto Volcanológico Minero-Valle de Anton*, este proyecto se realiza con mucha lentitud, debido a las medidas de austeridad. Su extensión es de 600 Km².
3. *Proyecto Peninsula de Azuero*, este programa marcha con lentitud, debido a las medidas de austeridad. Su extensión es de 11.000 Km². El programa está dirigido para la búsqueda de minerales metálicos preciosos, no metálicos (fertilizantes y la construcción).

PROGRAMAS FUTUROS:

La Dirección General de Recursos Minerales, se proyecta hacia el futuro con algunos programas ambiciosos que necesitan el apoyo nacional e internacional (via organismos o empresas transnacionales) son ellos:

1. *Inventario Minero Territorial*, al momento de escribir este memorandum, estamos presto para recibir la misión del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) cuya finalidad es la de recabar la información y conjuntamente con nuestros técnicos, programar las actividades del futuro proyecto, que deberá empezar lo más pronto posible.
2. *Proyecto sobre la Pequeña Minería*, este proyecto lo catalogamos de mucha importancia, sobre todo para cooperativizar las actividades de los pequeños mineros en la Provincia del Darien, en relación con la minería de minerales preciosos. En perspectiva.
3. *Proyecto de Minerales Radioactivos*, Naciones Unidas a través de la OIEA, efectuó en el año 1984 un programa de exploración regional preliminar. El informe presentado recomienda proseguir los estudios a escala regional. En perspectiva.
4. *Proyecto de Carbón en la Provincia de Bocas del Toro* En perspectiva, a través del IRHE.
5. *Proyecto de Bauxita*. En perspectiva.
6. *Proyecto de Sensores Remotos*: Creación de un sistema geográfico de información permanente y la cuantificación y evaluación de los Recursos Naturales del país utilizando sensores remotos. Fondos del BID y Panamá Dirección del MIPPE.

RECURSOS HUMANOS:

La Dirección General de Recursos Minerales, necesita fortalecer el personal profesional con la finalidad de dar respuestas a los proyectos y problemas.

Panamá necesita conocer a cabalidad sus recursos, es imprescindible que las agencias internacionales coadyuquen a la investigación en el área centroamericana. En la medida en que enfrentemos el reto a la naturaleza, en esa misma medida estaremos dando respuesta a los problemas que demanda el desarrollo. Por lo tanto esperamos del seminario ayuda y sólido apoyo.

PRESENT GEOLOGICAL SITUATION IN COSTA RICA

By Rolando Castillo¹

1. DISTRIBUTION OF GEOLOGICAL ACTIVITY PER INSTITUTION

The different government institutions in charge of the development of the geological activities per fields of actions are described below.

1.1 Geological Cartography

1.1.1 Geological Map of Costa Rica

Mandated by law by the Directorate of Geology, Mines, and Hydrocarbons Bureau (DGMH), Ministry of Industry, Energy and Mines (MIEM).

1.1.2 Other Tasks of Geological Cartography

Several institutions perform geological cartography tasks at different scales according to the objectives of the projects designed by each of them.

Thus, the Institute of Electricity of Costa Rica (ICE) performs geological cartography related to petroleum and coal exploration projects. The Development Corporation of Costa Rica (CODESA), at present by means of its subsidiary Minera Nacional, S. A. (MINASA), carries out geological mapping related to exploration and evaluation of mineral prospects, especially gold prospects. The National Service of Underground Water and Surface Water (SENARA) deals with those geological cartography tasks which relate to the investigation and utilization of underground and superficial waters of the country. The Central American School of Geology (ECG) performs geological mapping at different scales in line with its educational and investigational activities, including thesis works. The Volcanologic and

Seismologic Observatory of the National University performs geologic mapping in line with its volcanologic and seismologic investigation projects.

1.2 Mining

DGMH (MIEM), whose main activity is administration and control of mining, besides geological mapping of the country, according to the Mining Code, also performs other supporting activities such as the regionalization of the mining activity and the computerization of the Mining Registry. In addition, it also initiates some exploration and mining development projects in relation to gold and industrial minerals.

The Development Corporation of Costa Rica (CODESA) through its subsidiary, the Minera Nacional S. A. (MINASA), dedicates itself to the initiation and execution of mining projects at the exploration level, mainly in the field of mineral resources, even though at present it dedicates itself to projects related to gold mining and to the prospecting for radioactive minerals, the latter with the participation of the United Nations, financed by the Italian Government. Special attention is given to gold projects (vein and disseminated type) in the Cordillera Tilaran and alluvial gold projects with the technical assistance of the Swedish Government in the Osa Peninsula.

1.3 Petroleum and Carbon

The Refinadora Costarricense de Petroleo (RECOPE) is commissioned by the Costa Rican Government to carry out exploration and exploitation for petroleum and coal resources.

In 1980, after 5 years during which no exploratory activity was performed in the country, the Government of Costa Rica decided to reinstate exploration of oil and gas. This task was assigned to RECOPE. As a result of its activities, more complete and precise information is now available, remarkably enlarging our information on the petroleum potential of the different sedimentary basins of the country. The

¹ Director, Central American School of Geology, University of Costa Rica, San Jose, Costa Rica.

combined area of these basins is now known to cover 35,000 km².

As to superficial geology, in the late '80s RECOPE initiated exploration activity using both field and laboratory studies. The Limón Sur and San Carlos areas were studied and, at present, studies on the North and South Pacific areas are beginning. These emphasize sedimentological and geochemical analyses.

As to seismic studies, the areas of Limón Sur and Limón Norte were studied by CODESA and RECOPE. Afterwards, the marine seismic tasks on the Pacific and Atlantic shelf were entrusted to the GSI Enterprise.

Areal and marine magnetometrics was entrusted to the Aero Service Enterprise, which covered the areas of Limón Sur, Limón Norte, South Pacific, North Pacific, and the Atlantic and Pacific shelves.

The gravimetric studies were initiated all along the Atlantic shelf by an agreement with the British Columbia University (UBC) and the cooperation of the GSI Enterprise. For its part, RECOPE covered the areas of Limón Sur, Limón Norte, San Carlos, and at present is working on the South Pacific zone.

Except for the volcanic areas, RECOPE had the task of photointerpreting practically all the country. Its chief emphasis was on areas of Limón Sur, Limón Norte, San Carlos, and South and North Pacific.

For exploratory purposes, RECOPE had the task of drilling many shallow test holes (200 meters average). From these, it has been possible to carry out lithostratigraphic and biostratigraphic evaluations, as well as geochemical analyses. Among all of these holes, the San José Well No. 1, located in the zone of Limón Sur, has greatly contributed to the knowledge of the general stratigraphy of the country.

In order to completely evaluate the potential of this country's resources, up-to-date studies of pref easibility and feasibility for specific studies have been carried out. These studies are located, preferentially, in the areas of Limón Sur and San Carlos.

1.4 Geothermal Resources

Geothermal investigations performed by ICE have been centralized in the Miravalles geothermal field, located on the west side of the Guanacaste Cordillera. At present, ICE is prepared to generate a power of 30 MW with the development of such fields.

1.5 Underground Water

The research, development, and control of underground waters is performed by the National Service of Underground and Surface Water

(SENARA) through the Underground Waters and Basic Studies Bureau (DASEB). At present, the main activities of SENARA on this field have been centered on the following three objectives:

- (a) Research on the hydrogeological potential of the gold-bearing alluvium on the Tempisque River, in order to implement three watering projects by underground water.
- (b) Research and development of aquifers of the Central Volcanic Plateau, in order to determine the potential for underground water supply for the San José metropolitan area aqueduct.
- (c) A national-level advisory group on hydrogeology, sanitary landfill, exploitation of coastal aquifers, contamination control, and so on.

It has been shown that in Costa Rica 80 percent of the drinking water supply comes from impounding of underground water, hence the importance of investigation, development, and control of this resource for the country.

1.6 Seismology and Volcanology

The following government institutions carry out seismologic and volcanologic research: (a) the Central American School of Geology (ECG) of the University of Costa Rica (UCR) and (b) the Volcanologic and Seismologic Observatory of the National University.

ECG (UCR) carries out this task together with the Geology Department of the Institute of Electricity of Costa Rica (ICE) and has formed a Nationwide Seismologic Network (RSN) for approximately the last 5 years, even though the seismological research activity has been under the ECC control since 1974.

RSN is a network of five stations within the Central Valley with direct registry at each site. Equipment was obtained from OAS between 1974 and 1979.

The RSN also has a seismic station at la Lucha (7 components: 3 long period, 3 middle period, and 1 short period, using a digital display system). The RSN also has equipment for the registration and analysis of microtremors.

The Volcanologic and Seismologic Observatory (VSO) of the National University in Heredia, Costa Rica, has been carrying out research since 1974. From then until 1983, it has collected and gathered information on seismic data together with ICE.

In 1977, the VSO was fully dedicated to volcanic study and surveying of the volcanoes of Costa Rica. In 1983, the VSO started a project with the National University (UNA) and the Agency for International Development (AID) through the Office of Foreign Disaster Assistance (OFDA), for the installation of a nationwide seismographic network with the technical

advice of the University of California in Santa Cruz. The coordination and execution of the project is invested in VSO into which all volcanologic and seismologic functions have been merged.

As part of the volcanic surveying program, systematic measurement of temperature and analysis of fumarolic condensates are carried out, as well as sampling of high-temperature gases, water geochemistry, gas traps (Sakrashima method), studies on the environmental impact of acid rain of volcanic origin, measurement of radon, dry tilt and study of active lavas, study of tephrites (tefras) for the evaluation of volcanic risk, gravimetry, magnetometry, petrology, geomorphology, volcanic and seismicity studies.

This program is carried out on the Turrialba, Irazú, Poás, and Arenal volcanoes. However, application of some of the methods noted are planned for Barba, Planatar, and Rincón de la Vieja volcanoes.

In the area of seismology, a permanent and nationwide seismologic net is being installed, with 18 stations strategically distributed throughout the country.

At present, 10 short-period and vertical component stations and one of three short-period components are installed and in operation. Three of these stations are located in the northern part of the country: the COBANO (CAO) station on the southern end of the Nicoya Peninsula, the JUAN DIAZ (JUD) station, 12 km west of Nicoya, and the RINCON (RIN) station, 5 km south of the crater of the Rincon de la Vieja volcano.

In the central region, because of the large number of cities, seven stations have been installed: the ESPARZA (EPA), PONTENCIANNA (PTCR) at Puriscal, QUEPOS (QPS), POAS (POA), HEREDIA (HDC), CERRO DE LA MUERTE (CDM), and IRAZU (IRZ) stations. The POAS and IRAZU stations are located near the craters of those volcanoes. The HEREDIA (HDC) station registers in three components with W-A response.

In the south, only one station has been installed: the PUNTA BURICA (PBC) station, 25 km SE of Golfito.

The remaining seven stations will be installed in 1985 and will be distributed as follows: three in the south (Isle del Caño, Cerro Tigre, and Cotón), one on Turrialba Volcano, one at Limón, one on the North Atlantic slope, and the last on Arenal Volcano.

1.7 Hydrology and Geotechnics

This task is principally carried out by ICE by means of its hydroelectric, geothermal, and water projects, in connection with SENARA.

The Ministry of Public Works and Transportation (MOPT) also carries out tasks in the geotechnical

field related to the construction of roads, bridges, and several other types of public works.

1.8 Academic Education

The Institution in charge of academic education in the geological sciences, which awards degrees at the Masters level, is the Central American School of Geology (ECG) of the University of Costa Rica (UCR). Geological investigations of different technical and scientific nature are also performed, with the participation of teachers and students by means of theses.

During geological meetings held in Costa Rica and Guatemala in 1965 and 1967, respectively, emphasis was placed on the great need of training professionals in geological disciplines and on the great urgency of establishing a School of Geology. Representatives of the governments of the region and of Central American institutions for university education participated in those meetings. They studied the problems and established the pertinent measures needed to form a Central American School of Geology. Participants at the meetings proposed the University of Costa Rica as the site for the school. The UCR welcomed the proposal and approved the establishment of a geology degree program in April 1967. Afterwards, the Upper University Council (CSUCA) was asked to give the program a regional character; at its 12th ordinary meeting, held in Managua in August 1967, its regionalization was approved. The Central American School of Geology opened its doors in March 1979, offering the first courses pertaining to this curriculum. At present, the school offers a Masters degree in geology and Masters degree in geology with emphasis on mining geology. The Bachelors degree was eliminated in 1983.

In order to fulfill the established program according to Appendix I, 20 professors (9 full-time, 3 half-time, 510 quarter-time) have been appointed. There are 9 professors with Academic Doctorates, 6 professors with Masters degrees, the other 5 specialize in various fields; others are pursuing postgraduate studies. Furthermore, at present, there are 12 interim professors (5 with Masters degrees and 5 with Bachelors degrees).

The student population is 244, of which 14 are Central American. As of April 1985, the school has graduated 94 geologists (Bachelors and Masters), of which 17 are Central American. The school is working on the improvement of its academic program for which reason great efforts are being made to attract foreign specialized professors who can teach advanced courses.

The school is working on the implementation of specialized specific courses and postgraduate courses

in several fields, such as mining and petroleum geology, geotechnics, and geophysics, in order to offer them to the National and Central American professional community.

Teaching of some of the courses in geological and nongeological sciences which support several curricula, and the development of geological research projects, is conducted by the National University through the School of Land and Sea Sciences, where these courses are taught. However, the major activity is carried out by the VSO.

2. ASSISTANCE PROGRAMS

2.1 Past and Present Programs Per Institution (DGMH)

2.1.1 Directorate of Geology, Mines, and Hydrocarbons, Ministry of Industry, Energy, and Mines (MIEM).

DGMH is the oldest government institution concerned with the specific field of geology. It has received greater and diverse assistance in several fields, especially in geological mapping, mining, volcanology, seismology, petroleum geology, and coal geology.

Among the past technical assistance programs of this institution the following are noteworthy:

<i>Completed Work</i>			
Project or Consultant	Institution	Year	Work Performed
U.S. Geological Survey	USGS/AID	approx. 1960-65	Several geological works on eruptions of Volcan Irazú and geological cartography of part of the Central Valley.
United Nations Development Program	UNO	1972	Mining exploration of the country.
Thomas Walde	UNO	March 83	Revision of the Mining Codes.
J. P. Stone	UNO	June 84	Mechanization of the Mining Registry
A. Stockmayer	UNO	July 84	Mining Legislation (theme).
Omar Frugoni	CIM	Sept.-Oct. 84	Bank of Geological Data.
W. C. Robinson	Argentinian Government UNO	Oct. 84	Mining Inspection Tasks.
<i>Work Underway</i>			
Project or Consultant	Institution	Year	Work Being Performed
Swedish Geological Service	Swedish Government	1984	Mining training.
Improvement of the Mining Registry	AID	1984	Implementation and training for the mechanization of the National Mining Registry.

Future Work

The Aguacate Mining with the USGS is in the planning stage

2.1.2 Central American School of Geology (ECG), University of Costa Rica

Since the establishment of the ECG, the CSUCA and the University of Costa Rica have communicated with different international institutions in order to obtain technical and economic assistance. In this way the UNESCO/PNUD project was initiated and gave the initial support to the school for 4 years. Parallel with this project, the University Exchange Service (DAAD) of the Federal Republic of Germany gave assistance in 1973 and continues to contribute with professors, scholarships, and equipment, including a recent expansion (1985) of the project in Central America. The OAS, in 1973 and 1980, contributed equipment and scholarships in the seismologic and vulcanologic field. The Dutch Government cooperated by sending two professors in 1973 to 1981. The Japanese Government, through the International Cooperation Agency (JICA), has contributed since 1980 seismologic equipment and training scholarships. Lately, the ECG has obtained the collaboration of the School of Geological Sciences of the Universidad Complutense of Madrid.

2.1.3 Underground and Surface Waters (SENARA)

SENARA has received technical assistance from different institutions affiliated with the United Nations which led to the establishment of the National Underground Water Service (SENAS).

For several years, it has kept assistance and research agreements with the Geological Survey of Great Britain, specifically oriented to hydrogeologic research in the area of San José.

Through international institutions such as OAS, UNESCO, and the British Council, the training of technical and professional personnel in hydrogeologic and geophysics fields has been possible.

2.1.4 Petroleum Refinery of Costa Rica (RECOPE)

For petroleum hydrocarbons and coal carbon exploration activities, RECOPE has collaborated with the following technical assistance

programs: PEMEX, YPF, University of British Columbia (UBC), ARPEL, OLADE, World Bank, AID, USGS, Technical Cooperation Agency of Japan (JICA), and the Los Alamos National Laboratory, United States. Likewise, it has received the advice of several professionals and internationally well-known firms.

2.1.5 Development Corporation of Costa Rica (CODESA)

CODESA has received technical assistance from the Geological Survey of Great Britain for alluvial, vein, and disseminated gold; from the Canadian Foreign Administrative Service (CESO); from METARON Enterprise, Rumania, on the Bauxite Project; from Kaiser Enterprises, United States; from Asland, Spain, on cement projects; and from ESI Engineering of Canada on a sulphur field-evaluation project. In 1984, it also received technical assistance from the Government of Argentina, in order to establish a mining data bank for the planning of mining development. CODESA, in 1985, received technical assistance from the Swedish Government for the Alluvial Gold Project that CODESA has initiated on the Osa Peninsula. Table 1 summarizes the technical assistance received.

TABLE 1.—*International technical cooperation received by CODESA*

Names of Personnel	Government or Institution	Type of Advising	Duration	Date
O. Frugoni	Argentina	Geological Data Bank	2 months	1984
J. B. Berrange	British Geological Institute	Photogeology of Osa	5 months	1984
A. Stockmayer	United Nations	Mining contracting	6 weeks	1984
S. Simpson	United Nations	Uranium analysis	2 months	1983
P. Donovan	U.N. Revolving Fund	Gold veins	1 month	1982-83
D. Giles	Canada	Gold refinery	3 months	1982
A. Beard	British Geological Institute	Mining exploration at the Tilaran Mountains	7 months	1981-82
B. Amos				
P. Rogers				
J. Syme	Canada (CESO)	Gold veins	3 months	1981
D. Pringle	Canada (CESO)	Gold veins	3 months	1981
A. Furlotti	United Nations	Uranium prospecting	4 months	1980
N. Stanesco	Rumanian Government	Bauxite studies	4 months	1979
Y.L. Roberts	British Geological Institute	Techniques of geochemical analyses	6 months	1979
A.G. Stratton	United States	Atomic absorption analysis	1 month	1979

2.1.6 School of Sciences of Land and Sea, National University, Volcanologic and Seismologic Observatory

This institution has received financial assistance from AID since 1983, for the installation of a national seismographic network, with technical advice from the University of California, Santa Cruz.

2.1.7 Electrical Institute of Costa Rica

Sufficient information was not received for this section.

3. HUMAN RESOURCES

Present and needed human resources by each institution, according to their own estimates, are as follows:

3.1 Bureau of Geology, Mining, and Hydrocarbons

3.1.1 Existing human resources

6 Geologists
3 Assistant geologists
2 Lawyers
2 Assistant lawyers
2 Drillers
2 Programming assistants
1 Biologist

3.1.2 Necessary human resources

6 Geologists
2 Program operators

3.2 Central American School of Geology

3.2.1 Existing human resources

a) Professors: 30
b) Administrative: 21

3.2.2 Necessary Human Resources

a) Professors: 9-10 (approximately)
Mining geology 1
Sedimentary and petroleum geology 1
Mineral benefit and mining economy 1
Applied geophysics 1
Geotechnics 1
Volcanology 1
Seismology 1
Palynology 1
Vertebrate paleontology 1
b) Administrative:
Programmer 1-2
Laboratory assistants (geochemistry, geophysics, mining geology, mineral beneficia-

tion, sedimentary and petroleum geology, volcanology, palynology and vertebrate paleontology) 8-10 (approximate figure)
 Draftsmen 2
 Secretaries 2

3.3 National Underground and Surface Water Service (Bureau of Underground and Surface Water)

3.3.1 Existing Human Resources

4 Hydrogeologists
 2 Geologists
 1 Geophysicist
 5 Technicians in hydrogeology and geophysics

3.3.2 Necessary Human Resources

3 Hydrogeologists
 4 Geologists
 4 Hydrogeology technicians
 1 Geophysicist
 4 Professional drilling technicians

3.4 Petroleum Refinery of Costa Rica (RECOPE). Exploration management

3.4.1 Existing Human Resources

<u>Professionals</u>	1985
Geologists and mining engineers	26
Civil engineers	10
Geophysical engineers	3
Industrial engineers	1
Electrical engineers	2
Chemical engineers	4
Chemists	1
Librarian	1
TOTAL	48

Technicians

Drillers	9
Geologic aides	2
Geophysical aides	4
Gravity aides	1
Topographic aides	5
Laboratory aides	1
Engineering aides	3
Drilling aides	20
Electricians	2
Garage aides	1
Geologic assistants	7
Geophysical assistants	1
Topographic assistants	2
Laboratory assistants	1
Heavy equipment operators	7
Construction assistants	3

Existing Human Resources

Gravity workers	1
Welders	2
Auto mechanics	3
Industrial mechanics	1
TOTAL	76

Administrative personnel	31
Nonclassified personnel	104
TOTAL	135

3.5 Development Corporation of Costa Rica (CODESA) National Mining (MINASA)

3.5.1 Existing Human Resources

6 Geologists
 2 Chemists
 1 Lawyer
 2 Draftsmen
 23 Administrative

3.5.2 Necessary Human Resources

1 Topographer
 1 Financial analyst

3.6 School of Sciences of Land and Sea: National University, Volcanologic and Seismologic Observatory

3.6.1 Existing Human Resources

2 Seismogram readers
 1 Data analyst, computing technician
 2 Technicians in electronics
 1 Geodesist
 1 Geochemist analyst
 2 Researchers on seismologic and volcanologic fields
 1 Secretary

Two members of the Observatory are studying for their doctorates at the University of California, Santa Cruz; one in seismology and the other in volcanology.

3.6.2 Necessary Human Resources

It would be wise to increase the scientific research personnel in the fields of seismology and volcanology

3.7 Electric Institute of Costa Rica (ICE). Geology Department

3.7.1 Existing Human Resources

15 Geologists
 4 Administrative

3.7.2 Necessary Human Resources

20 Geologists
5 Administrative

4. KNOWLEDGE OF GEOLOGIC RESOURCES AT PRESENT

This subject is complex and difficult to deal with inasmuch as there are several institutions in the country dealing in diverse geological studies. It seems to me that this is a subject to be analyzed in joint participation with the representatives of the various institutions attending this seminar.

In general terms, we can state that there does not exist a definite and systematic program of geologic mapping of the country (responsibility of DGMH) that could produce a geological map at a scale more detailed than the 1:200,000-scale map series published by DGMH. Geological mapping is conducted independently by each of the institutions mentioned according to their project's goals, and without coordination.

Nor is there a systematic mining exploration program for Costa Rica. The efforts, even when valid, performed by the involved institutions, are rather independent and in accordance with the interests of each institution.

In regard to petroleum exploration initiated by RECOPE in 1980, it would be of interest to hear the views of the RECOPE representative as to the program as well as the goals attained. The same should be said about the other specific tasks conducted by institutions such as SENARA in relation to the hydrogeological projects and CODESA in connection with its mine development projects, especially in the area of gold.

Generally speaking, one could say that the knowledge of geological resources has expanded since the '70s, when the Central American School of Geology was established. This is due to the academic training of students

who are now working for various institutions noted above and in the diverse specialized fields of geological sciences represented (for instance: stratigraphy, tectonics, paleontology, petroleum, mining, geotechnics, hydrogeology, seismology, and volcanology).

5. NEEDS OF COSTA RICA

The estimate of present specific needs in order to increase the geological knowledge of the country is something that must also be especially considered at this seminar by all the different attending institutions.

However, we might mention some of the needs that the country will be required to resolve in order to improve its social-economic level, such as:

- 1) Compilation of the geological map of the country, starting at 1:50,000 scale so that it can be used in fields such as mining, petroleum, water, infrastructure works, and so on.
- 2) Development of a systematic mineral-resources exploration program from initial exploration to development.
- 3) Development of other geologic research programs, intended for the use and development of various resources such as water for hydroelectric power and irrigation projects, and for geothermal resources for production of electric power, as well as water-supply services.
- 4) Development of technical and economic support for the preparation of sufficient and qualified personnel, trained in different fields of the geological sciences, at graduate and postgraduate levels, in order to have sufficient qualified professionals in charge of planning and execution of specific geological development programs in mining, petroleum, water, hydroelectric and geothermal projects, infrastructure works, and studies on the prevention and mitigation of geological hazards.

APPENDIX NO. 1—SUBJECTS FOR MASTERS DEGREE IN GEOLOGY, 1984

FIRST YEAR

<u>FIRST YEAR</u>					Hours			Credits	
					Theory	P/Lab*			
CYCLE I					CYCLE IV				
EG-0000	Fine arts I	2	0	1	EG-	Seminar national reality	2	0	2
EG-0001	Sports I	2	0	0	FS-0302	Laboratory, general physics I	0	3	1
EG-0123	Integrated course on humanities I	6	0	6	FS-0303	General physics II	5	0	5
MA-0101	Mathematics	3	3	4	G-0315	Optical mineralogy	2	4	4
FS-0112	Basic physics	2	2	3	G-0316	Geomorphology	2	3	3
Q-0104	General chemistry I	4	0	3	G-3002	Geological drawing II	2	3	3
Q-0105	Laboratory, general chemistry I	0	3	1	TOTAL		26		18
TOTAL		27		18					

CYCLE IV

EG-	Seminar national reality	2	0	2
FS-0302	Laboratory, general physics I	0	3	1
FS-0303	General physics II	5	0	5
G-0315	Optical mineralogy	2	4	4
G-0316	Geomorphology	2	3	3
G-3002	Geological drawing II	2	3	3
TOTAL		26	18	

		Hours	Credits
		Theory	

CYCLE II

EG-0000	Fine arts II	2	0	1
EG-0002	Sports II	2	0	0
EG-0123	Integrated course on humanities II	6	0	6
MA-0201	Calculus I	5	0	4
Q-0106	General chemistry II	4	0	3
Q-0107	Laboratory, general chemistry II	0	3	1
G-0212	General geology I	3	3	3
TOTAL		28	18	

THIRD YEAR

		Hours	Credits
		Theory	

CYCLE V

G-0024	Introductory geophysics	3	2	3
G-0327	Petrography igneous rocks	3	3	4
G-4112	Introductory geohydrology	2	4	3
G-4214	Field geology I	3	4	4
XS-	General statistics for geologists	3	2	4
TOTAL		29	18	

SECOND YEAR

		Hours	Credits
		Theory	

CYCLE III

EG-	Repertoire (Social or Literature)	4	0	3
FS-0201	General physics	5	0	4
MA-0301	Calculus II	5	0	4
G-0213	General geology II	3	2	3
G-0224	General mineralogy	2	4	3
G-3001	Geological drawing I	1	2	2
TOTAL		28	19	

		Hours	Credits
		Theory	

CYCLE VI

EG-	Seminar national reality II	2	0	2
G-0421	Introductory geotechnics	2	4	3
G-0124	Applied geophysics	2	4	3
G-4110	Structural geology	4	2	4
G-5117	Nonmetallic minerals	3	2	3
G-0023	Introductory geochemistry	2	3	3
TOTAL		30	18	

* Practice and/or laboratory, according to the professors' dictate.

FOURTH YEAR

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
CYCLE VII				
G-0020	Photogeology	2	3	3
G-4113	Stratigraphy	2	3	3
G-4222	Petrography			
	sedimentary rocks	3	3	4
G-0419	General			
	paleontology	3	3	4
G-4215	Metallic mineral			
	deposits	3	3	3
TOTAL		28		17

CYCLE X

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
G-0038	Micropaleontology	3	3	4
G-	Optional	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-9502	Directed			
	research III	0	0	0
TOTAL		26		16
TOTAL CREDITS:		180		
TOTAL HOURS:		279 (excluding field geology)		

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	

CYCLE VIII

G-3270	Petrography meta-			
	morphic rocks	1	2	2
G-5116	Field geology II	2	5	4
G-4111	Historic geology	2	1	2
G-5120	Volcanology	2	3	3
G-4120	Sedimentology	3	4	4
CI-0202	Principles of			
	information I	4	0	4
G-9500	Directed research	0	0	0
TOTAL		29		19

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	

SUMMER COURSE

G-5216	Field geology	0	0	2
--------	---------------	---	---	---

FIFTH YEAR

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
CYCLE IX				
G-5217	Field geology	0	5	2
G-4114	Geotechnics	3	2	3
G-4213	Soil mechanics for geologists	2	3	3
G-0233	Applied geochemistry	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-9501	Supervised research II	0	0	0
TOTAL		30		17

CYCLE VIII

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
G-5116	Field geology II	2	5	4
G-0125	Mining geophysics	2	4	3
G-0142	Mining geology I	3	3	4
CI-202	Principles of			
	information I	4	0	4
G-3270	Petrography meta-			
	morphic rocks	1	2	2
G-	Stratigraphy and			
	sedimentology	2	4	3
G-9500	Directed research	0	0	0
TOTAL		32		20

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
SUMMER COURSE				
G-5216	Field geology	0	0	2

FIFTH YEAR

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
CYCLE IX				
G-5217	Field geology	0	5	2
G-4104	Prospection and mining exploration	2	3	3
G-0021	Rock mechanics	2	4	3
G-0145	Mineral treatment and metallurgy	2	3	3
G-0028	Metallography and engraving	2	3	3
G-	Optional	2	3	3
G-9501	Directed research	0	0	0
TOTAL		31		17

		Hours		Credits
		Theory	P/Lab*	
CYCLE X				
G-4107	Economic geology	3	2	3
G-0143	Mining geology II	2	3	3
G-5125	Geological legislation	3	0	2
G-5219	Mining economy	3	2	3
G-	Optional	2	3	3
G-9502	Supervised research III	0	0	0
TOTAL		23		14

TOTAL CREDITS: 181

**TOTAL HOURS: 285 (excluding field
geology)**

SITUACION ACTUAL DE LA GEOLOGIA EN COSTA RICA

Por Rolando Castillo¹

1. DISTRIBUCION DE LA ACTIVIDAD GEOLOGICA POR INSTITUCION

A continuación se señalan las diversas instituciones del Estado, que se encargan de desarrollar actividades geológicas por campos de acción.

1.1. Cartografia Geologica

1.1.1 Mapa Geologico De Costa Rica

Lo efectúa por ley la Dirección de Geología, Minas e Hidrocarburos (DGMH), Ministerio de Industria, Energía y Minas (MIEM).

1.1.2 Otras Labores De Cartografia Geologica

Diversas instituciones realizan labores de cartografía geológica, a diversas escalas, de acuerdo con los objetivos de los proyectos que cada una de ellas desarrolle.

Es así como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) efectúa cartografía geológica en acorde con sus proyectos hidroeléctricos y geotérmicos. La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) en relación con el proyecto de exploración petrolera y carbón. La Corporación Costarricense de Desarrollo (CODESA), en la actualidad por intermedio de su subsidiaria Minera Nacional S.A. (MINASA), efectúa cartografía geológica más vinculada a labores de exploración y evaluación de prospectos minerales, en especial auríferos. El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) se ocupa de trabajos de cartografía geológica que tengan que ver con la investigación y aprovechamiento de las aguas subterráneas y superficiales del país. La Escuela Centroamericana de Geología (ECG) efectúa

cartografía geológica a diversas escalas, de acuerdo con sus actividades docentes y de investigación, incluyendo los trabajos de tesis. El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional efectúa estas labores a escalas desde luego de acuerdo con la naturaleza de su proyecto de investigación vulcanológica y sismológica.

1.2 Minería

La DGMH (MIEM), cuya actividad principal es la administración y control minero, además de la elaboración del mapa geológico del país, de acuerdo al Código de Minería, también desarrolla otras actividades de apoyo a las labores principales como por ejemplo el plan de regionalización de la actividad minera, la automatización del Registro Minero. Complementariamente también impulsa algunos proyectos de exploración y desarrollo minero en relación con oro y minerales industriales.

La Corporación Costarricense de Desarrollo (CODESA) por medio del anterior Departamento de Desarrollo Geológico y Recursos Minerales, hoy convertido en la empresa subsidiaria Minera Nacional S.A. (MINASA) se ocupa de impulsar y ejecutar proyectos mineros a nivel de exploración, principalmente en el campo del desarrollo de los recursos minerales en general, aunque en la actualidad se ocupa principalmente de proyectos relacionados con la minería aurífera y de la prospección de minerales radioactivos, este último con la participación de las Naciones Unidas financiada por el Gobierno Italiano. Con especial atención desarrolla los proyectos auríferos (tipo veta y disseminado) en la Cordillera de Tilarán, y en la Península de Osa, proyectos de oro aluvial con la asistencia técnica del Gobierno de Suecia.

1.3 Hidrocarburos Y Carbon

RECOPE es la entidad encargada por el Estado costarricense para efectuar la exploración y explotación de los recursos hidrocarburíferos y carbón.

¹ Director, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

En 1980, después de cinco años sin realizarse ninguna actividad exploratoria en el país, el Gobierno de Costa Rica decidió reiniciar la exploración de aceite y gas. Se le asignó esta tarea a la Refinadora Costarricense de Petróleo S. A. (RECOPE). Como resultado de las actividades de RECOPE, se ha hecho disponible una información más completa y precisa, ampliando notablemente nuestra información del potencial hidrocarburífero en las diversas cuencas sedimentarias del país, cuya área combinada se conoce ahora que alcanza los 35.000 m².

A finales de 1980 inicia RECOPE sus actividades de exploración. Lo hace a través de una revisión global de campo y gabinete, en cuanto a geología superficial se refiere. Se cubrieron las áreas de Limón Sur y San Carlos, y a la fecha se inician los estudios en las áreas de Pacífico Norte y Sur, dando énfasis en lo que respecta a análisis sedimentológico y geoquímico.

En cuanto a sismica se cubrieron las áreas de Limón Sur y Limón Norte, laborando en forma conjunta COMESA y RECOPE. Posteriormente, se le encomendó a GSI las labores de sismica marina en las plataformas Pacífica y Atlántica.

Tanto la magnetometría aérea y marina le fué encomendada a la Empresa Aéreo Service, la cual cubrió las áreas de Limón Sur, Limón Norte, Pacífico Sur, Pacífico Norte y las plataformas Atlántica y Pacífica.

Los estudios gravimétricos se iniciaron a todo lo largo de la plataforma Atlántica, a través de un convenio con la Universidad de Columbia Británica (U.B.C.) y el concurso de la Empresa G.S.I. Por su parte, RECOPE, cubrió las áreas de Limón Sur, Limón Norte, San Carlos, y a la fecha se encuentra laborando en la zona del Pacífico Sur.

Exceptuando las áreas volcánicas, RECOPE se dió a la tarea de fotointerpretar prácticamente todo el país. Se abocó principalmente, a las áreas de Limón Sur, Limón Norte, San Carlos, Pacífico Sur y Pacífico Norte.

Con fines puramente exploratorios, RECOPE se dió a la tarea de realizar múltiples perforaciones someras (200 metros promedio) a partir de las mismas se han podido realizar evaluaciones litoestratigráficas, bioestratigráficas, así como análisis geoquímicos. De la totalidad de perforaciones, se destaca el Pozo San José No. 1, ubicado en la zona de Limón Sur, el cual y sin lugar a dudas ha venido a dar un gran aporte al conocimiento de la estratigrafía general del país.

Con el fin de evaluar en forma integral el potencial que de este recurso posee el país, se han realizado a la fecha estudios de pre y factibilidad de Proyectos específicos. Se ubican dichos estudios y en forma preferencial en las áreas de Limón Sur y San Carlos.

1.4 Geotermia

La investigación geotérmica que la efectúa el ICE, se ha centralizado en el campo geotérmico de

Miravalles localizado en el flanco oeste de la Cordillera de Guanacaste. En la actualidad dicha institución se encuentra próxima a generar 30 Mw de potencia con el desarrollo de dicho campo.

1.5 Aguas Subterráneas

La investigación, desarrollo y control de las aguas subterráneas la efectúa el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) por medio de la Dirección de Aguas Subterráneas y Estudios Básicos (DASEB). Al presente las principales actividades del SENARA en este campo se han centralizado en los siguientes tres objetivos:

- a) Investigación del potencial hidrogeológico de los acuíferos aluviales de la margen derecha del río Tempisque, con el objeto de implementar proyectos de riego por agua subterránea.
- b) Investigación y desarrollo de los acuíferos de la Meseta Volcánica Central, con el objeto de determinar el potencial de abastecimiento de agua subterránea para el acueducto del Área Metropolitana.
- c) Asesoría a nivel nacional en hidrogeología, sistemas de rellenos sanitarios, explotación de acuíferos costeros, control de contaminación y otros.

Cabe señalar que en Costa Rica, el abastecimiento de agua potable proviene en un 80% de captaciones de aguas subterráneas, de ahí la importancia que tiene para el país la investigación, desarrollo y control de este recurso.

1.6 Sismología y Vulcanología

Dos instituciones del estado realizan investigación sismológica y vulcanológica: a) la Escuela Centroamericana de Geología (ECG) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y b) el Observatorio Vulcanológico y Seismológico de la Universidad Nacional.

La ECG (UCR) realiza esta labor en conjunto con el Departamento de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y han conformado una Red Sismológica Nacional de Cobertura Nacional (RSN) desde hace aproximadamente cinco años, aunque la actividad de investigación sismológica ha estado en manos desde 1974 de la ECG.

La RSN está constituida por una red básica de cinco estaciones dentro del Valle Central con registro directo en cada sitio. Este equipo se obtuvo de la OEA entre 1974 y 1979.

También se cuenta con una estación sismológica en La Lucha (7 componentes: 3 periodo largo, 3 periodo medio y 1 periodo corto y además registro controlado por sistema de disparo). También se

dispone de un equipo para registro y análisis de microtemblores.

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional, con sede en Heredia, Costa Rica, viene realizando investigación en el área de la geociencias desde 1974. Desde ese año hasta 1983, trabajó en la recopilación y recolección de información de datos sísmicos en conjunto con el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

En 1977, se incorporó de lleno en el estudio y vigilancia volcánica a través del proyecto de estudio de los Volcanes de Costa Rica. En 1983, comenzó un proyecto entre la Universidad Nacional (UNA) y la Agencia Para el Desarrollo Internacional (AID) a través de la Oficina para Desastres (OFDA), para la instalación de una red sismográfica de cobertura nacional con la asesoría técnica de la Universidad de California en Santa Cruz. Por parte de la Universidad Nacional el coordinador y ejecutor del proyecto es el OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLOGICO de dicha institución, organismo en el cual se fusionaron todos los programas y proyectos de vulcanología y sismología de dicha entidad.

Como parte del programa de vigilancia volcánica se efectúan mediciones sistemáticas de temperatura y análisis de condensados en fumarola, muestrario de gases a alta temperatura, geoquímica de aguas, trampa de gases (Metodo Sakurashima), estudios de impacto ambiental de la lluvia ácida de origen volcánico, emanometría de gas radon, inclinometría seca y lavas activas, estudio de tefras para evaluación de riesgo volcánico, gravimetría, magnetometría, petrología, geomorfología y estudios de sismicidad volcánica.

Este programa se viene desarrollando en los volcanes Turrialba, Irazu, Poas y Arenal, sin embargo algunos de los métodos anteriores se planea aplicarlos a los volcanes Barba, Platanar y Rincón de la Vieja.

En el área de sismología se está instalando una red sismográfica permanente y de cobertura nacional, con 18 estaciones estratégicamente distribuidas en todo el país.

Actualmente se tienen instaladas en todo el país y en operación 10 estaciones de período corto y componente vertical y una de tres componentes de período corto. Tres de estas estaciones se encuentran en la región norte del país: la estación COBANO (CAO) en el extremo meridional de la Península de Nicoya, JUAN DIAZ (JUD) a 12 Km al W de Nicoya y RINCON (RIN) a 5 Km al sur del cráter del volcán Rincón de la Vieja.

En la región central, dada la mayor cantidad de ciudades y la consecuente concentración de la población se han ubicado siete estaciones: ESPARZA (EPA), PONTENCIANA (PTCR) in Puriscal, QUE-

POS (QPS), POAS (POA), HEREDIA (HDC), CERRO DE LA MUERTE (CDM), e IRAZU (IRZ). Las estaciones POAS e IRAZU, se encuentran cerca del cráter de los volcanes del mismo nombre. La estación HEREDIA (HDC) registra en tres componentes con respuesta WOOD-ANDERSON.

En la región sur se ha instalado únicamente una estación: PUNTA BURICA (PBC), a 25 Km SE de Golfito.

Las restantes siete estaciones serán instaladas en 1985 y distribuidas de la siguiente manera: tres en el sur (Isla del Cano, Cerro Tigre y Coton) en el Volcán Turrialba, en Limon, en la Vertiente del Atlántico Norte y otra en el Volcán Arenal.

1.7 Hidrologia y Geotecnia

Esta labor la efectúa principalmente el ICE en sus proyectos de desarrollo hidroeléctrico, geotérmico y de riego, en conexión con el SENARA, y básica para las obras de infraestructura que construye.

También el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) efectúa labor en el campo geotécnico relacionada con la construcción de carreteras, puentes y diversos tipos de construcciones públicas.

1.8 Enseñanza Academica

En lo que respecta a la enseñanza académica de las ciencias geológicas en general con grados universitarios terminativos a nivel de Licenciatura, la Escuela Centroamericana de Geología (ECG) de la Universidad de Costa Rica (UCR) es la encargada al respecto. También se desarrollan investigaciones geológicas de diversa índole técnica y científica, con la participación de profesores y de estudiantes en sus tesis de grado.

En las reuniones geológicas de América Central celebradas en Costa Rica y Guatemala en 1965 y 1967, respectivamente, se insistió en la apremiante necesidad de formar profesionales en las disciplinas geológicas y en la urgencia de establecer una Escuela de Geología para formar los recursos humanos que la región necesitaba en estas disciplinas. En esos congresos participación representantes de los gobiernos de la región y de instituciones centroamericanas de educación universitaria, quienes estudiaron el problema y establecieron las medidas pertinentes para crear una Escuela Centroamericana de Geología. Los participantes en los congresos propusieron como sede de la Escuela, a la Universidad de Costa Rica; - esta acogió la propuesta y aprobó la creación de la Carrera de Geología, en abril de 1967. Posteriormente se solicitó al Consejo Superior Universitario, CSUCA, el carácter regional de la carrera y en su XII reunión

ordinaria, celebrada en Managua en agosto de 1967, se aprobó su regionalización. La Escuela Centroamericana de Geología abrió sus puertas en marzo de 1970, ofreciendo los primeros cursos propios de la carrera. En la actualidad la Escuela ofrece las siguientes carreras: Licenciatura en Geología y Licenciatura en Geología con énfasis en Geología Minera. El Bachillerato fue eliminado en 1983.

Para cumplir con los programas establecidos, según el Anexo 1 adjunto, hay nombrados en propiedad un total de 20 profesores (9 de tiempo completo, 3 de 1/2 T, 10 de 1/4 tiempo). Hay 9 profesores con doctorado académico, 6 profesores con maestría y los restantes, 5 son profesores con especialización en diversos campos y otros siguen estudios de postgrado en el exterior. Además actualmente hay 12 profesores con título nombrados en forma interina (5 Licenciados y 5 Bachilleres).

En la actualidad la población estudiantil es de 244, de los cuales 14 son centroamericanos. Al presente (abril 1985) la Escuela ha graduado 94 geólogos (entre Bachilleres y Licenciados) de los cuales 17 son centroamericanos. La Escuela se encuentra en la tarea permanente de mejorar su nivel académico para lo cual se están haciendo los esfuerzos del caso para atraer profesores extranjeros especializados que enseñan cursos avanzados, incluso del nivel de Postgrado.

Se está trabajando en la implementación de cursar específicos especializados y de postgrado en diversos campos como la geología minera y petrolera, la geotécnica y la geofísica con el afán de ofrecerlos a la comunidad profesional nacional y centroamericana.

En lo que respecta a la enseñanza de algunos cursos en ciencias geológicas de apoyo a carreras diversas, no geológicas, y de desarrollo de algunos proyectos de investigación geológica, la Universidad Nacional, por intermedio de la Facultad de las Ciencias de la Tierra y del Mar, en donde se ubican los cursos y, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de dicha institución, están dedicados a desarrollarlos. Sin embargo, la principal actividad se relaciona con aquella que se realiza en el Observatorio antedicho, la cual se detalla en el punto 1.6.

2. PROGRAMS DE ASISTENCIA

2.1 Programas Pasados Y Presentes Por Institución

2.1.1 Dirección De Geología, Minas E Hidrocarburos, Ministerio De Industria, Energía Y Minas (MIEM).

Por ser la institución del Estado más antigua en el campo específico de las actividades

geológicas, es la que ha recibido mayores y más variadas ayudas en campos diversos principalmente cartografía geológica, minería, vulcanología, sismología, hidrocarburos, y materiales carbonosos.

Dentro de los programas de asistencia técnica pasados de esta institución merecen citarse los siguientes:

Proyecto o Consultor	Organismo	Año	Trabajo realizado
Servicio Geológico de los Estados Unidos	USGS/AID	aprox. 1960-65	Diversos trabajos geológicos sobre erupciones Volcán Irazú y cartografía geológica de parte del Valle Central.
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	ONU	1972	Exploración minera del país
Thomas Walde	ONU	Marzo 83	Revisión Código de Minería
J. P. Stone	ONU	Junio 84	Mecanización Registro Minero
A. Stockmayer Omar Frugoni	ONU CIM Gobierno Argentino	Julio 84 Set-Oct 1984	Legislación Minera (tema) Banco Geológico de Datos
W. C. Robinson	ONU	Oct 84	Labores de Inspección Minera

Los programas de asistencia presentes son los siguientes:

Proyecto o Consultor	Institución	Año	Trabajo en ejecución
Servicio Geológico de Suecia	Gobierno de Suecia	1984	Capacitación Minera
Mejoramiento del Registro Minero	AID	1984	Implementación y capacitación de la mecanización del Registro Nacional Minero.

Con proyección al futuro se encuentra en trámite el Proyecto Minero de los Montes del Aguacate con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

2.1.2 Escuela Centroamericana De Geología (ECG), Universidad De Costa Rica

Desde la fundación de la ECG, el CSUCA y la Universidad de Costa Rica se dirigieron a diferentes organismos internacionales con el objeto de obtener asistencia técnica y económica para lograr su funcionamiento con un adecuado nivel académico inicial. Fue así como se logró el proyecto UNESCO/PNUD que le dió el debido apoyo inicial a la Escuela por cuatro años. Paralelamente a este proyecto el Servicio de Intercambio Universitario (DAAD) de la República Federal de Alemania dió una ayuda en 1973 con aporte de profesores, becas y

equipo que en la actualidad continúa, incluso con una ampliación reciente (1985) del proyecto a nivel centroamericano. La OEA de 1973 a 1980, colaboró con equipo y becas en el área de sismología y vulcanología. El Gobierno Holandés cooperó, mediante el envío de dos profesores de 1973 a 1981. El Gobierno Japonés, por medio de la Agencia de Cooperación Internacional (JICA), desde 1980 al presente, ha venido colaborando principalmente con equipo sísmológico y becas de adiestramiento. Últimamente, se ha logrado la colaboración de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

2.1.3 Servicio Nacional De Aguas Subterráneas, Riego Y Avenamiento (SENARA)

El SENARA ha recibido varias asistencias técnicas de diversas instituciones con las Naciones Unidas que dió lugar a su establecimiento como Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENAS).

Ha mantenido durante varios años convenios de asistencia e investigación con el Servicio Geológico de Gran Bretaña (BGS) específicamente orientados a las investigaciones hidrogeológicas en el Área Metropolitana.

A través de organismos internacionales como OEA, UNESCO, British Council ha sido posible el entrenamiento de personal técnico y profesional en el campo de la hidrogeología y geofísica.

2.1.4 Refinadora Costarricense De Petroleo (RECOPE)

Para la realización de las actividades de exploración de hidrocarburos y carbón, RECOPE ha contado, entre otros, con los siguientes programas de asistencia técnica: PEMEX, YPF, Universidad de Columbia Británica (UBC), ARPEL, OLADE, Banco Mundial, AID, USGS, Agencia de Cooperación Técnica del Japón (JICA), Laboratorio Los Alamos, Estados Unidos. Asimismo ha contado con la consultoría de varios profesionales y empresas de prestigio internacional.

2.1.5 Corporación Costarricense De Desarrollo (CODESA)

Esta institución ha recibido asistencia técnica del Servicio Geológico de la Gran Bretaña en los proyectos de oro aluvional y filoniano y/o diseminado, de CESO (Servicio

Administrativo Canadiense en el Exterior), de la empresa METAROM de Rumania en el Proyecto Bauxita, de las empresas Kaiser de los Estados Unidos y Asland de España en los proyectos de cemento, de la empresa consultora ESI Engineering de Canada en un proyecto de evaluación de un yacimiento de azufre. También recibió en 1984, asistencia técnica del Gobierno Argentino, con el propósito de instaurar un sistema de información o Banco de Datos Geológico Minero para la planificación del desarrollo minero.

A partir de este año (1985), CODESA ha estado recibiendo asistencia técnica del Gobierno Sueco en el Proyecto de Oro Aluvional que dicha institución desarrolla en la Península de Osa. Tabla 1 resume la asistencia técnica recibida.

TABLA 1.— *Corporación Costarricense De Desarrollo Cooperación Técnica Internacional Gratuita Recibida En Los Proyectos Mineros De Codesa*

Nombre del Personal	Gobierno o Institución	Tipo de Asesoría	Duración	Fecha
O. Frugoni	Argentina	Banco de Datos Geológicos	2 meses	1984
J. B. Berrange	Inst. Geol. Británico (IGB)	Fotogeología en Península de Osa (Oro Aluvional)	5 meses	1984
A. Stockmayer	Naciones Unidas	Contratación Minera	6 semanas	1984
S. Simpson	Naciones Unidas	Análisis de Uranio	2 meses	1983
P. Donovan	Fondo Rotatorio	Filones Auríferos	1 mes	1982-83
A. Beard	Canada	Refinería de Oro	3 meses	1982
B. Amos P. Rogers	Inst. Geol. Británico	Exploración Minera en la Cordillera de Tilarán	7 meses	1981-82
J. Syme	Canada (CESO)	Filones Auríferos	3 meses	1981
D. Pringle	Canada (CESO)	Filones Auríferos	3 meses	1981
A. Furlotti	Naciones Unidas	Prospección Uranio	4 meses	1980
N. Stanesco	Gobierno Rumano	Estudios de Bauxita	4 meses	1979
Y. L. Roberts	Inst. Geol. Británico	Técnicas de Análisis Geoquímicos	6 meses	1979
A. G. Stratton	Varian Estados Unidos	Análisis por Absorción Atómica	1 mes	1979

2.1.6 Facultad De Las Ciencias De La Tierra Y Del Mar. Universidad Nacional. Observatorio Vulcanológico Y Sismológico.

Esta institución ha recibido asistencia financiera de la AID desde 1983, en cuanto a

instalar una red sismográfica de cobertura nacional, con la asesoría técnica de la Universidad de California en Santa Cruz.

2.1.7 Instituto Costarricense De Electricidad

No se recibió información suficiente para esta parte.

3. RECURSOS HUMANOS

A continuación se señalan los recursos humanos existentes y necesarios por institución de acuerdo con su propia información.

3.1 Dirección De Geología, Minas E Hidrocarburos

3.1.1 Recursos Humanos Existentes

- 6 Geólogos
- 3 Asistentes de geología
- 2 Abogados
- 2 Asistentes de abogado
- 2 Perforadores
- 2 Auxiliares de programación
- 1 Biólogo

3.1.2 Recursos Humanos Necesarios

- 6 Geólogos
- 2 Operadores de programa

3.2 Escuela Centroamericana De Geología

3.2.1 Recursos Humanos Existentes

- a) Profesores: 30
- b) Administrativos: 21

3.2.2 Recursos Humanos Necesarios

- a) Profesores: 9-10 (dato aproximado)
 - Geología minera 1
 - Geología sedimentaria y petroleo 1
 - Beneficio mineral y economia minera 1
 - Geofísica aplicada 1
 - Geotécnica 1
 - Vulcanología 1
 - Sismología 1
 - Palinología 1
 - Paleontología de vertebrados 1
- b) Administrativos:
 - Programador 1-2
 - Asistentes de laboratorio (geoquímica, geofísica, geología minera, beneficio

mineral, geología sedimentaria y petróleo, vulcanología, palinología y paleontología de vertebrados) 8-10 (dato aprox.)

Dibujantes 2
Secretarias 2

3.3 Servicio Nacional De Aguas Subterráneas (Dirección de Aguas Subterráneas y Estudios Básicos).

3.3.1 Recursos Humanos Existentes

- 4 Hidrogeólogos
- 2 Geólogos
- 1 Geofísico
- 5 Técnicos hidrogeología y geofísica

3.3.2 Recursos Humanos Necesarios

- 3 Hidrogeólogos
- 4 Geólogos
- 4 Técnicos en hidrogeología
- 1 Geofísico
- 4 Técnicos profesionales en perforación

3.4 Refinadora Costarricense De Petroleo (RECOPE). Gerencia de Exploración.

3.4.1 Recursos Humanos Existentes:

<u>Profesior:</u>	<u>1985</u>
Geólogos e ing. mineros	26
Ingenieros civiles	10
Ingenieros geofísicos	3
Ingenieros industriales	1
Ingenieros eléctricos	2
Ingenieros químicos	4
Químicos	1
Bibliotecólogos	1
TOTAL	48

<u>Técnicos</u>	
Perforadores	9
Auxiliares de geología	2
Auxiliares de geofísica	4
Auxiliares de gravimetría	1
Auxiliares de topografía	5
Auxiliares de laboratorio	1
Auxiliares de ingeniería	3
Auxiliares de perforación	20
Auxiliares de electricidad	2
Auxiliares de taller	1
Asistente de geología	7
Asistente de geofísica	1
Asistente de topografía	2
Asistente de laboratorio	1

Operadores equipo pesado	7
Operarios de construcción	3

Recursos Humanos Existentes

Operarios de gravimetría	1
Soldadores	2
Mecánicos automotrices	3
Mecánico industrial	1

TOTAL	76
--------------	-----------

Personal administrativo	31
Personal no calificado	104
TOTAL	135

3.5 Corporación Costarricense De Desarrollo (CODESA). Minera Nacional (MINASA).

3.5.1 Recursos Humanos Existentes

- 6 Geólogos
- 2 Químicos
- 1 Abogado
- 2 Dibujantes
- 23 Administrativos

3.5.2 Recursos Humanos Necesarios

- 1 Topógrafo
- 1 Analista Financiero

3.6 Facultad De Ciencias De La Tierra Y El Mar. Universidad Nacional. Observatorio Vulcanológico Y Sismológico

3.6.1 Recursos Humanos Existentes

- 2 Lectores de sismogramas
- 1 Analista de datos, técnico en computación
- 2 Técnicos en electrónica
- 1 Geodesta
- 1 Analista geoquímico
- 3 Investigadores en los campos de sismología y vulcanología
- 1 Secretaria

Ademas dos miembros del Observatorio, se encuentran cursando estudios de doctorado en la Universidad de California en Santa Cruz, uno en sismología y el otro en vulcanología.

3.6.2 Recursos Humanos Necesarios

Podría ser conveniente aumentar el personal científico investigador en los campos de sismología y vulcanología.

3.7 Instituto Costarricense De Electricidad (ICE). Departamento de Geología.

3.7.1 Recursos Humanos Existentes

- 15 Geólogos
- 4 Administrativos

3.7.2 Recursos Humanos Necesarios

- 20 Geólogos
- 5 Administrativos

4. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LOS RECURSOS GEOLOGICOS

Este tema es algo difícil de tratar en su real magnitud, dado que en el país existen diversas instituciones, como se ha podido determinar anteriormente, que se dedican a muy diversos campos del estudio de los recursos geológicos. Me parece que este punto debiera ser analizado en conjunto con la participación de los representantes de las diversas instituciones que asisten a este seminario.

Sin embargo en términos generales se puede señalar que no existe, por ejemplo, un programa definido y sistemático de cartografía geológica del país (de responsabilidad de la DGMH) que vaya a producir un mapa geológico, a escalas de mayor detalle geológico que el de 1:200.000 publicado por la DGMH, es decir escalas como 1:50.000. La cartografía geológica se realiza independientemente en cada una de las instituciones mencionadas de acuerdo con los objetivos de sus proyectos.

Tampoco existe un programa sistemático de exploración minera del territorio nacional. Los esfuerzos, valiosos al fin, que al respecto realizan las instituciones involucradas, son más bien independientes y de acuerdo con los intereses propios de cada institución.

En cuanto a la exploración petrolera del territorio nacional iniciada por el Estado en 1980, sería interesante escuchar la participación del representante de esta institución con el fin de evaluar la programación establecida y los objetivos logrados. Lo mismo habría que decir de las otras labores específicas desarrolladas por instituciones como SENARA en relación con los proyectos hidrogeológicos, CODESA en conexión con sus proyectos de desarrollo minero, especialmente en el campo aurífero.

En términos generales, se puede decir que el conocimiento de los recursos geológicos ha avanzado mucho a partir de la década del 70, al establecerse la Escuela Centroamericana de Geología. Esto por cuanto esta unidad académica ha preparado suficiente recurso humano el cual ha venido elaborando para las diferentes instituciones mencionadas y en diversos campos de especialidad de las Ciencias Geológicas (por ejemplo: estratigrafía, tectónica, paleontología, petróleo, minería, geotécnica, hidrogeología, sismología, vulcanología).

5. NECESIDADES DEL PAIS

La estimación de las necesidades reales específicas para ampliar el conocimiento geológico del país, es algo que también debe de considerarse específicamente en este seminario con la participación de las diversas instituciones participantes.

Sin embargo, se podrían mencionar algunas necesidades que el país requiere solventar con el propósito de tratar principalmente de lograr mejorar el nivel socio-económico, estos son en términos generales a saber:

- 1) Levantar el mapa geológico del país, empezando con el de escala 1:50.000, por cuanto sería de uso en diversos campos como el minero, petrolero, aguas, obras de infraestructura, etc.
- 2) Desarrollar un programa sistemático de exploración de recursos minerales por fases progresivas de detalle

mediante diversos y adecuadas metodologías de exploración.

- 3) Desarrollar otros programas sistemáticos de investigación geológica que tiendan al uso y desarrollo de diversos recursos geológicos como las aguas para proyectos hidroeléctricos y riego, y recursos geotérmicos para la producción de energía eléctrica.
- 4) Lograr apoyo técnico y financiero para la preparación de suficientes elementos capacitados en las diversas disciplinas de las ciencias geológicas, a nivel de pregrado y post-grado, con el propósito de disponer de suficiente profesional capacitado que se encargue de planear y ejecutar programas específicos de desarrollo geológico en el campo de la minería, el petróleo, las aguas, los proyectos hidroeléctricos, geotérmicos, de obras de infraestructura y los estudios de prevención y mitigación de riesgos de origen geológico.

ANEXO NO. 1—PLAN DE ESTUDIOS, 1984, ASIGNATURAS PARA LICENCIATURA EN GEOLOGIA

PRIMER AÑO

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
CICLO I				
EG-0000	Actividad Artística I	2	0	1
EG-0001	Actividad Deportiva I	2	0	0
EG-0123	Curso Integrado de Humanidades I	6	0	6
MA-0101	Matemática de Ingreso	3	3	4
FS-0112	Física Básica	2	2	3
Q-0104	Química General I	4	0	3
Q-0105	Laboratorio Química General I	0	3	1
TOTAL		27		18

Horas
Teoría P/Lab* Créditos

CICLO II

EG-0000	Actividad Artística II	2	0	1
EG-0002	Actividad Deportiva II	2	0	0
EG-0123	Curso Integrado de Humanidades II	6	0	6
MA-0201	Cálculo I	5	0	4
Q-0106	Química General II	4	0	3
Q-0107	Laboratorio Química General II	0	3	1
G-0212	Geología General I	3	3	3
TOTAL		28		18

SEGUNDO AÑO

Horas
Teoría P/Lab* Créditos

CICLO III

EG-	Repertorio (Sociales o Letras)	4	0	3
FS-0201	Física General I	5	0	4
MA-0301	Cálculo II	5	0	4
G-0213	Geología General II	3	2	3

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
G-0224	Mineralogía General	2	4	3
G-3001	Dibujo Geológico I	1	2	2
TOTAL		28		19

Horas
Teoría P/Lab* Créditos

CICLO IV

EG-	Seminario Realidad Nacional I	2	0	2
FS-0302	Laboratorio Física General I	0	3	1
FS-0303	Física General II	5	0	5
G-0315	Mineralogía Óptica	2	4	4
G-0316	Geomorfología	2	3	3
G-3002	Dibujo Geológico II	2	3	3
TOTAL		26		18

TERCER AÑO

Horas
Teoría P/Lab* Créditos

CICLO V

G-0024	Geofísica Introductiva	3	2	3
G-0327	Petrografía Rocas Igneas	3	3	4
G-4112	Geohidrología Introductiva	2	4	3
G-4214	Geología de Campo I	3	4	4
XS-	Estadística Gral. para Geólogos	3	2	4
TOTAL		29		18

Horas
Teoría P/Lab* Créditos

CICLO VI

EG-	Seminario Realidad Nacional II	2	0	2
G-0421	Geotecnia Introductiva	2	4	3
G-0124	Geofísica Aplicada	2	4	3
G-4110	Geología Estructural	4	2	4
G-5117	Yac. Minerales No Metálicos	3	2	3

* Laboratorio y/o práctica de acuerdo con el criterio del Profesor del curso.

G-0023	Geoquímica Introdutiva	2	3	3
TOTAL		30	18	

CUARTO AÑO

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
CICLO VII				
G-0020	Fotogeología	2	3	3
G-4113	Estratigrafía	2	3	3
G-4222	Petrografía Rocas Sedimentarias	3	3	4
G-0419	Paleontología General	3	3	4
G-4215	Yacimientos Minerales Metálicos	3	3	3
TOTAL		28		17

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
CICLO VIII				
G-3270	Petrografía Rocas Metamórficas	1	2	2
G-5116	Geología de Campo II	2	5	4
G-4111	Geología Histórica	2	1	2
G-5120	Vulcanología	2	3	3
G-4120	Sedimentología	3	4	4
CI-0202	Principios de Información I	4	0	4
G-9500	Investigación Dirigida I	0	0	0
TOTAL		29	19	

CURSO DE VERANO

G-5216	Campana Geológica	0	0	2
--------	----------------------	---	---	---

QUINTO AÑO

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
CICLO IX				
G-5217	Laboratorio Campana Geológica	0	5	2
G-4114	Geotectónica	3	2	3
G-4213	Mecánica de Suelos p/Geólogos	2	3	3
G-0233	Geoquímica Aplicada	2	3	3

G-	Optativa	2	3	3
G-	Optativa	2	3	3
G-9501	Investigación Dirigida II	0	0	0
TOTAL		30	17	

CICLO X

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
G-0038	Micropaleontología	3	3	4
G-	Optativa	2	3	3
G-	Optativa	2	3	3
G-	Optativa	2	3	3
G-	Optativa	2	3	3
G-9502	Investigación Dirigida III	0	0	0
TOTAL		26	16	

TOTAL DE CREDITS: 180
TOTAL DE HORAS: 279 (sir. Campana
Geológica)

LICENCIATURA EN GEOLOGIA CON ENFASIS EN GEOLOGIA MINERA

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
CICLO VII				
G-4222	Petrografía Rocas Sedimentarias	3	3	4
G-4117	Geología Estructural II	3	2	3
IC-	Topografía para Geólogos	2	4	3
G-0233	Geoquímica Aplicada	2	3	3
G-4220	Técnicas de Perforación	2	3	3
G-4215	Yacimientos Minerales Metálicos	3	3	3
TOTAL		33	19	

CICLO VIII

		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
G-5116	Geología de Campo II	2	5	4
G-0125	Geofísica Minera	2	4	3
G-0142	Geología Minera I	3	3	4
CI-202	Principios de Informática I	4	0	4
G-3270	Petrografía Rocas Metamórficas	1	2	2
G-	Estratigrafía y Sedimentología	2	4	3

G-9500	Investigación Dirigida I	0	0	0
	TOTAL	32		20
		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	

COSTO DE VERANO

G-5216	Campana Geológica	0	0	2
--------	----------------------	---	---	---

QUINTO AÑO

CICLO IX		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	
G-5217	Laboratorio Campana Geológica	0	5	2
G-4104	Prospección y Exploración Minera	2	3	3
G-0021	Mecánica de Rocas	2	4	3
G-0145	Tratamiento Mineral y Metalurgia	2	3	3
G-0028	Metalografía y Calcografía	2	3	3
G-	Optativa	2	3	3
G-9501	Investigación Dirigida II	0	0	0
	TOTAL	31		17
		Horas		Créditos
		Teoría	P/Lab*	

CICLO X

G-4107	Geología Económica	3	2	3
G-0143	Geología Minera II	2	3	3
G-5125	Legislación Geológica	3	0	2
G-5219	Economía Minera	3	2	3
G-	Optativa	2	3	3
G-9502	Investigación Dirigida III	0	0	0
	TOTAL	23		14

TOTAL DE CREDITOS: 181

TOTAL DE HORAS: 285 (sin Campana
Geológica)

REPORT ON GEOLOGICAL WORK IN BELIZE

By Prasada Rao and Clinton Gardiner¹

INTRODUCTION

Belize includes a little more than 8,000 square miles on land and about 6,000 square miles in the offshore. About 80 percent of the area consists of sedimentary rocks, and the remaining 20 percent is either igneous or metamorphic terrain. Systematic geological mapping of the entire country has not been done to date, but Wilson (1885), Ower (1928), Dixon (1955), Bateson (1972), and others have conducted geological work in parts of Belize. Several companies, mostly interested in oil exploration, have made several traverses of the country. Some students from the United States (U.S.) have come down to Belize in connection with the preparation of their Masters or Doctoral dissertations, but many of these are not available in Belize. Geological work is also being done on recent sediments on the cayes, in the lagoon, and in the barrier reef by universities and individual consultants. Some oil companies organize annual field trips to the cayes and the reef to train their geologists in modern carbonate sedimentation. The American Association of Petroleum Geologists has also organized field trips to the reef.

EXPLORATION FOR MINERALS

Exploration for minerals such as gold, tin, barytes and gypsum has been attempted by several governmental agencies and individuals, but so far commercial deposits have not been discovered. Of late, there is a renewed interest in exploring for gold, and at least a couple of applications for license are pending with the Government. Gold and tin are believed to occur at the contact of granite and Paleozoic rocks, but are usually found in the streams as placers. Barytes has been prospected for by the Anschutz Corporation in the Maya Mountains, but was not considered commercial. For the last couple of years, interest has arisen in limestone and gypsum, with a view to building a cement factory. Although the first efforts in

prospecting for limestone received a setback because of the high magnesium content of the rock, large gypsum deposits were discovered recently in late Cretaceous rocks. Inasmuch as large tracts of limestone terrain are exposed in Northern Belize, there is a very good possibility of finding limestone of appropriate quality. Clays appropriate to the manufacture of cement, and derived from the granite terrain, are present. The only requirement for a cement factory that the country does not have is energy.

Belize consumes a million barrels per annum of petroleum products, and this is a heavy drain on the foreign exchange reserves. All sources of energy in the country are petroleum products, except for a small hydroelectric plant built by the Mennonites. There was an energy project under the auspices of the United Nations Development Program (UNDP) from 1980 to 1982, and investigations for indigenous sources of energy were made in a preliminary manner. These sources included waste products from sugar factories (bagasse), wood burning, hydroelectric, and solar energy. Unfortunately, none of these sources proved practicable. A Petroleum Office was set up in the Ministry of Natural Resources on the advice of a consultant brought in for the energy project. Work in this office was initiated with a petroleum geologist and a lands office; gradually expanded over a period of 3 years to include specialists such as a log interpreter, a carbonate petrographer, a micropaleontologist, and a seismic interpreter. The Petroleum Office was given the task of attracting companies to explore for oil in Belize.

Since the setting up of the Petroleum Office, most of the country has been leased to oil companies. Despite the many speculators and promoters, at least two wildcat wells are being drilled each year. Forty-four test holes have been drilled, many of which had noncommercial oil shows in the Upper Cretaceous. Whereas 1982 and 1983 witnessed a period of negotiations and signing of contracts with the oil companies, in 1984 four major companies, namely Peecten (the international division of Shell U.S.), Atlantic Richfield, Marathon, and Occidental, carried out 1,500 line kilometers of production and experimental seismic work offshore and on land. In these 3 years, six wildcat holes were drilled. 1985 is expected to be

¹ Ministry of Natural Resources, Belmopan, Belize.

a year of processing and interpretation of seismic data accompanied perhaps by further seismic field work. At least three wildcat wells are expected to be drilled this year. One was already spudded-in on April 18. By 1986, there should be a number of relinquishments and/or a number of wildcat wells drilled.

OTHER ACTIVITIES

Other activities in the country include preparation of an oil spill contingency plan, preparation of an inventory of oil seepages, field work as and when necessity arises during the dry season, and helping the various departments like the United Nations High Commission for Refugees, the Directorate of Peace Corps, and the Army in exploring for underground water.

CURRENT ACTIVITIES OF THE PETROLEUM OFFICE AND ITS RESPONSIBILITIES

The main responsibility of the Petroleum Office is to act as a technical liaison between the Ministry of Natural Resources and the oil companies, other companies, and individuals exploring for minerals. At present, there is a project of the UNDP for Petroleum Resources Development with international staff and national counterparts. Three Belizean students underwent training in the U.S. in petroleum drafting, petroleum accounting, and geophysics, respectively, mainly with the help of the UNDP and the U.S. Agency for International Development (USAID). International experts are working on the carbonate petrography of the samples of various wells, establishing foraminiferal biostratigraphy, structural and stratigraphic interpretation of the seismic data, preparation of rock stratigraphy with logs and samples, and basin analysis in collaboration with Belizean scientists. These studies are to be integrated, and promotional reports are to be presented soon for the benefit of the oil companies. All of this work hopefully would bring the country nearer to the goal of finding oil.

The Petroleum Office is involved in other geological activities, as described above. The most important activity that the office is going to take up is to prepare a good country-wide geological map at a scale of 1:50,000. We approached the International Union of Geological Sciences (IUGS) for this purpose so that mapping of Belize could be brought under an International Geological Correlation Program (IGCP) project. Unfortunately, the IGCP was unable to support the proposal. The World Bank is operating a UNDP project for the entire Caribbean studying the oil potential, but this would not help us

in the aspect where we need it the most— namely, geologic mapping. The World Bank project, however, promised to help us in other fields like conversion of seismograms to transparencies, digitization of logs, and holding of regional seminars. The IUGS has assisted us in helping carry out gravity surveys in the country by donating a gravimeter and by training personnel. A plan of work has been made and will soon be submitted.

AREAS WHERE AID IS NECESSARY

The rainfall in different parts of the country ranges from 50 to 150 inches per annum. There is a dry season of at least 3 months during which time there is temporarily a shortage of potable water. Although many villages have lined wells and a few have protected water supply, a need is obviously felt for a large-scale survey of the underground water resources. There is no department that has been designated exclusively for this purpose. Whenever the need arises, the Agriculture Department of the Ministry of Natural Resources, the Ministry of Works, the Petroleum Office, and other agencies and individuals do the exploration. Consequently, there is no concerted and organized effort. A groundwater section could be started first in the Petroleum Geology Office and slowly could be converted into a department.

A good geological map at a scale of 1:50,000 is an absolute necessity for the country, so that exploration for minerals, groundwater, selection of dam sites, and so, could be facilitated. Since most of the outcrops are covered by thick forests, equipment and funds are needed for making trails and for camping. A good four-wheel-drive vehicle is also needed. Supplies such as topo sheets, aerial photographs, sketch master, and other small equipment needed by a field geologist exists.

TRAINING FACILITIES

Trained nationals are not available in geology. Only two nationals with undergraduate qualifications are available, but unfortunately these two are not in geology. Attempts are being made to attract these into the Petroleum Office, but there is further need to attract youngsters to geology, perhaps from "A" level students. These could be sent abroad for higher studies. Simultaneously, they can work during vacation time back home. This is what is being done in the case of a national who is doing his undergraduate work in geophysics at Texas A&M University.

Finally, we thank Dr. Dengo, the Director of ICAITI, the USGS, and the USAID for sponsoring our trip to this beautiful country.

REPORTE SOBRE EL TRABAJO GEOLOGICO REALIZADO EN BELICE

Por Prasada Rao y Clinton Gardiner¹

INTRODUCCION

Belice es un territorio de poco más de 8.000 millas cuadradas de terreno y aproximadamente 6.000 millas cuadradas de cayos e islas en el mar. Aproximadamente el ochenta por ciento (80%) de esta área consiste de rocas sedimentarias y el veinte por ciento (20%) restante es terreno igneo o metamórfico. El mapeo geológico sistemático del país en su totalidad no ha sido realizado hasta la presente fecha, pero Wilson (1885), Ower (1928), Dixon (1955), Bateson (1972) y otros si realizaron cierto trabajo geológico en partes de Belice. Varias compañías, principalmente interesadas en petróleo realizaron un número de travesías. Algunas Universidades de los Estados Unidos han enviado a sus estudiantes a Belice para trabajo relacionado con la preparación de sus tesis para maestrías o doctorados, pero muchos de estos archivos no estan disponibles. El trabajo geológico esta también llevandose a cabo sobre sedimentos recientes en los cayos, en la laguna, y en el arrecife de coral por parte de universidades y de consultores individuales. Algunas de las compañías petroleras organizan viajes anuales de campo a los cayos y al arrecife para entrenar y adiestrar a sus geólogos en sedimentacion carbónica moderna. Algunas veces, tambien la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) organiza viajes de campo a los arrecifes.

EXPLORACION PARA BUSCAR MINERALES

La exploración para minerales como oro, estaño, baritas, yeso, fue intentada por varias agencias y personas individuales, pero a la fecha no se han descubierto depósitos comerciales. Ultimamente ha habido un renovado interés en la exploración de oro y por lo menos,

están pendientes de resolución por parte del Gobierno unas dos solicitudes para licencias de exploración. Se cree que existe oro y estaño al contacto de rocas de granito y paleozoicas, pero usualmente se encuentran en corrientes tales como placeres (lavaderos de oro, o aluviones auríferos). La sociedad Anschutz Corporation exploró en busca de baritas en las montañas Mayas, pero los prospectos no se consideraron comerciales. Durante los dos últimos años ha habido cierto interés en piedra caliza y yeso, con miras a construir una fábrica de cemento. Aún cuando los primeros esfuerzos para los prospectos y perspectivas de piedra caliza recibieron una negativa debido al alto contenido de magnesio, se descubrieron grandes depósitos de yeso recientemente en las rocas cretáceas más antiguas. Debido a que grandes extensiones de terreno de piedra caliza están expuestas en el norte de Belice, existe una muy buena posibilidad de encontrar piedra caliza pura. Los barroes o arcillas derivados del terreno granítico están presentes. El único requisito para una fábrica de cemento es el del renglón energético, el cual no parece estar disponible en el país.

Belice consume un millón de barriles por año de productos de petróleo lo cual constituye un drenaje sumamente pesado para las reservas de divisas. Todas las fuentes de energía en el país son productos petroleros, exceptuándose una pequeña planta hidroeléctrica construida por los Menonitas. Existía un proyecto de energía bajo los auspicios de United Nations Development Program (UNDP) de 1980 a 1982, y se llevaron a cabo de manera preliminar, ciertas investigaciones para otras fuentes de energía que son indígenas. Estas fuentes incluían productos de desecho de los ingenios azucareros (bagazo), quema de leña, plantas hidroeléctricas y energía solar. Desafortunadamente, ninguno de estos tuvo ningun progreso. Se instaló una Unidad de Petróleo dentro del Ministerio de Recursos Naturales, segun consejo de un asesor contratado para el proyecto energético. Esta unidad principió con un geólogo especializado en petróleo y un oficial de tierras, y a lo largo de un período de tres años, se ha ido expandiendo gradualmente, y en la actualidad cuenta con especialistas tales como un

¹ Ministry of Natural Resources, Belmopan, Belize, C.A.

intérprete de registros geológicos, un petrógrafo en carbonatos, un micropaleontólogo, y un analista sísmico. A la Oficina de Petróleos se le encomendó la tarea de atraer compañías que estuvieran interesadas en explorar petróleo en Belice.

Después del establecimiento de la Oficina de Petróleo, la mayor parte del país está rentada a compañías petroleras. Aún cuando hubo muchos especuladores y promotores que solo vinieron a "curiosear", cada año se están perforando por lo menos dos pozos exploratorios. A la fecha, el total de pozos perforados es de 44, muchos de los cuales no han dado indicios de ser comerciales en la parte cretácea alta, pero por lo menos si ha habido un descubrimiento sub-comercial. Mientras que los años 1982 y 1983 fueron testigos de un período de negociaciones y firma de contratos con las compañías petroleras, en 1984 cuatro compañías más importantes, como lo son, Pecten (la división internacional de Shell U.S.), Atlantic Richfield, Marathon y Occidental, llevaron a cabo trabajos costa afuera y en tierra sobre experimentos sísmicos y producción en un área que cubría 1.500 kilómetros. Todavía en estos tres años se perforaron otros seis pozos exploratorios. Se espera que 1985 sea un año dedicado al procesamiento e interpretación de los datos sísmicos, los cuales quizás sean acompañados de mayor trabajo de campo sísmico. Por lo menos se espera que se perforen tres pozos exploratorios más durante esta año. Por lo menos, el 18 de abril ya se inició la perforación de uno. En 1986 deberá haber un número de cesiones y/o un número de pozos exploratorios perforados.

OTRAS ACTIVIDADES

Otras actividades en el país incluyen la preparación de un plan de contingencia para el derrame de petróleo con la ayuda de una Agencia de las Naciones Unidas, la preparación de un inventario de filtraciones petroleras, trabajo de campo respecto a cuando pueden originarse las necesidades en la estación seca, y la ayuda a varios departamentos como la Alta Comisión de las Naciones Unidas para los Refugiados, el Directorio del Cuerpo de Paz y el Ejército en la exploración de las aguas subterráneas.

ACTIVIDADES ACTUALES EN LA OFICINA DE PETRÓLEO Y SUS RESPONSABILIDADES

Las responsabilidades principales de la Oficina de Petróleo incluyen el actuar como un oficial técnico de

enlace entre el Ministerio de Recursos Naturales y las compañías petroleras y otras compañías y personas individuales que están explorando minerales. Por el momento, existe un proyecto de la UNDP para el Desarrollo de Recursos Petroleros con personal internacional y homólogos nacionales. Tres de los profesionales nacionales asistieron a adiestramiento en los Estados Unidos en las especialidades de dibujo en petróleo, contabilidad petrolera y geofísica, respectivamente, con la asistencia principalmente de la UNDP y parcialmente de la USAID. Los expertos internacionales junto con los nacionales están trabajando en petrografía carbónica de las muestras de varios pozos, estableciendo la bio-estratigrafía foraminiferal, la interpretación estructural y estratigráfica de los datos sísmicos, preparación de la estratigrafía rocosa con registros y muestras, y en análisis de la cuenca. Todos estos estudios deberán ser integrados y se espera que pronto sean presentados los reportes promocionales para el beneficio de las compañías petroleras. Todo este trabajo, según se espera, hará que el país se acerque más a su meta de encontrar petróleo.

Además de lo anterior, la Oficina de Petróleos está involucrada en otras actividades de tipo geológico como se describe anteriormente. La actividad más importante que la Oficina va a emprender, es la elaboración de un buen mapa geológico a una escala de 1:50.000. Nosotros nos comunicamos con el IUGS (sic) con este propósito, con el fin de que el mapeo de Belice pudiera realizarse bajo un proyecto IGCP. Desafortunadamente no logramos obtener ningún apoyo por parte de IUGS. El Banco Mundial está operando un proyecto de la UNDP para toda el área del Caribe, estudiando el potencial petrolero, pero esto no nos ayudaría en el aspecto en donde nosotros más lo necesitamos, o sea, en el mapeo geológico. El proyecto del Banco Mundial, no obstante, prometió ayudarnos en otros campos, como lo son la conversión de sismogramas a transparencias, la digitización de registros y la celebración de seminarios regionales. El IUGS nos ha asegurado que nos ayudará en la realización de los estudios de gravedad en el país, donando un gravímetro y adiestrando personal. Nosotros ya elaboramos un plan de trabajo el cual estaremos presentando en breve. Confiamos en que a tres o cuatro años plazo, los estudios de gravedad habrán cubierto todo el país.

AREAS EN LAS CUALES SERIA NECESARIA LA AYUDA

(1) La precipitación en diferentes partes del país varía de 50" a 150" por año. Hay una estación seca de por lo menos tres meses durante los cuales se experimentan muchos problemas y dificultades en la obtención de agua potable. Aún cuando muchas poblaciones cuentan con

pozos recubiertos y algunas tienen suministro de agua protegido, se siente una necesidad obvia para la realización de un estudio a gran escala de los recursos hidrológicos subterráneos. No existe ninguna oficina exclusivamente dedicada a este propósito. Siempre que surge la necesidad, el Departamento Agrícola del Ministerio de Recursos Naturales, el Ministerio de Obras Públicas, la Oficina de Petróleos y otras agencias y personas individuales, hacen la exploración. Consecuentemente, no existe un esfuerzo organizado ni concertado. Primeramente, debería crearse una sección de aguas en la Oficina de Geología de Petróleos, la cual poco a poco podría convertirse en un departamento o agencia.

(2) Un buen mapa geológico a una escala de 1:50.000 es absolutamente necesario para el país, con el fin de facilitar la exploración de minerales, de agua subterránea, la selección de sitios para presas, etc. Debido a que la mayoría de los afloramientos están cubiertos por densos bosques, se necesita equipo y fondos para abrir brechas y hacer un campamento. Igualmente, se necesita un vehículo de tracción en las cuatro ruedas. Otras

facilidades como hojas de topografía, fotografías aéreas, equipo maestro para dibujo y otro equipo pequeño necesario para un geólogo de campo ya existen.

(3) Facilidades para adiestramiento: Nacionales adiestrados no existen en geología. Únicamente dos nacionales, con calificaciones de estudiantes universitarios, se encuentran disponibles, pero desafortunadamente, no precisamente en el campo geológico. Se está tratando de atraerlos a la Oficina de Geología de Petróleo, pero existe una mayor necesidad de atraer más jóvenes para que se interesen en la geología, quizá dentro de los estudiantes con niveles "A" en sus estudios, a quienes podría enviarse al extranjero para realizar estudios superiores, y luego, simultáneamente, ellos podrían trabajar durante sus vacaciones en el país. Esto es lo que se está haciendo en el caso de un nacional que está estudiando para obtener una licenciatura en geofísica en la Universidad de Texas A & M.

Finalmente, agradecemos al Dr. Dengo, al Director del ICAITI, al USGS y a la USAID por haber patrocinado nuestro viaje a este bello país.

THE INTERAMERICAN DEVELOPMENT BANK AND THE DEVELOPMENT OF MINERALS AND FOSSIL FUELS IN CENTRAL AMERICA

By Bernardo F. Grossling¹

First, I would like to thank the U.S. Geological Survey and the U.S. Agency for International Development for inviting me to this workshop.

In this speech, I will briefly refer to the following: 1) nature of the Interamerican Development Bank (IDB); 2) IDB's performance in the fields of mining, coal, oil, as well as natural disasters; 3) policy and strategies for these fields; and 4) reflections on the handicaps to the development of Central America's mining resources. By Central America, I mean the countries from Guatemala through Panama.

I brought with me copies of the material distributed by the IDB, which might be of interest to you: guides for the preparation of mining and marine seismology projects, and a study of the legal regulations for hydrocarbons. In addition, Mr. Gustavo Calderon gave me copies of guides to bio-energy and new and nonconventional energy development projects, areas within his responsibility in the IDB.

The IDB is an international organization founded almost 25 years ago for the purpose of stimulating the economic and social development of Latin America. Such an institution, long desired by the Latin American countries, finally obtained support from the Latin American nations and the United States. Work of Juscelino Kubitschek, President of Brazil, finally brought the IDB into being. In the United States, it was President Dwight Eisenhower who understood the importance of the movement, and proposed it to the U.S. Congress.

To the end of 1984, the IDB had approved loans for approximately 28 million dollars, corresponding to a total project cost of around 100 million dollars. During the 1984 fiscal year, loans were approved for an amount of 3.567 million dollars, and in addition, nonreimbursable projects for technical cooperation had been approved to a level of 48 million dollars. Of the total loans approved in

1984, 32 percent were granted to urban-, 28 percent to energy-, and 23 percent to agriculture-sector projects. It is expected that IDB may soon establish a new phase: the Interamerican Investment Corporation, directed to the private sector.

Policies concerning the mining field are extensive; they thus allow projects involving prospecting, exploration, development, exploitation, mineral processing and concentration, refining, transportation, and shipping projects, as well as other infrastructure projects. In the bank there is a great flexibility which adjusts to conditions at each stage, inasmuch as the policies do not specify priorities.

The policies of the IDB in the petroleum sector, located within broader energy policies, are likewise wide and flexible. They allow for projects that range from geological studies through all intermediate stages up to refining. In the process of analysis and approval by the IDB directorate, priorities can be adjusted to needs at each stage. IDB policies concerned with natural disasters allow for assistance to countries which have suffered damages brought about by earthquakes, tsunamis, hurricanes, volcanic eruptions, floods, droughts, plagues, forest fires, and soil erosion. In response to natural disasters, the bank reacts with maximum speed and flexibility.

The IDB examines each loan project proposal exhaustively. The examination assesses technical, economic, institutional, and financial feasibility. The potential profitability of the project, mineral prices on the world market, the general situation of the world commodity markets, and alternative sources of financing are examined in particular.

By the end of 1984, the bank had approved 30 loans for the mining sector for a total amount of 848 million dollars, which corresponds to a project cost of 3,000 million dollars. These loans were chiefly destined to mining countries of South America (Chile, Brazil, Mexico, Peru, Bolivia). In regard to minerals produced, 398 million dollars was directed to copper projects, 233 million to coal, 72 million to iron, 33 million to lead/

¹ Interamerican Development Bank, 1300 New York Avenue, Washington, D.C.

zinc/silver, and 12 million dollars to tin. The most significant projects were, perhaps, the rehabilitation of nationalized mines of Bolivia (1961–1966), the expansion of the iron-mining capacity of the "Vale de Rio Doce" company of Brazil, and the support of small- and medium-sized mining ventures in Bolivia and Peru. The rehabilitation of the Bolivian mining industry was in recognition of a critical situation, and had the support of the United States, the Federal Republic of Germany, as well as the IDB. The support given to the Vale de Rio Doce was an important stage in the process of the expansion of this company, which has now become the largest exporter of iron ore in the world. Support to small and medium mining companies had helped resolve a situation, at times precarious, which might have had important social repercussions.

By the end of 1984, IDB had approved 28 loans for the petroleum sector for a total of 730 million dollars which corresponds to projects having a total cost of 1,600 million dollars. These loans for technical cooperation were directed to 11 Latin American countries (Bolivia, Argentina, Chile, Peru, Brazil, Jamaica, Ecuador, the Dominican Republic, Colombia, Uruguay, and Haiti). These projects included 2 regional geologic assessment studies, 3 ore deposit assessment studies, 6 projects in seismicity, 5 projects in marine seismicity, 2 projects in subsurface structural studies, 1 project in subsurface stratigraphic studies, 4 projects in subsurface exploration, 1 project in developmental wells, 15 gas and petroleum pipeline projects, 4 refinery projects, and 2 projects in gas distribution. The most significant of these projects were: gas pipelines for Argentina and Bolivia, and marine seismic studies in various phases. The IDB has financed a total of 4,357 km of gas pipelines and 131 km of marine seismic lines. As an example, the marine seismic project in Brazil led to the discovery of 530 million barrels of petroleum.

Until the end of 1984, the IDB had approved about 12 operations in response to natural disasters at a cost of about 200 million dollars. Six operations were related to earthquakes (Peru, 1970; Nicaragua, 1973; Guatemala, 1976; Colombia, 1980; Colombia, 1983), 2 operations were in response to hurricanes (Honduras, 1977; the Dominican Republic, 1980), and 4 operations were in response to floods (Paraguay, 1981; Bolivia, 1982; Argentina, 1983; and Peru, 1983). Technical cooperation projects that were approved as reimbursable loans or reimbursable contingency loans are worthy of note here. For example, an

institutional building loan of 1.2 million dollars was approved for Honduras.

Even though priorities may not have been explicit, it might be noted that strategy in the mining sector has been: 1) selective support of mining activities in countries which have a mining tradition; 2) encouragement of mining exploration in countries with potential for mineral resources, in which there has been no mining or in which mining is at an initial stage of development, and 3) the support of small- and medium-scale mining.

In regard to hydrocarbons, two areas have been emphasized: construction of gas pipelines and regional seismic studies. Natural gas may be extremely important to the internal economy of a country; for example, Argentina, which has large natural gas resources, has built an enormous network of gas pipelines, with the financial cooperation of the IDB. Marine and on-land seismic studies have contributed and will contribute to the discovery of hydrocarbons. In addition, these studies have helped to enlarge the exploration horizons and to overcome certain geological prejudices to exploration.

A proposal for financing that has been submitted to the IDB has undergone several stages in its development: project identification, promotion, analysis, negotiation, execution, and assessment of the final results. Of these stages, I would like to emphasize those which I consider to be the most critical. In several countries there is not a good appreciation of the importance of the mining sector. Existing legislature in certain countries may discourage private enterprises, and there may be insufficient financial resources to produce a feasible project. The factor of greatest importance is to obtain a so-called natural priority, one that originates at a high level in the government and not in the technical organizations of the mining and petroleum sectors. In a fiscal feasibility analysis of the proposed project there are certain critical questions that must be answered. These are: what is the role played by private enterprises; what is the role of private financing; what is the macroeconomic impact of the project; what is the capacity to carry out and improve the project.

Finally, it is appropriate to say that a country, like a man, has, without constraints, the right to know itself. That is to say, the comprehensive study of a country's subsurface should be made easy. To prevent or inhibit this self knowledge may place a country in a position of ignorance or inferiority regarding their resources, if they are to negotiate with external companies.

EL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO Y EL DESARROLLO DE MINERALES Y RECURSOS ENERGETICOS EN AMERICA CENTRAL

Por Bernardo F. Grossling¹

En primer lugar quiero agradecer la invitación del Servicio Geológico de los Estados Unidos y de la Agencia para el Desarrollo Internacional (US) para asistir a este Seminario.

En esta charla me refiero brevemente a los siguientes puntos: 1) que es el BID; 2) lo que ha hecho en los sectores minería, carbón, petróleo y en cuanto a desastres naturales; 3) políticas y estrategias para esos sectores; y 4) reflexiones sobre impedimentos al desarrollo de los recursos mineros de Centroamérica. Al decir Centro America incluyo los países desde Guatemala hasta Panamá.

Traje conmigo algunas copias de material de difusión del BID, que puede ser de interés para ustedes: guías para la preparación de proyectos de minería, sísmica marina, y un estudio de los regímenes legales de hidrocarburos. Además, el Ing. Gustavo Calderon del BID me dió copias de guías para proyectos de bio-energía, y energías nuevas y no convencionales, que corresponden al sector de su responsabilidad.

El BID (Banco Inter-Americano de Desarrollo) es un organismo internacional fundado hace casi 25 años atrás, con el objeto de estimular el desarrollo económico y social de la América Latina. Tal institución era una aspiración de los países latinoamericanos, que finalmente, logró el apoyo de los países latinoamericanos y los Estados Unidos. El Presidente de Brasil, Juscelino Kubitschek hizo el llamado final que puso el proceso de formación del BID en marcha. En los Estados Unidos fué el Presidente Dwight Eisenhower quien comprendió la importancia de la iniciativa y la propuso a su Congreso.

Hasta fines de 1984 el BID había aprobado préstamos por alrededor de \$28.000 millones de dólares, correspondiendo a un costo total de proyectos por alrededor de \$100.000 millones de dólares. En el último ejercicio, 1984, se aprobaron préstamos por \$3.567 millones de dólares, y además proyectos de cooperación técnica no reembolsable o contingente por \$48 millones de dólares.

Del total de préstamos acordado en 1984 los proyectos para el sector urbano recibieron 32 por ciento, para energía 28 por ciento, para agricultura 23 por ciento del total prestado. Se espera que pronto el BID establezca una nueva faceta: la Corporación Interamericana de Inversiones, que está dirigida al sector privado.

Las políticas sobre el sector minero son amplias permitiendo hacer proyectos de prospección, exploración, desarrollo, explotación, beneficio y concentración de minerales, refinación, transporte y embarque y obras de infraestructura. Hay una gran flexibilidad para adaptarse a las condiciones de cada época, ya que las políticas, de por sí, no especifican prioridades.

Igualmente las políticas sobre el sector petróleo, que están dentro del marco de políticas sobre energía, son amplias y flexibles. Permiten hacer proyectos que abarcan desde estudios geológicos, y todas las etapas intermedias hasta refinación. Las prioridades se pueden ajustar a las necesidades de cada época, en el proceso de análisis y aprobación por el Directorio del BID.

La política sobre desastres naturales permite ayudar a los países cuando sufren daños por: terremotos, maremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías, plagas, incendios de bosque, y erosiones de suelos. En cuanto a estos desastres la respuesta del BID, es de máxima celeridad y flexibilidad.

El BID hace un examen exhaustivo de cada proyecto de préstamo, examen que abarca: factibilidad técnica, factibilidad económica, factibilidad institucional, y factibilidad financiera. Se examina en especial la tasa de rentabilidad del proyecto, precios del mineral en el mercado internacional, situación del mercado internacional y fuentes alternativas de financiamiento.

Hasta fines de 1984 el BID había aprobado 30 préstamos en el sector de minería por un monto total de \$848 millones de dólares, correspondiendo a proyectos por un costo total de \$3 000 millones de dólares. Estos préstamos fueron dirigidos principalmente a países mineros de la región (Chile, Brasil, México, Perú, Bolivia). En cuanto al mineral, a proyectos de cobre correspondió \$398 millones, de carbón \$233 millones, de

¹ Banco Interamericano de Desarrollo, 1300 New York Avenue, Washington, D.C.

hierro \$72 millones, de plomo / zinc / plata \$33 millones, de estaño \$12 millones. Los proyectos más significativos tal vez son la rehabilitación de la minería nacionalizada de Bolivia (1961-1966), la expansión de la capacidad de mineral de hierro de la compañía Vale do Rio Doce (CVRD, Brasil), y el apoyo a la pequeña y mediana minería de Bolivia y Perú. La rehabilitación de la minería de Bolivia fué en reconocimiento a una situación crucial, que logró el apoyo de los Estados Unidos, la República Federal de Alemania, y del BID. El apoyo a CVRD fué una etapa importante en la marcha de expansión de esta Compañía que ha llegado a ser la exportadora más grande de mineral de hierro en el mundo. El apoyo a la pequeña y mediana minería ha ayudado a resolver la situación a veces precaria de sectores importantes con repercusiones sociales.

Hasta fines de 1984 el BID había aprobado 28 préstamos en el sector petróleo por un monto total de \$730 millones de dólares, correspondiendo a proyectos por un costo total de \$1.600 millones de dólares. Estos préstamos o cooperaciones técnicas fueron dirigidos a once países latinoamericanos (Bolivia, Argentina, Chile, Perú, Brasil, Jamaica, Ecuador, República Dominicana, Colombia, Uruguay y Haití). Estos proyectos incluyen 2 sub-proyectos de evaluación geológica regional, 3 sub-proyectos de evaluación geológica de yacimientos, 6 sub-proyectos de sismica terrestre, 5 sub-proyectos de sismica marina, 2 sub-proyectos de pozos estructurales, 1 sub-proyecto de pozos estratigráficos, 4 sub-proyectos de pozos de exploración, 1 sub-proyecto de pozos de desarrollo, 11 gasoductos, 3 oleoductos, 1 poliducto, 4 refinerías, 2 sub-proyectos de redes de distribución de gas. Los proyectos más significativos tal vez son: gasoductos en Argentina y Bolivia, y sismica marina en varios países. El BID ha financiado un total de 4.357 km de gasoductos y 131.318 km de sismica marina. El proyecto de sismica marina en el Brasil condujo al descubrimiento de 530 millones de barriles de petróleo, por ejemplo.

Hasta fines de 1984 el BID había aprobado unas doce operaciones en respuesta a desastres naturales por unos doscientos millones de dólares. Hubo 6 operaciones relacionadas con terremotos (Perú, 1970; Nicaragua, 1973; Guatemala, 1976; Colombia, 1980; Colombia, 1983), 2 operaciones relacionadas con huracanes (Honduras, 1977, República Dominicana, 1980) y 4 operaciones relacionadas con inundaciones (Paraguay, 1981; Bolivia, 1982; Argentina, 1983; Perú, 1983). Hay que hacer notar los proyectos de cooperación técnica, que se

aprueban en algunos casos como préstamos o reembolsables o de recuperación contingente. Para Honduras se aprobó un proyecto de apoyo institucional e inventario minero por \$1.2 millones de dólares, por ejemplo.

Aún cuando las prioridades puedan no haber sido explícitas, se puede decir que la estrategia en el sector minero ha sido: a) apoyo selectivo a la minería en los países tradicionalmente mineros; b) estímulo a la explotación minera en países con potencial minero y aún no productores, o con un desarrollo incipiente, y c) apoyo a la pequeña y mediana minería.

En cuanto a hidrocarburos se ha enfatizado dos áreas: construcción de gasoductos, y estudios regionales sísmicos. El gas natural es de mucha importancia para la economía interna de un país. Por ejemplo la Argentina, que tiene grandes recursos de gas ha construido una vasta red de gasoductos, lo que ha contado con la cooperación financiera del BID. Los estudios sísmicos marinos y terrestres han contribuido y contribuirán al descubrimiento de hidrocarburos. Han ayudado a ampliar el horizonte de exploración y a vencer ciertas barreras de percepción geológica.

Un proyecto de financiamiento que llega a ser presentado al BID, ha pasado por varias etapas en su desarrollo: identificación del proyecto, promoción, análisis, negociación, ejecución y evaluación del resultado final. De estas quisiera destacar, los que juzgo ser más cruciales. En varios países no hay una buena apreciación de la importancia de la minería. La legislación existente en ciertos países, puede tal vez desalentar la acción privada. Puede ser que no hayan recursos financieros suficientes para producir un proyecto de factibilidad. Lo que es muy importante es lograr obtener lo que se llama prioridad nacional, que se origina en niveles altos de los gobiernos y no en los organismos técnicos del sector minero y petróleo. En el análisis del proyecto para un posible financiamiento hay que sobrevivir ciertas cuestiones cruciales: que rol puede tener la empresa privada?, que rol puede tener el financiamiento privado? cual es el impacto macroeconómico del proyecto? y cual es la capacidad para ejecutar y mejorar el proyecto?

Finalmente hay que decir que un país, tal como el hombre, tiene el derecho sin inhibiciones para conocerse a si mismo. Es decir se debe facilitar el estudio amplio de la constitución geológica del subsuelo de un país. Impedir o inhibir ese conocimiento puede colocar a los países en una posición de ignorancia e inferioridad en cuanto a sus recursos si van a negociar con compañías externas.

AN INTEGRATED PROGRAM OF ENERGY AND MINERAL RESOURCES SUPPORT FOR CENTRAL AMERICA

By Ronald K. Lohrding and John T. Whetten¹

The Central American Energy Resources Project is a new USAID project designed to assist Central American countries in finding, assessing, and developing indigenous natural resources—particularly in the areas of energy and minerals. The project was formally announced by USAID Director Peter McPherson and New Mexico Senator Peter Domenici on February 22, 1985, from the White House, after receiving very strong endorsement by President Reagan on the same day.

The project will be coordinated and managed by Los Alamos National Laboratory, a U.S. National Laboratory operated by the University of California for the U.S. Department of Energy. Los Alamos employs about 7,800 people, including many scientists and engineers who work on energy-related research and development projects. The Laboratory's strengths in geothermal resource assessment and development, geothermal instrumentation, peat-resource assessment, mineral-resource assessment, energy-technology development, cost engineering, and economic analysis and forecasting in the energy and mineral sectors fit remarkably well with opportunities and needs that exist in Central America.

The following are the objectives of the project:

1. Identify, quantify, and assess the natural resources of Central America. This includes energy resources that can be used to substitute for presently imported energy sources, predominantly petroleum, as well as energy and other resources that could be used to decrease import of nonenergy raw materials and increase revenues earned from export of both energy and nonenergy materials.
2. Create an analytical framework that allows rapid comparisons of energy and mineral development options in terms of balance of trade, import substitution, direct cost, job creation, and so on.

3. Through the activities identified in objectives 1 and 2, build technical and managerial skills so that a self-sustaining economic development process is established. This objective will be achieved predominantly by on-the-job training associated with the project components, training workshops, sponsored graduate student participation and visits by regional technicians to Los Alamos and other U.S. institutions.
4. Involve the local and U.S. private sector so that the resource assessment and development activities lead to job-creating investments in commercial and industrial activities based on the energy and other natural resources that will be identified:
 - Analysis and Assessment of Nontraditional Energy Resources. A team from Los Alamos, U.S. universities, and the Empresa Nacional de Energia Eléctrica (Honduras) has already begun a comprehensive geothermal resource assessment of Honduras, and later this year we intend to provide a modern geothermal well-logging truck equipped with cable and logging tools capable of operating at temperatures up to 275°C for the exclusive use of Central American countries.
 - We will begin a study of the possible uses of low and medium heat from geothermal areas in Central America. Finally, we will assess the peat resources of Costa Rica, and at the same time, study possible end-uses of Central American peat.
 - Mineral-Resource Evaluation. A systematic mineral-resource evaluation is being planned for Costa Rica. A mineral sector profile will be compiled for each of the Central American countries.
 - Training. Specific areas of training have been identified in all of the above-mentioned subprojects.

The overall goal of this project is to improve the economic condition in Central America and help create employment through increased and more efficient utiliza-

¹ Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico

tion of the region's energy and mineral resources. The project will introduce technologies into the region that will allow each of the participating future energy needs, to develop nontraditional sources of energy such as geothermal and fossil fuels, and to more efficiently utilize the energy resources found in the region.

Although Los Alamos will take the lead in this project and use many of its technical personnel, it is expected that other highly qualified people from universities, other national laboratories, the U.S. Geological Survey, and the private sector will also participate. This will require close teamwork involving economists, technologists, and geoscientists. Most importantly, the U.S. team must work closely and effectively with Central American counterparts in order to enhance the science, engineering, and management base of the region. It is expected that appropriate scientists, engineers, economists, and technologists from the region will be full participants in the project. Furthermore, training to increase the highly capable but relatively small Central American technical community is an important priority for this project.

Initial funding for this project is \$10.2 million. It is expected that additional funding will be made available late in 1985 or 1986 and that the program will continue to be incrementally funded for several years. We seek the help of in-country experts to help us define the most

urgent priorities. The following subprojects have begun or are in the planning stage:

- **Energy Situation Analysis.** An update for each of the Central American countries, including data collection, computerization, economic analysis, and modeling.

We believe this project is an important new concept in U.S. foreign assistance programs which has the potential for a large return-on-investment in terms of major benefits to Central American economies. The project is an attempt to cure the chronic problem of underdevelopment, instead of treating just the symptoms.

The project is entirely in accord with the report of the U.S. National Bipartisan Commission on Central America, which states that "The United States and other donor nations possess relatively inexpensive technology that could be used in the region to identify and explore local energy resources." This could lead to "more diversified exports (which) would help insulate the region from some of the swings in the international economy."

We again emphasize the need for the support and participation of technical, governmental, and private sector personnel from Central American countries to help us implement this project. Suggestions for projects are needed, and we welcome your participation in all aspects of their execution. We urgently need—and call for—a team effort to carry this project forward.

PROGRAMA DE ASESORAMIENTO INTEGRADO DE RECURSOS MINERALES Y ENERGETICOS PARA AMERICA CENTRAL

Por Ronald K. Lohrding y John T. Whetten ¹

El Proyecto de Recursos Energéticos para América Central es un proyecto nuevo de la USAID, diseñado para asesorar a los países centroamericanos en la búsqueda, evaluación y desarrollo de los recursos naturales indígenas, particularmente, en las áreas de energía y minerales. El proyecto lo dió a conocer formalmente el director de la USAID, señor Peter McPherson y el Senador de Nuevo México, señor Peter Domenici, desde la Casa Blanca después de haber recibido todo el apoyo del Presidente Ronald Reagan el mismo día.

El proyecto será coordinado y manejado por el Laboratorio Nacional Los Alamos, un laboratorio nacional estadounidense operado por la Universidad de California para el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Los Alamos emplea aproximadamente 7.800 personas, incluyendo científicos e ingenieros que trabajan en investigaciones relacionadas con la energía y desarrollo de proyectos. Los potenciales del laboratorio en recursos de desarrollo y evaluación geotérmica, instrumentación geotérmica, evaluación de recursos de turba, evaluación de recursos minerales, desarrollo de energía tecnológica, costo de ingeniería así como análisis económico y proyección de los sectores energéticos y minerales que encajan bien con las oportunidades y necesidades en América Central.

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

1. Identificar, cuantificar y evaluar los recursos naturales de Centroamérica. Esto incluye recursos energéticos que pueden ser utilizados para sustituir las fuentes de energía que se importan actualmente, entre las cuales predomina el petróleo, energía y otros recursos que podrían ser usados para disminuir la importación de materia prima no-energética y aumentar ingresos obtenidos de la exportación de materiales energéticos y no energéticos.
 2. Crear un cuadro de trabajo analítico que permita comparaciones rápidas de opciones de desarrollo energético y mineral, en términos de balance de intercambio, sustitución de importaciones, costos directos, creación de trabajos, etc.
 3. Estructurar, a través de las actividades identificadas en los objetivos 1 y 2, destrezas técnicas y de manejo para que un proceso autosuficiente de desarrollo económico sea establecido. Esto se logrará con entrenamiento en el trabajo asociado con los componentes del proyecto, talleres de entrenamiento, participación de becados y visitas de técnicos regionales a Los Alamos y otras instituciones de los Estados Unidos.
 4. Involucrar al sector local y sector privado estadounidense con el objeto de que la evaluación de recursos y desarrollo de actividades logren inversiones para crear trabajos en actividades comerciales e industriales, basados en la energía y otros recursos naturales que se identificarán.
- Análisis y Evaluación de Recursos Energéticos No-tradicionales. Un grupo de los Alamos, universidades de los Estados Unidos y la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (Honduras) ya han comenzado una evaluación geotérmica comprensiva de Honduras y más tarde durante este año tendremos como propósito proveer un equipo móvil geotérmico, equipado con cables y herramientas para operar a temperaturas hasta de 275°C, única y exclusivamente para el uso de los países centroamericanos.
 - Comenzaremos un estudio de los posibles usos de calor geotérmico, bajo y mediano, en las áreas de América Central. Finalmente, evaluaremos la situación de recursos de turba en Costa Rica, así como un estudio sobre los usos finales de la turba centroamericana.
 - Evaluación de Recursos Minerales. Una evaluación sistemática de recursos minerales se está planeando

¹ Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, EEUU.

para Costa Rica. Un perfil del sector mineral será recopilado para cada uno de los países centroamericanos.

- Entrenamiento. Se han identificado áreas específicas de entrenamiento en todos los proyectos anteriormente mencionados.

La meta general de este proyecto es la de mejorar la condición económica en Centroamérica y ayudar a crear trabajos por medio de un mejor y más eficiente uso de los recursos minerales y energéticos de la región. El proyecto introducirá tecnologías en la región, las cuales permitirán a los países participantes analizar y evaluar de mejor forma sus necesidades energéticas actuales y futuras, y a desarrollar fuentes de energía no-tradicionales, tales como combustibles geotérmicos y fósiles, así como a utilizar más eficientemente los recursos de energía encontrados en la región.

A pesar de que Los Alamos estará a la cabeza de este proyecto y utilizará a muchos miembros de su personal técnico, se espera que otras personas altamente calificadas de las universidades, de otros laboratorios nacionales, la inspección geológica de los Estados Unidos y el sector privado también participen. Esto requerirá trabajo de grupo, involucrando a economistas, tecnólogos y geocientíficos. Lo más importante es que el grupo de los Estados Unidos trabaje, eficazmente con la contra-parte centroamericana, incrementando ciencia, ingeniería y manejo de la región. Se espera la participación de científicos, ingenieros, economistas y tecnólogos de la región. Además, otro aspecto importante del proyecto es el de entrenar a la pequeña comunidad técnica capacitada en Centroamérica.

El fondo inicial para este proyecto es de \$10.2 millones. Se espera recaudar fondos adicionales a finales

de 1985 o 1986, asimismo, que dicho proyecto será patrocinado por muchos años. Nosotros buscamos la ayuda de expertos en el campo para definir las prioridades más urgentes. Los siguientes sub-proyectos han dado inicio o están en etapa de planeamiento:

- Análisis de la Situación Energética. Un dato actualizado para cada país centroamericano, incluyendo: agrupación de información, computarización, análisis económico y modelo.

Consideramos que este proyecto es un concepto nuevo importante dentro de los programas de asesoramiento extranjero de los Estados Unidos, el cual tiene un potencial bastante grande en recuperación de capital invertido, lo cual es de gran beneficio para la economía centroamericana. Este proyecto tiene como objetivo resolver el problema crónico de sub-desarrollo, en vez de tratar únicamente los síntomas.

El proyecto está completamente de acuerdo con el reporte de la Comisión Nacional Bipartita Centroamericana de los Estados Unidos, la cual declara que "los Estados Unidos y otras naciones donantes poseen tecnología relativamente barata que podría ser utilizada en la región, con el objeto de identificar y explorar recursos energéticos locales." Esto podría conllevar a "exportaciones más diversificadas, las cuales ayudarían a aislar a la región de los altibajos de la economía internacional."

Nuevamente, enfatizamos la necesidad del apoyo y participación de personal técnico, del sector gubernamental y privado de los países centroamericanos para que nos ayuden a implementar este proyecto. Se necesitan sugerencias para proyectos y damos la bienvenida a los participantes. Necesitamos urgentemente y hacemos un llamado para que se haga un esfuerzo en grupo para llevar este proyecto adelante.

DEVELOPING A COMPREHENSIVE DATA BASE FOR MINERAL-RESOURCE PLANNING AND DEVELOPMENT IN CENTRAL AMERICA

By Byron R. Berger, Dennis P. Cox, James E. Case, Donald A. Singer, Carroll A. Hodges, John P. Albers, and Roger P. Ashley

INTRODUCTION

A strong agricultural and industrial base in any country is contingent upon dependable supplies of critical minerals. To assure a stable economy and an adequate standard of living, governments need up-to-date information on existing and new sources of mineral commodities. The short- and long-range planning of minerals policy, land-use, minerals exploration, and development strategies requires a sound data base from which to make decisions. The synthesis of current mineral deposit concepts with existing data on geology, mineral occurrences, geochemistry, geophysics, and mineral economics can provide the data base for this planning as well as a base for understanding the national resource endowment, inducing private investment in mineral-related industries, and encouraging expanded import and export markets.

A key ingredient to natural resource planning is the use of a systematic methodology for synthesizing data that allows the reliable identification of geological environments favorable for different types of mineral deposits. On the basis of multidisciplinary regional resource-assessment studies in North America, the U.S. Geological Survey (USGS) has developed a mineral-appraisal methodology that outlines geologic provinces or terranes permissive for specific types of mineral deposits. By analogy, even areas having little known basic geologic information and (or) poorly explored areas may be appraised. This regional assessment methodology was applied in Colombia, South America, in a cooperative study between the USGS and the Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras) (INGEOMINAS) (Hodges, Zambrano-Ortiz, and others, 1984). The methodology used in the Colombian study is applicable to all parts of the western and southern Caribbean region. The purpose of this present report is to summarize the substance of the Colombian assessment and to show how the premises of

the Colombian resource appraisal may be applied to Central America.

ASSESSMENT METHODOLOGY IN COLOMBIA

Basic Information

The USGS-INGEOMINAS cooperative project in Colombia brought together a multidisciplinary team of specialists that assessed in a 1-year period the potential for non-fuel, primarily metallic mineral resources based on existing data. The basic input data required for the assessment and the final products are summarized in table 1.

The revised geologic map of Colombia was compiled by INGEOMINAS from diverse sources including INGEOMINAS geologists, other Colombian government agencies, university professors, student theses, private mining and petroleum corporations, and visiting non-Colombian geologists. No new mapping was done in conjunction with the cooperative project.

The regional geologic data were combined with geophysical data to derive a geologic terrane map (fig. 1). A knowledge of crustal composition and structure was derived from rock chemistry, seismic data, regional gravity data and regional aeromagnetic data. The geophysical data were compiled from a variety of sources. Magnetic surveys and aeromagnetic data were obtained from petroleum companies and academic groups. Gravity data were obtained from the Instituto Geográfico Agustín Codazzi, petroleum companies, and various foreign sources. The geologic terrane map represents an effort to identify coherent geologic provinces. The provinces differ in stratigraphy, history, and styles of deformation, magmatic activity, and certain types of mineral deposits.

Regional stream-sediment geochemical data, wherever available, were evaluated to (1) help identify areas

TABLE 1.—Summary of types of input and output data from the USGS-INGEOMINAS assessment of mineral resources in Colombia, S.A.

INPUT DATA	
1.	Newly compiled geologic map at scale 1:1,000,000 (unpublished)
2.	Available geologic quadrangle maps and reports
3.	Maps and reports of known mineral occurrences
4.	Available geophysical data
	a. Regional magnetic maps
	b. Regional gravity maps
	c. Seismic surveys and regional seismicity
	d. Satellite imagery
5.	Regional stream-sediment geochemical data
6.	Conceptual ore-deposit models
7.	Mineral deposit grade-tonnage models
OUTPUT DATA AND INFORMATION	
1.	Geologic terrane map at scale 1:1,000,000 (unpublished)
2.	Mineral-resource assessment tables for each domain based on terrane map
	a. Favorable deposit types in each domain
	b. Known example deposits
	c. Rock environments
	d. Comments on special geologic, geophysical, and geochemical features
3.	Maps showing domains predicted to contain selected deposit types
	a. Deposit descriptions
	b. Tonnage and grade characteristics
	c. Expected geologic environments in Colombia
	d. Exploration guides and recommendations
4.	Maps summarizing areas of occurrence of selected commodities (metallogenic map)

having mineral-resource potential; (2) provide supportive data as to the differences between geologic terranes; and (3) assist in the mapping of terrane boundaries beneath covered areas such as alluvium-filled valleys and young volcanic rocks.

Descriptive conceptual models of different types of ore deposits (Cox, 1983a, 1983b) were assembled for the assessment in order to (1) use a uniform deposit classification scheme to which mineral occurrences, favorable geologic environments, favorable geochemical anomalies, and tonnage-grade models could be related; (2) provide data on the environments of ore deposition so that favorable rocks, structures, and tectonic settings could be readily recognized; and (3) relate, where possible, the associations of elements in geochemical data sets to specific deposit types. An example of a deposit model for epithermal gold-silver-base metal mineralization related to shallowly emplaced volcanic domes is given in table 2.

The ore-deposit grade-tonnage models (Singer and Mosier, 1983a, 1983b) were derived from estimated preminir tonnages and average grades of well-explored deposits. The grade-tonnage models are presented as x-y cumulative frequency plots and are designed to be used in conjunction with the ore-deposit models. An example of a

grade-tonnage model for epithermal gold-silver deposits, quartz-adularia type, is given in figure 2.

Known ore deposits, prospects, and occurrences were compiled from a variety of maps, reports, and scientific papers. Descriptive information about the deposits was compared with the ore-deposit models in order to appropriately classify the deposits, and examples of Colombian deposits were, in turn, incorporated into the models where appropriate. An example of a mineral occurrence compilation is given in figure 3.

Mineral resource tracts were derived from the recompiled geologic map and the map of geologic terranes. Each tract consists of one or more geologic terranes and is characterized by a geologic environment permissive for specific mineral deposit types. A table for each tract was compiled containing information on relevant potential deposit types, known deposits, and rock environments. Pertinent comments were included, as appropriate, on geological, geophysical, and geochemical characteristics. The relevant deposit types are cross-referenced to the ore-deposit models.

For selected, important deposits types, tract maps were made with additional information on descriptions of the deposit, tonnage and grade characteristics, appropriate details on geologic environments in Colombia, and exploration guides and recommendations. Table 3 is an example of a tract write-up for the northern Cordillera Central region. Figure 4 shows a typical deposit tract map and write-up for an epithermal gold-silver-base metal deposit, quartz-adularia type.

Using the Basic Information

The component maps and tables in the final report on Colombia (Hodges, Zambrano-Ortiz, and others, 1984) are all interrelated and can be used for decision-making based upon a number of different starting points. For example, if there is interest in a specific commodity such as gold, the selected deposit-types listings (fig. 4) refer to the appropriate geologic mineral-resource domains, the pertinent ore-deposit models, and the grade-tonnage models appropriate for those deposit models. Likewise, the grade-tonnage models are keyed to the deposit models so that the initial decision-making process can take into account mineral economics.

Ground and aeromagnetic surveys are of general use in defining locations of intrusive and extrusive rocks. Centers of mineralization may be identified by using magnetic data and various electromagnetic techniques in conjunction with geochemical data (Case and others, 1984). Altered areas may be expressed by flat or negative magnetic anomalies and by spectral induced polarization (IP) anomalies.

Let us assume, as an example in the use of component data from the assessment, that it is most desirable to develop a gold mine that is mineable with low-cost mining

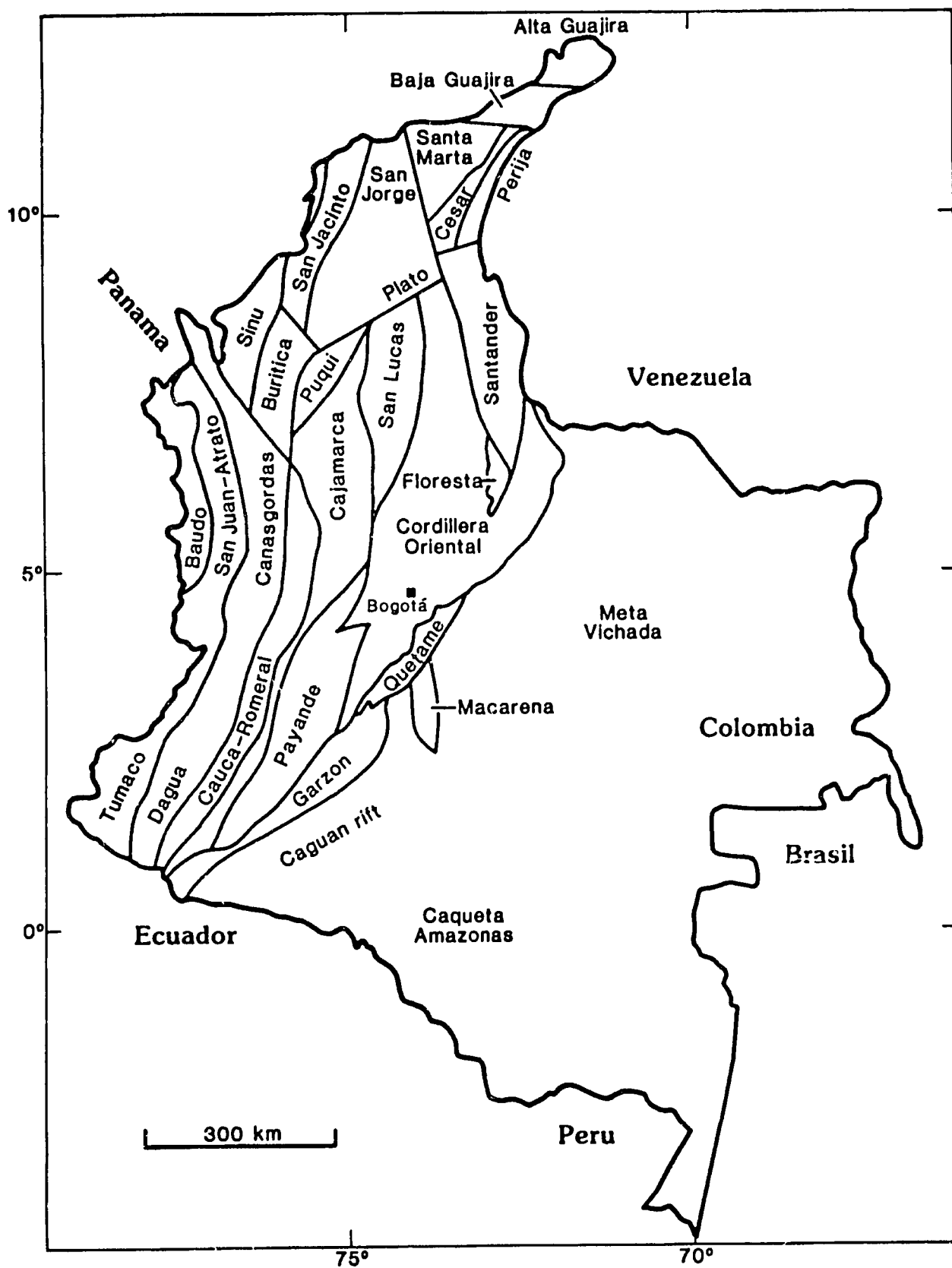


Figure 1. Geologic terrane map of Colombia, South America.

TABLE 2.—A descriptive, conceptual model for an epithermal precious-metal, base-metal type deposit (after Cox, 1983a)

DEPOSIT TYPE: Epithermal Au-Ag-Base Metal		SUBTYPE: Quartz-Adularia
AUTHOR: Byron R. Berger, Donald A. Singer, and others		DATE: February, 1985
APPROXIMATE SYNONYM: Precious- and base-metal veins		
DESCRIPTION: Precious metals (native, sulfides, sulfosalts) in open-space filled banded quartz veins with pyrite, tetrahedrite, sphalerite, galena, and arsenopyrite		
GENERAL REFERENCES: Buchanon (1980), Berger and Eimon (1983)		
GEOLOGICAL ENVIRONMENT		
Rock Types: Areas of subaerial, calc-alkaline volcanism—andesite, dacite, quartz latite, rhyodacite, rhyolite; calc-alkaline batholithic complexes		
Textures: Porphyritic		
Structures: Shallowly emplaced domes, dikes		
Age Range: Predominantly Tertiary to Quaternary for bonanza deposits, but may be any age		
Depositional Environments: Centers of volcanism and associated intrusive activity such as through-going normal faults, rift zones, and caldera complexes for bonanza deposits; batholithic complexes		
Tectonic Settings: Major, normal faults, fractures related to doming, calderas (especially ring-fracture zones), joint swarms		
Associated Deposit Types: Placer gold, porphyry copper-molybdenum (batholiths)		
Metal Concentrations: Au + As, Ag + Au + Pb + Zn + Cu, Ag + Pb + Zn + Cu + W + Bi		
DEPOSIT DESCRIPTION		
Ore Minerals: Native gold + electrum + pyrite ± arsenopyrite ± galena ± sphalerite in high Au:Ag deposits. Native gold + electrum + tetrahedrite + argentite + pyrite + galena + sphalerite ± barite ± rhodochrosite in high Ag:Au deposits in hypogene oxidized areas of supergene zones gold + ruby silver + native silver		
Texture/Structure: Banded veins, open-space filling, lamellar quartz, stockworks		
Alteration: Top to bottom of system: quartz + kaolinite + montmorillonite + zeolites ± barite ± calcite; quartz + illite; quartz + adularia ± illite; quartz + chlorite; presence of adularia is variable		
Ore Controls: Through-going, anastomosing fracture systems		
Weathering: Bleached country rock, goethite, jarosite, alunite—supergene processes often important factor in increasing grade of deposit		
Geochemical Signature: Higher in system Au + As + Sb + Hg; Au + Ag + Pb + Zn + Cu; Ag + Pb + Zn; Cu + Pb + Zn; in some geologic provinces Se, Te, and W		
Examples		References
Comstock, Nevada		Becker, 1888
Guanajuato, México		Buchanon, 1980, and Wandke and Martinez, 1928
Creede, Colorado		Steven and Ratte, 1965
Comments: Minor amounts of base metals in deposits in geologic provinces with basement of carbonate-poor miogeoclinal or eugeoclinal rocks and metamorphic equivalents. Higher amounts of base metals in deposits overlying carbonate-bearing miogeoclinal rocks or evaporites or where seawater is solution source.		

methods and at the same time provides employment for a large number of people. By consulting cumulative frequency-tonnage models for several different types of gold deposits (fig. 5), it is apparent that carbonate-hosted, quartz-adularia type, and volcanogenic-type gold deposits offer the highest likelihood for a deposit of sufficient size to meet the initial economic criteria. The geological characteristics for each of these three deposit types are determined from the appropriate ore-deposit model (Cox, 1983a; Hodges, Zambrano-Ortiz, and others, 1984). Those mineral-resource tracts characterized by geologic environments permissive for these gold-deposit types are listed in table 4. If we assume that the known occurrence of high-grade lode-gold deposits enhances the chances of finding a large, open-pit mineable deposit, then the Cajamarca and Romeral terranes (fig. 1) in the northern Cordillera Central region are the best geographic locations in which to focus an exploration effort, because they contain a large number of lode-gold deposits near Ibaguë and in the vicinity and to the north of Manizales (fig. 3).

A decision to focus attention on the northern part of the Cordillera Central limits the appropriate ore-deposit models to volcanogenic gold and epithermal, quartz-adularia precious-metal deposits. Table 3 and figure 4 list the best geochemical and geophysical exploration guidelines that can be combined with the geologic attributes given in the ore-deposit model to establish an approach to exploring the tracts.

The Cajamarca and Romeral geologic terranes were determined from the input data for the assessment (table 1) to have the appropriate geologic framework in which to explore for volcanogenic and epithermal precious-metal deposits based on several descriptive criteria. These criteria and analogies elsewhere in the American Cordillera are as follows:

1. The Romeral terrane contains an older, metamorphosed mélange of mafic, marine volcanic rocks, ophiolite fragments, and blueschist and Mesozoic oceanic sediments (including shale and sandstone with calcareous beds; where metamorphosed, the

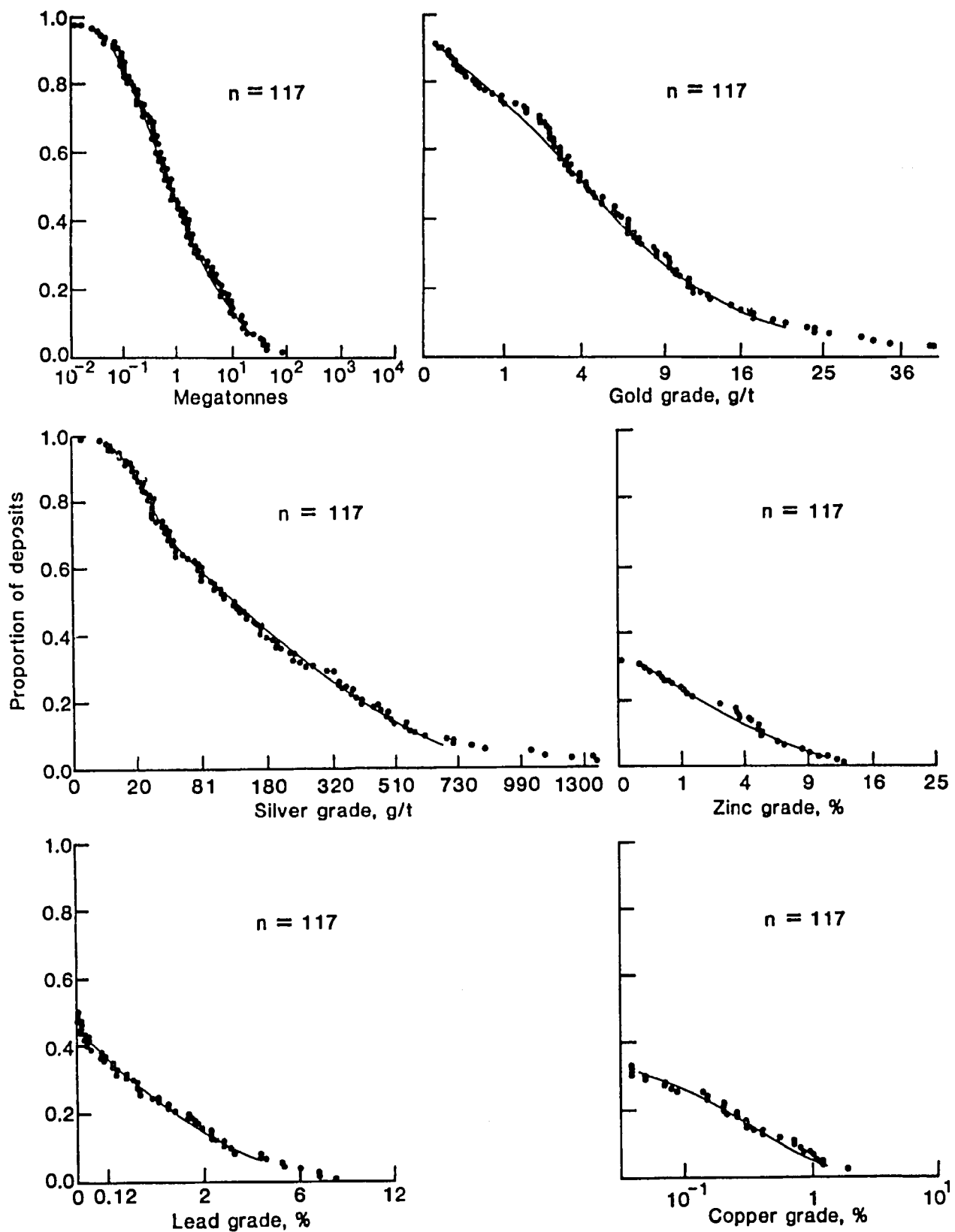


Figure 2. A grade-tonnage model for an epithermal precious-metal, base-metal, quartz-adularia type, ore deposit (from Singer and Mosier, 1983a).

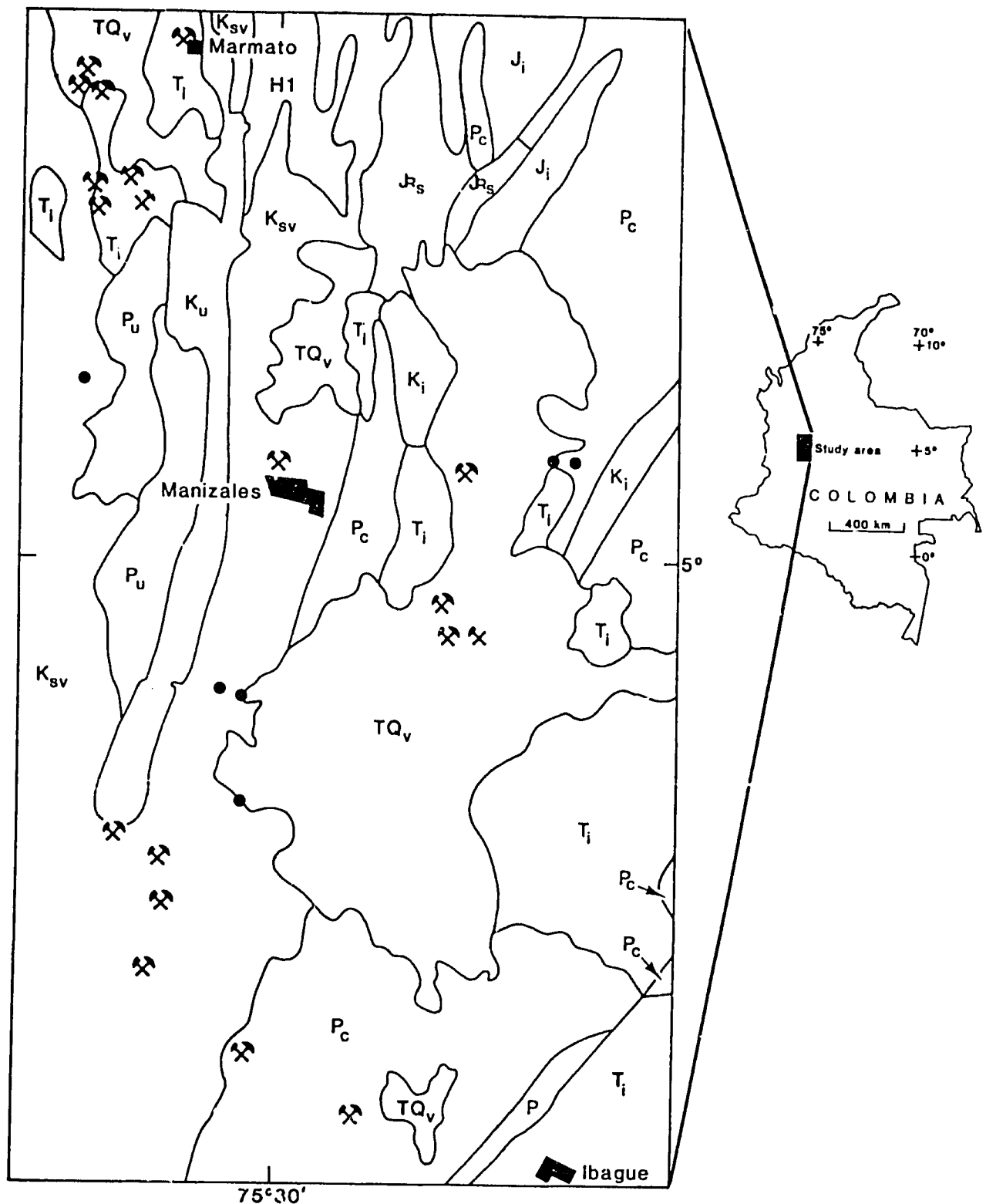


Figure 3. Geologic map of a portion of the Cordillera Central in Colombia showing the locations of the principal mines. Areas denoted with black circles are either active thermal springs or hydrothermal alteration related to now inactive thermal springs. The geologic map units are as follows: P_C - Paleozoic Cajamarca schist; P_U - Paleozoic undifferentiated sediments and volcanic rocks; P - Paleozoic Payande limestone; J_S - Triassic to Jurassic sediments; $H1$ - undifferentiated Mesozoic sediments; J_i - Jurassic intrusive rocks; K_{Sv} - Cretaceous sedimentary and volcanic rocks; K_U - undifferentiated Cretaceous volcanic and sedimentary rocks; K_i - Cretaceous intrusive rocks; T_i - Tertiary intrusive rocks; T_{Qv} - Tertiary to Quaternary volcanic rocks.

TABLE 3.—Example of a tract write-up for the northern Cordillera Central region

Domain #4.—CAUCA-PATIA-ROMERAL			Terranes: Cajamarca-Cauca-Romeral
Cyprus type massive sulfide	Paso de Bobo, (Cauca), La Marina, (Valle)	Pillow basalt, diabase, chert, sedimentary rocks	Steep gravity gradients indicate that the Cauca-Patia-Romeral zone serves as boundary between oceanic crust to the west and continental or transitional crust to the east. Copper anomalies associated with high calcium and magnesium.
Volcanogenic Mn	Numerous occurrences La Loma, Santa Bárbara (Antioquia)		Copper anomalies from upper levels of La Loma.
Porphyry Cu	El Piso Piedra, Sentada (Cauca), Alumbra (Narino)	Felsic intrusive rocks of Tertiary age	Anomalous copper, molybdenum, lead, and zinc.
Epithermal Au Ag	Marmato, Buenos Aires, Almaguer Districts	Veins and stockworks in various rocks usually in or near Tertiary intrusive stocks. Deposits cluster around Tertiary-Quaternary volcanic fields	Numerous anomalies Au, Ag, As, Sb in Cu, Pb, Ag, Zn.
Volcanic hosted massive replacement	None		
Silica-carbonate Hg	None	Serpentine and siltstone	Anomalies of mercury, arsenic, and thallium.
Disseminated Hg	Aranzazu	Cretaceous clastic rocks near andesitic dikes	Localized along Romeral fault zone. Anomalous mercury, arsenic, antimony.
Podiform chromite	Santa Elena, numerous small occurrences	Dunite, peridotite, serpentinite	Detailed gravity and magnetic data used in prospecting in Medellin region.
Ni laterite	None	Peridotite underlying weathering surfaces of low relief	High Ni, Cr, Co, Fe in soil.
Porph. Mo	La Teta (Cauca)	Dacite porphyry	Mo anomalies, peripheral Cu, Au; also zinc, tungsten, bismuth.
Bauxite (7.1)	Morales-Cajibío (Cauca)	Laterites of Popayan Formation	
Domain #5.—SEGOVIA REGION			Terrane: Puqui-Campamento
Epithermal Au, Ag Quartz adularia	Segovia District	Hornblende diorite host rocks (age 160 m.y.), metamorphic wall rocks	Sparse gravity data suggest transitional or continental crust. Anomalous gold, silver, arsenic antimony, zinc, lead, and copper.
Domain #6.—CORDILLERA CENTRAL, NORTH			Terrane: Cajamarca
Epithermal Au, Ag	Numerous small veins, generally rich in galena and stibnite, locally cinnabar. Guadalupe (Antioquia)	Alteration zones in Cajamarca Schist near dacitic stocks (5–6 m.y.). Also in Antioquia batholith and near areas of recent volcanism (QIV) in south end of domain	Numerous anomalies Au, Zg, As, Sb in Cu, Pb, Sb. Veins localized along Palestine fault and other northeast-trending faults.
Sedimentary exhalative Pb-Zn, Cu-Zn	Small chalcopryite, pyrrhotite occurrences	Graphitic schist, metavolcanic volcanic rocks	Sparse gravity data suggest that crust is continental or transitional in this domain. Anomalous Zn, Pb, Ba.

rocks are mica schist and graphitic schist) intruded by post-accretion Tertiary and Quaternary calc-alkaline igneous rocks (fig. 3). In other parts of the Cordillera of the Americas, epithermal gold is found in such a setting (for example, McLaughlin deposit, California).

2. The Cajamarca terrane contains a Precambrian continental crust composed primarily of highly metamorphosed calc-alkaline igneous rocks and

pelitic sedimentary rocks. Paleozoic quartz-sericite schist, graphitic schist, greenschist, quartzite, and amphibolite overlie the Precambrian, the compositions being suggestive of an original composition of intercalated andesite to rhyolitic marine volcanic rocks, mafic intrusions, shale, chemical chert(?), and carbonate-bearing rocks. Rocks of similar composition in southeastern California, northern Mexico, and the Canadian Shield contain numerous

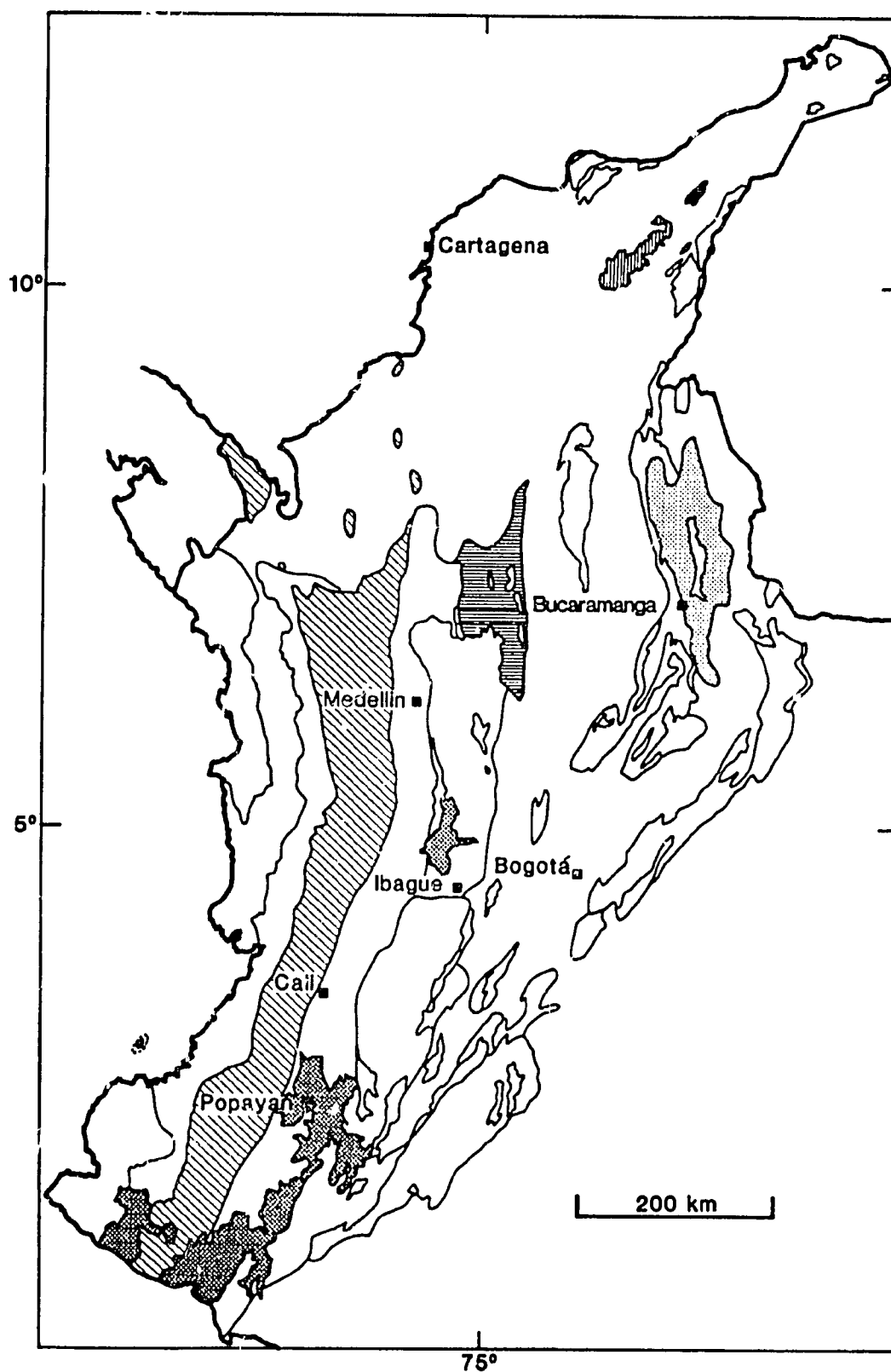


Figure 4A. Mineral-resource domain map for western Colombia. Patterns [used here as examples and not explained] show those regions or mineral-resource domains deemed to have potential for the occurrence of an epithermal precious-metal, base-metal type of deposit.

Epithermal Precious Metal, Quartz-Adularia Type Domains

Deposit Description

Open-space vein filling and associated stockwork deposits of complex silver sulfides, simple base-metal sulfides, and some native gold with pyrite—Large, open fissures are commonly filled with banded quartz (occasionally amethystine quartz and adularia). Wallrock alteration consists mainly of illite, adularia, chlorite, epidote, and calcite. Deposits occur most commonly within or adjacent to nonmarine volcanic rocks and (or) hypabyssal intrusions (Cox, 1983a).

Tonnage and Grade Characteristic

Fifty percent of epithermal gold-quartz-adularia deposits contain 0.7 million tonnes or more; 10 percent contain 14 million tonnes or more. Gold grades range from 4.3 g/t or more for the richest half of the deposits to 19 g/t or more in the richest tenth of the deposits. Silver grades range from 130 g/t, or more, in the richest half of the deposits to 600 g/t or more in the richest 10 percent. Copper grades are low, and reported zinc grades are low for most deposits, but 10 percent of the deposits contain 5.1 percent or more zinc (Singer and Mosier, 1983a).

Geologic Environment in Colombia

Epithermal fissure-vein gold-silver deposits are widespread in South America, with the largest deposits occurring in nonmarine intermediate to silicic volcanic rocks. Smaller deposits occur peripheral to and (or) within the upper parts of felsic igneous stocks. Nonmarine volcanic environments favorable for epithermal deposits occur on the Guajira Peninsula, near Manizales, and in the vicinity of Popayan.

Exploration Guides and Recommendations

The Tertiary-Quaternary volcanic fields should be the highest priority exploration areas. Areas of subvolcanic intrusions in conjunction with through-going fracture systems are likely targets. Commonly favorable structures include large normal faults, ring-fracture zones around calderas, and keystone grabens. Altered zones hundreds of meters wide commonly exist around these deposits characterized by chlorite-epidote-pyrite and Fe-rich carbonates. Using wet chemical techniques, altered rocks should be analyzed for gold, silver, arsenic, antimony and zinc; stream sediments should be analyzed for arsenic, antimony, zinc, and mercury. Gold in these types of deposits is usually very fine grained and detectable only by chemical analysis, thus explaining why they were often missed by early prospectors.

Figure 4B. A summary of pertinent descriptive information, tonnage and grade characteristics, geologic environments and exploration guidelines for epithermal-type precious-metal, base-metal deposits in Colombia.

- large-tonnage gold deposits where Paleozoic and Mesozoic sedimentary rocks containing significant volcanogenic components overlie metamorphic rocks. Mesozoic and Tertiary plutonic rocks as well as Quaternary volcanic rocks intrude the older complexes.
 3. Active and inactive geothermal areas are widespread throughout much of the region, probably related to Pliocene to Recent intrusive and extrusive andesitic volcanic activity (fig. 3). Similar domal intrusions in subaerial volcanic complexes commonly contain significant gold deposits such as in the western cordillera of Mexico and the United States.
 4. Geochemical data from stream sediments and rocks collected in these terranes contain specific elements such as silver and arsenic, though to be, pathfinders to gold deposits.
 5. The occurrence of many precious-metal deposits (fig. 3) as well as deposits of mercury and antimony which are commonly spatially related to gold deposits.
- In summary, a comprehensive mineral resource assessment in Colombia combined mineral deposit, geologic, geochemical, geophysical, and mineral economic data (fig. 6) to derive a geologic terrane map and mineral-resource tract maps in order to identify areas favorable for the occurrence of specific ore deposit types.

TABLE 4.—Mineral-resource tracts and geologic terranes permissive for the occurrence of carbonate-hosted, quartz-adularia, and volcanogenic-type precious-metal deposits

1. Carbonate-hosted gold deposit
 - a. Cordillera Central-South Tract
Terranes: Cajamarca
Payande
 - b. Upper Magdalena Valley Tract
Terrane: Payande
 - c. San Lucas Tract
Terrane: San Lucas
2. Epithermal precious-metal deposits, quartz-adularia type
 - a. Cordillera Occidental Tract
Terranes: Dagua
Canas Gordas
Cauca
Romeral
 - b. Cauca-Patia-Romeral Tract
Terranes: Cajamarca
Cauca
Romeral
 - c. Segovia Region Tract
Terranes: Puqui
Campamento
 - d. Cordillera Central-North Tract
Terrane: Cajamarca
 - e. Pasto and North to Popayan, East of Manizales Tract
Terranes: Dagua
Cauca
Romeral
Cajamarca
Payande
 - f. Upper Magdalena Valley Tract
Terrane: Payande
 - g. Guajira 1 - North Tract
Terrane: Alta Guajira
 - h. Guajira - South Tract
Terrane: Cosinas
 - i. Santa Marta - Southeast Tract
Terrane: Santa Marta - Southeast
 - j. Santa Marta - South Tract
Terrane: Santa Marta - South
 - k. Santander Massif Tract
Terrane: Santander
3. Volcanogenic gold deposit
 - a. Baudo-Gorgona Tract
Terranes: Baudo
Gorgona
 - b. Cordillera Occidental Tract
Terranes: Dagua
Canas Gordas
Cauca
Romeral
 - c. Merida Andes Extension Tract
Terrane: Santander
 - d. Cordillera Central
Terrane: Cajamarca

ASSESSING MINERAL RESOURCES IN CENTRAL AMERICA

A long-range mineral-resource development plan in Central America is an important component to the economic vitality of the region. The mining industry has not historically been a significant economic force in Central America, and at present, with the exception of Honduras, the minerals industry contributes less than 1 percent to each country's gross national product (Cunningham and others, 1984). Partly because of this small contribution of mining, little current information is available on mineral resources in the region (Salas, 1982). The method of resource assessment used by the USGS in Colombia has considerable value in that a comprehensive up-to-date information source using a compilation of existing data is established upon which mineral-resource planning and development can be based.

The complex geologic framework in Central America is similar in many respects to that in western Colombia. The rocks in Central America represent the north-western extension of those in the northern Andes and intervening basins in Colombia, and the southeastern extension of those in Mexico. Pre-Mesozoic continental rocks form a cratonic basement in northern Central America extending from southern Mexico into Guatemala, Belize, Honduras, northern El Salvador, and northern Nicaragua (Kesler, 1978). To the south, the basement consists of oceanic rocks (Case, 1974). Island arcs developed on those basement rocks with volcanism occurring in several cycles from the late Mesozoic to the present (Kesler, 1978). The most extensive volcanic activity took place in the Oligocene and Miocene epochs. The present-day complex, tectonic configuration can be generalized into a series of distinct geologic provinces to which the known mineral occurrences can be related (fig. 7).

The known mineral deposits in Central America display a systematic variation in metal composition (Kesler, 1978). These variations appear to be related to changes in the chemical composition of the basement and near-surface rocks in the various geological terranes enclosing the deposits. Cumming and Kesler (1976) noted that mineral deposits in Central America become depleted in lead and relatively more enriched in gold and copper from northwest to southeast. They note that districts in western Guatemala such as Chiantla and Coban contain primarily lead and zinc with low silver concentrations. These areas have early Paleozoic, carbonate-bearing basement rocks. Silver is considerably more important to the southeast at El Mochito and El Rosario in Honduras and Monte Cristo in El Salvador. Gold-bearing deposits such as La Libertad and the copper deposit at Rosita in Nicaragua have a basement of Mesozoic to Tertiary clastic marine sediments and basalt-

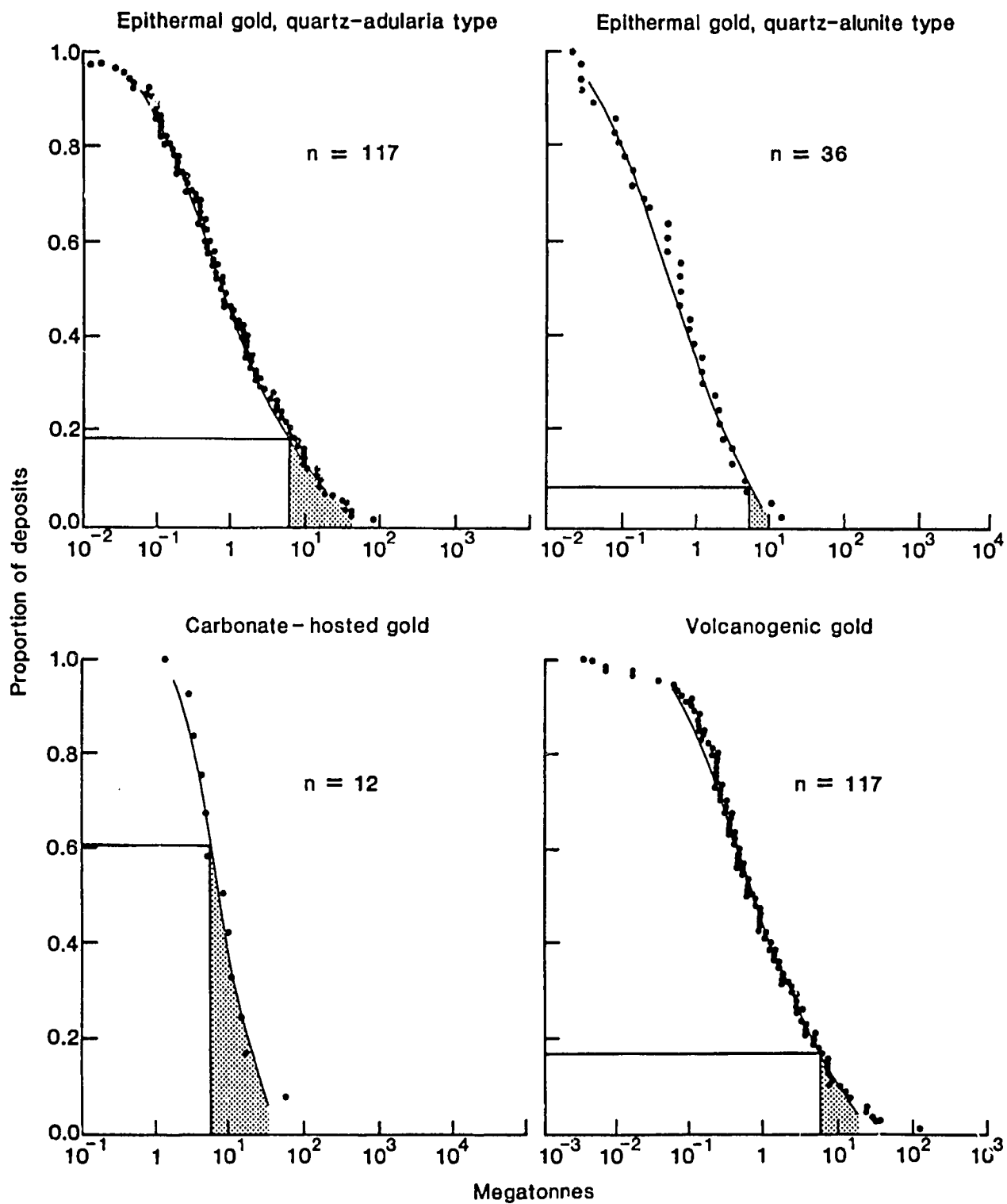


Figure 5. Cumulative-frequency tonnage models for four types of gold deposits. The shaded areas show the proportion of each deposit type inferred to have adequate tonnages to employ a large number of people in a low-cost mining operation (from Singer and Mosier, 1983a).

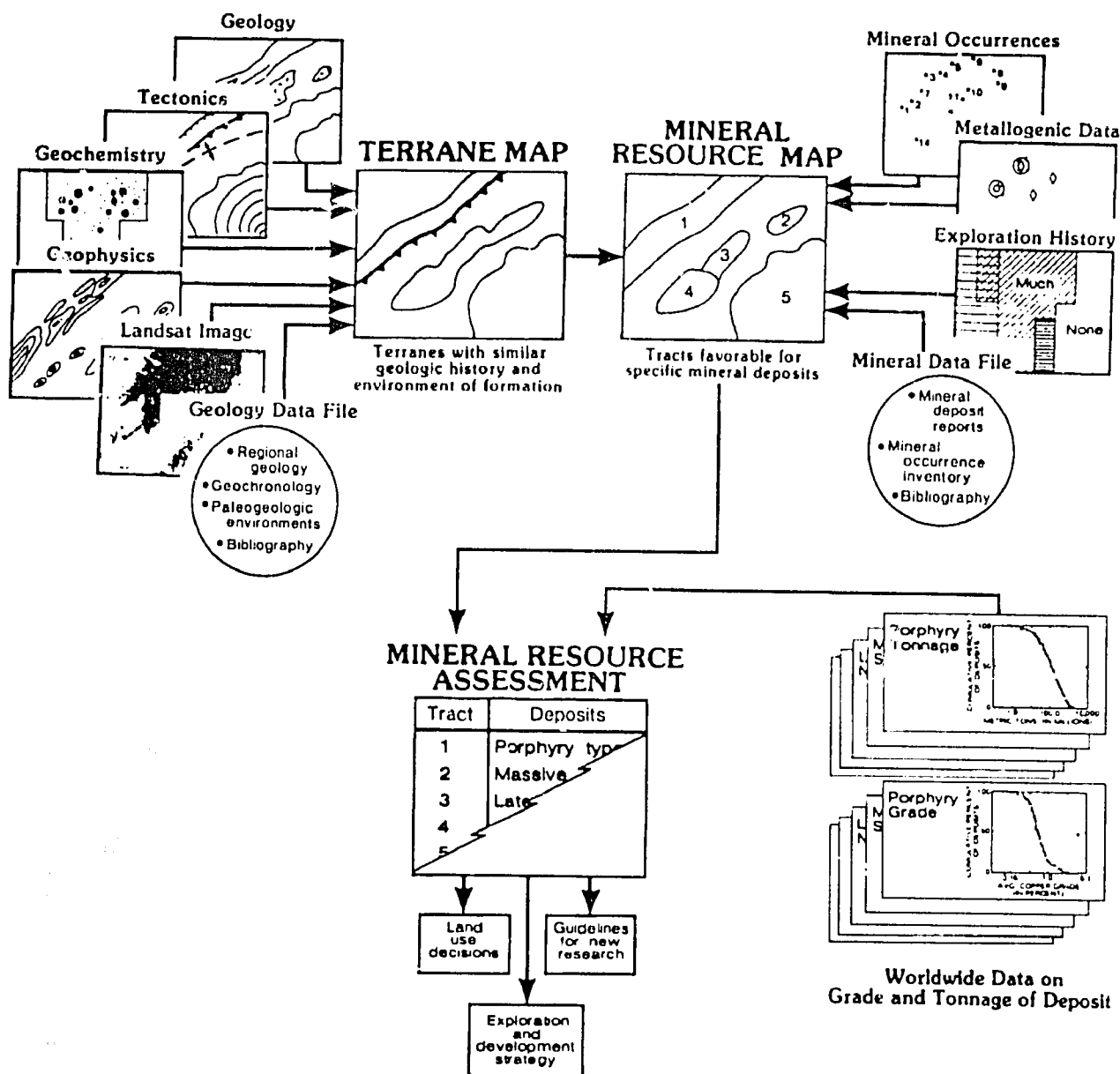


Figure 6. Data utilized and derived map products for the comprehensive mineral resource assessment of Colombia.

andesite lavas (Ferencic, 1971). There has been only minor lead production in Panama where no older, thick continental crustal rocks occur; however, Panama contains the large porphyry-type copper deposits at Cerro Colorado and Petaquilla.

The published literature contains a considerable amount of information on the regional geology, igneous petrochemistry, and tectonics of Central America. In conjunction with the available information on mineral deposits, these data permit the derivation of an excellent geologic terrane map on which to base a systematic,

detailed mineral-resource assessment of the region. Resultant products included in the assessment would be a) the concepts, technologies, and background information used to effect the assessment, b) up-to-date compilations of the geology and mineral resources of the region, c) an outline of those geologic terranes (mineral-resource tracts) permissive for the occurrence of a wide variety of strategic and critical minerals, and d) the geological, geochemical, and geophysical exploration methods applicable in the geological, geomorphic, and climatological environments in Central America.

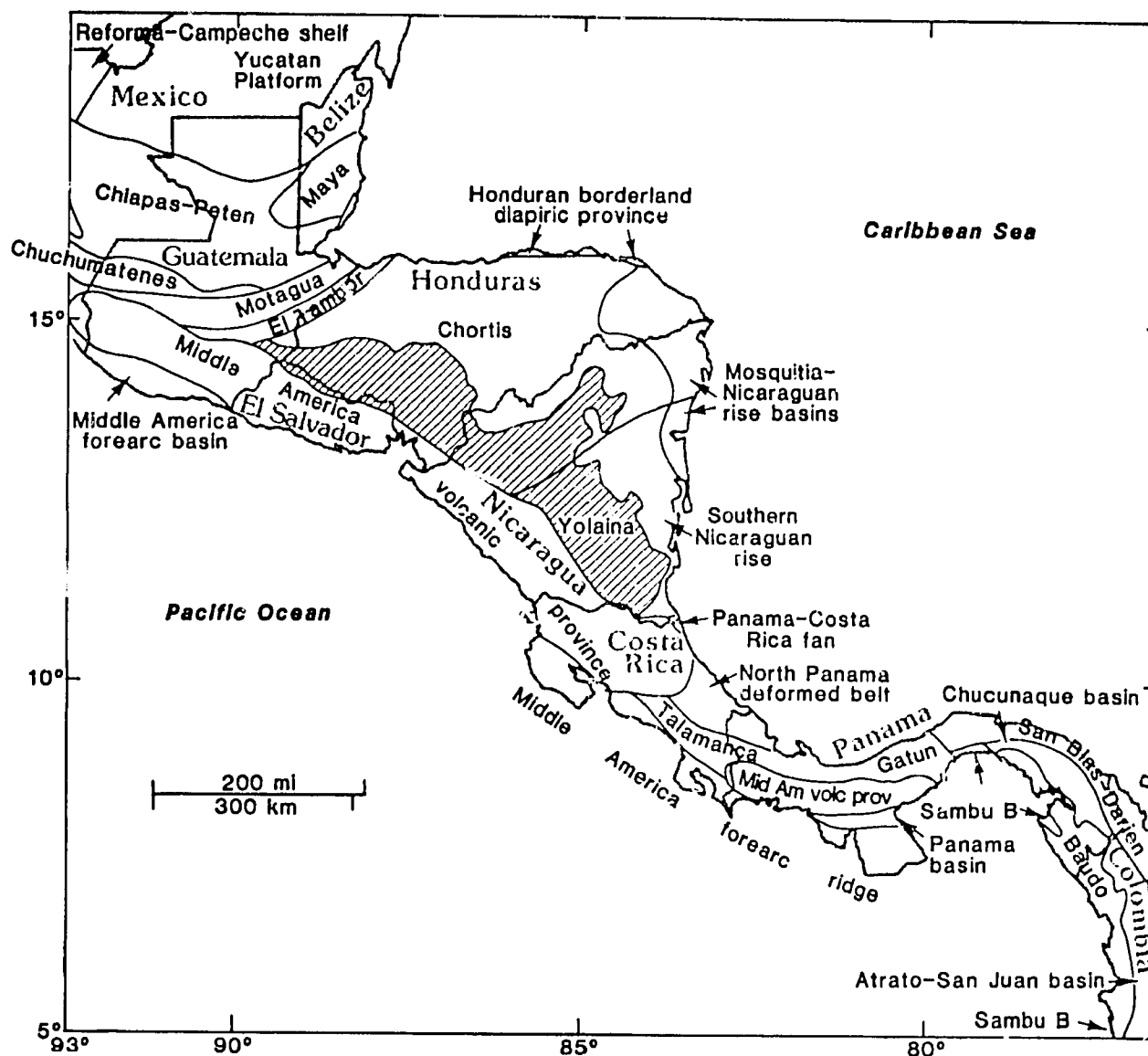


Figure 7. Map of the geologic terranes in Central America (from Case, Holcombe, and Martin, 1984). The lined area in the Yolaina and Chortis terranes shows the distribution of Cenozoic volcanic rocks.

ACKNOWLEDGMENTS

The methodologies used in the assessment of mineral resources in Colombia were the result of the work of numerous North American geologists both in and outside of the U.S. Geological Survey. The final products from the Colombia assessment were the result of cooperative and open interchange between numerous scientists in INGEOMINAS and the USGS. We wish to extend our thank you to our Colombian friends for their excellent assistance and hospitality.

REFERENCES CITED

- Becker, G. F., 1888, Geology of the Quicksilver deposits of the Pacific slope: U.S. Geological Survey Monograph 13, 486 p.
- Berger, B. R., and Eimon, P. I., 1983, Conceptual models of epithermal precious-metal deposits; in *Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits*: New York, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, p. 191-205.

- Buchanon, L. J., 1980, Ore controls of vertically stacked deposits, Guanajuato, Mexico: American Institute of Mining Engineers, Preprint 80-82, 26 p.
- Case, J. E., 1974, Oceanic crust forms basement of eastern Panama: Geological Society of America Bulletin, v. 85, no. 4, p. 645-652.
- Case, J. E., Holcombe, T. L., and Martin, R. G., 1984, Map of geologic provinces in the Caribbean region: Geological Society of America Memoir 162, p. 1-30.
- Cox, D. P., ed., 1983a, U.S. Geological Survey-INGEOMINAS mineral resource assessment of Colombia; ore deposit models: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-423, 74 p.
- 1983b, U.S. Geological Survey-INGEOMINAS mineral resource assessment of Colombia: additional ore deposit models: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-0901, 32 p.
- Cumming, G. L., and Kesler, S. E., 1976, Source of lead in Central American and Caribbean mineralization: Earth Planetary Science Letters, v. 31, p. 262-268.
- Cunningham, C. G., Fary, R. W., Jr., Guffanti, M., Laura, D., Lee, M. P., Masters, C. D., Miller, R. L., Quinones M., Peebles, R. W., Reinemund, J. A., and Russ, D. P., 1984, Earth and water resources and hazards in Central America: U.S. Geological Survey Circular 925, 40 p.
- Ferencic, A., 1971, Metallogenic provinces and epochs in southern Central American: Mineralium Deposita, v. 6, p. 77-88.
- Hodges, C. A., Cox, D. P., Singer, D. A., Case, J. E., Berger, B. R., and Albers, J. P., Zambrano-Ortiz, F., Etayo-Serna, F., Barrero-Lozano, D., Lozano-Quiroga, H., Espinosa-Baquero, A., Gonzales, Iregui, H., Orrego-Lopez, A., Arias-Tauta, A., Cedeno-Ochoa, C., Pulido-Ulloa, O., Murillo-Rodriguez, A., Jose-Diaz, M., Duque-Caro, H., Vargas-Higuera, R., Nunez-Tello, A., Alvarez-Aguadelo, J., Ropain-Ulloa, C., Buenaventura-Arango, J., Mendoza-Forero, H., Rodriguez-Sierra, G., and Jaramillo-Cortes, L., 1984, U.S. Geological Survey - INGEOMINAS mineral resource assessment of Colombia: U.S. Geological Survey Open-File Report 84-0345, 348 p.
- Kesler, S. E., 1978, Metallogenesis of the Caribbean region: Journal Geological Society London, v. 135, p. 429-441.
- Salas, G. P., 1982, Preliminary study of mineral resources of Latin America, in Whitmore, F. C., and Williams, M. E., eds, Resources for the Twenty-First Century: U.S. Geological Survey Professional Paper 1193, p. 183-191.
- Singer, D. A., and Mosier, D. L., eds, 1983a, Mineral deposit grade-tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-0623, 102 p.
- Singer, D. A., and Mosier, D. L., eds., 1983b, Mineral deposit grade-tonnage models II: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-0902, 103 p.
- Steven, T. A., and Ratte, J. C., 1965, Geology and structural control of ore deposition in the Creede district, San Juan Mountains, Colorado: U.S. Geological Survey Professional Paper 487, 90 p.
- Wandke, A., and Martinez, J., 1928, The Guanajuato mining district, Guanajuato, Mexico: Economic Geology, v. 23, p. 1-44.

CREACION DE UNA BASE DE DATOS COMPLETOS PARA EL PLANEAMIENTO Y DESARROLLO DE RECURSOS MINERALES EN AMERICA CENTRAL

Por Byron R. Berger, Dennis P. Cox, James E. Case, Donald A. Singer, Carroll A. Hodges, John P. Albers, y Roger P. Ashley

INTRODUCCION

Una fuerte base agrícola e industrial en cualquier país depende de los suministros confiables de minerales críticos. Para asegurarse una economía estable y un nivel de vida adecuada, los gobiernos necesitan tener información actualizada sobre los productos minerales ya existentes y sobre las nuevas fuentes de los mismos. La planificación a corto y largo plazo de una política minera, el aprovechamiento de la tierra, la exploración en busca de minerales, y las estrategias de desarrollo exigen una base de datos seguros y confiables de donde poder tomar decisiones. La síntesis, o fusión, de los conceptos actuales de depósitos minerales con la información existente respecto a geología, descubrimientos minerales, geoquímica, geofísica, y económica mineral, pueden proporcionar una base de datos para esta planificación así como también una base para comprender la riqueza de los recursos nacionales, dando lugar a la inversión privada en industrias relacionadas con la mineralogía, y promoviendo una expansión de los mercados de importación y exportación.

Un ingrediente clave en la planificación de los recursos naturales es el empleo de una metodología sistemática para sintetizar la información que permita lograr la identificación confiable de ambientes o sitios geológicos favorables para diferentes tipos de depósitos minerales. El Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS), basado en los estudios realizados multidisciplinarios sobre la evaluación de recursos regionales en América del Norte, ha desarrollado, o creado una metodología para la evaluación de minerales que delinea o esboza las provincias o terrenos geológicos permisibles con clases específicas de depósitos minerales. Por analogía, aún áreas de las cuales se tiene muy poca información geológica y/o áreas probablemente exploradas pueden ser evaluadas. Esta metodología regional de

evaluación fue aplicada en Colombia, en Sud América, en un estudio cooperativo entre el USGS y el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (INGEOMINAS) (Hodges, Zambrano, Ortiz, y colaboradores, 1984). La metodología usada en el estudio colombiano es aplicable a todas las regiones del Caribe sur-occidental. El propósito de este reporte es resumir la esencia de la evaluación colombiana y demostrar como las premisas de la evaluación de recursos colombianos puede ser aplicada a América Central

METODOLOGIA DE EVALUACION EN COLUMBIA

Información Básica

El proyecto cooperativo entre USGS-INGEOMINAS en Colombia, reunió a un grupo multidisciplinario de especialistas que evaluaron en un período de un año, el potencial de recursos minerales principalmente metálicos, no combustibles, basado en información ya existente. Los datos básicos de entrada requeridos para la evaluación y los productos finales, se resumen en la Tabla 1.

El mapa geológico revisado de Colombia fue recopilado por INGEOMINAS a partir de una diversidad de fuentes, incluyendo a geólogos, otras dependencias gubernamentales de Colombia, profesores universitarios, tesis estudiantiles, firmas privadas dedicadas a la minería y al petróleo, y con geólogos visitantes, no colombianos. No se realizó ningún mapeo nuevo junto con el proyecto cooperativo.

La información geológica regional se combinó con la información geofísica para crear un mapa del terreno geológico (Figura 1). El conocimiento de la composición y estructura de la corteza terrestre se dedujo de los datos sísmicos, de la química de las rocas, los datos sobre la

TABLA 1.—Resumen de las clases de información de entrada y salida de la evaluación de recursos minerales realizada por USGS-INGEOMINAS en Colombia, América del Sur

INFORMACION DE ENTRADA	
1.	Mapa geológico recientemente recopilado a una escala de 1:1.000.000 (no publicado)
2.	Mapas geológicos cuadrangulares y reportes disponibles
3.	Mapas y reportes de depósitos minerales conocidos
4.	Datos geofísicos disponibles
	a. Mapas magnéticos regionales
	b. Mapas regionales sobre la gravedad
	c. Estudios sísmicos y sismicidad regional
	d. Imágenes por satélite
5.	Información geoquímica regional sobre el sedimento en ríos
6.	Modelos conceptuales de depósitos metalíferos
7.	Modelos del grado de tonelaje de los depósitos metalíferos
INFORMACION Y DATOS DE SALIDA	
1.	Mapa del terreno geológico, a una escala de 1:1.000.000 (no publicado)
2.	Tablas de evaluación de recursos minerales para cada territorio, con base en el mapa del terreno
	a. Tipos de depósitos favorables en cada territorio
	b. Depósitos tipo conocidos
	c. Ambientes rocosos
	d. Comentarios sobre aspectos especiales geológicos, geofísicos y geoquímicos
3.	Mapas que muestran los territorios ya mencionados que contienen tipos selectos de depósitos
	a. Descripciones de los depósitos
	b. Características del tonelaje y grados
	c. Ambientes, o zonas geológicas esperadas en Colombia
	d. Guías y recomendaciones de exploración
4.	Mapas que resumen las áreas donde existen los productos seleccionados (mapa metalogénico)

gravedad regional, y de información aeromagnética regional. Los datos geofísicos se recopilaban tomando como base una variedad de fuentes. Los estudios magnéticos y la información aeromagnética se obtuvieron con compañías petroleras y grupos académicos. Los datos sobre la gravedad se obtuvieron en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, compañías petroleras, y otras varias fuentes extranjeras. El mapa del terreno geológico representa un esfuerzo por identificar las provincias geológicas en forma coherente. Las provincias difieren en su estratigrafía, historia y estilos de deformación, actividad magmática, y en ciertos tipos de depósitos minerales.

Los datos regionales geoquímicos sobre sedimento en ríos, o pluvial, donde se encontraron disponibles, fueron evaluados para (1) ayudar a identificar áreas con potencial de recursos metalúrgicos; (2) para suministrar datos de apoyo respecto a diferencias entre los terrenos geológicos; y (3) ayudar en el mapeo de las fronteras, o límites del terreno debajo de áreas cubiertas tales como valles rellenos por tierras provenientes de aluviones y por rocas volcánicas jóvenes.

Los modelos conceptuales descriptivos de diferen-

tes tipos de depósitos metalíferos (Cox, 1983a, 1983b), fueron reunidos para la evaluación, para (1) emplear un patrón uniforme para la clasificación de depósitos al cual pudieran relacionarse los hallazgos mineralógicos, los ambientes favorables geológicos, las anomalías favorables geoquímicas y los modelos de grado-tonelaje; (2) suministrar datos sobre los ambientes de los depósitos o yacimientos metalíferos, con el fin de reconocer con la mejor facilidad y rapidez las formaciones rocosas favorables, estructuras, y posiciones tectónicas; y (3) relacionar, donde sea posible, las asociaciones de elementos en juegos de datos geoquímicos con tipos específicos de depósitos. Un ejemplo de un modelo de depósito para la mineralización metálica epitermal con base oro-plata relacionada con las bóvedas volcánicas superficialmente situadas, se proporciona en la Tabla 2.

Los modelos del tonelaje-grado para depósitos metalíferos (Singer y Mosier, 1983a, 1983b) se obtuvieron de tonelajes estimados premineria y grados promedio de depósitos bien explorados. Los modelos tonelaje-grado se presentan como lotes de frecuencia acumulativa x-y y están diseñados para usarse junto con los modelos de depósitos metalíferos. Un ejemplo del modelo de tonelaje-grado para depósitos epitermales de ore-plata, tipo cuarzo-adularia, se proporciona en la Figura 2.

Los depósitos metalíferos conocidos, los potenciales y los hallazgos fueron recopilados de una variedad de mapas, informes, y documentos científicos. La información descriptiva acerca de los depósitos se comparó con los modelos de depósitos metalíferos para poder clasificar correctamente los depósitos, y, a su vez, los ejemplos de los depósitos colombianos fueron incorporados a los modelos cuando así se juzgó apropiado. La Figura 3 proporciona un ejemplo de una recopilación de hallazgos minerales.

Los cursos o trayectorias de los recursos minerales se obtuvieron del mapa geológico recopilado y del mapa de terrenos geológicos. Cada trayectoria consistió de uno o más terrenos geológicos y se caracterizó por un ambiente geológico que permitía buscar, o localizar, tipos específicos de depósitos metalíferos. Una tabla, o gráfica, para cada trayectoria o curso fue recopilada, la cual contiene información sobre los tipos de depósitos potenciales más importantes, depósitos conocidos, y sobre características geológicas de los ambientes rocosos. Se incluyeron comentarios pertinentes, conforme se estimaron apropiados, sobre características geoquímicas, geofísicas y geológicas. Los tipos de depósitos más importantes se encuentran relacionados, por medio de referencias cruzadas, con los modelos de depósitos minerales.

Se elaboraron mapas de los cursos para tipos de depósitos importantes, seleccionados, con información adicional sobre las descripciones de los depósitos, tonelaje y características del grado, incluyendo detalles apropiados sobre los ambientes geológicos en Colombia, así como



Figura 1. Mapa del terreno geológico de Colombia, S.A.

TABLA 2.—Modelo descriptivo, conceptual, de un depósito de tipo de metal-base, metal-precioso, epitermal (según Cox, 1983)

TIPO DE DEPOSITO: Metal epitermal de base Au-Ag (oro-plata)		SUBTIPO: Cuarzo-Adularia
AUTOR: Byron R. Berger, Donald A. Singer, y otros		FECHA: febrero de 1985
SINONIMO APROPIADO: Venas de metal base - metal precioso		
DESCRIPCION: Metales preciosos (nativo, sulfuros, sulfosales) en venas abiertas rellenas de pirita, tetrahedritos, esfalerita, galena, y arsenopirita		
REFERENCIAS GENERALES: Buchanon (1980), Berger y Eimon (1983)		
AMBIENTE GEOLOGICO		
Clases de Rocas: Areas de rocas subáreas, andesita—volcánica cal-alcalina, decita, latita de cuarzo, riolita, complejos batolíticos cal-alcalinicos		
Texturas: Porfíricas		
Estructuras: Bóvedas superficialmente situadas, diques		
Epoca: Predominantemente Terciaria a Cuaternaria para los depósitos bonanza, pero podría ser cualquier edad		
Medios Circundantes de los Depósitos: Centros de actividad volcánica y asociada intrusiva, tal como fallas normales profundas de paso, zonas agrietadas, y complejos de caldera para depósitos de vetas minerales; complejos batolíticos		
Posiciones Tectónicas: Fallas y fracturas normales e importantes, relacionadas con las bóvedas, calderas (especialmente en zonas de fracturas en cadena), enjambres en conjunto		
Tipos de Depósitos Asociados: Placer (lavadero de oro); molibdeno de cobre porfido (batolitos)		
Concentraciones Metalicas: Au+As, Ag+Au+Pb+Zn+Cu, Ag+Pb+Zn+Cu+W+Bi		
DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS		
Minerales Metálicos: Oro nativo +electro (oro argentífero)+pirita±arsenopirita±galena±esfalerita en depósitos de alto contenido de oro argentífero (Au:Ag). Oro nativo+electro+tetrahedrita+argentita+pirita+galena+esfalerita±barita±rodocrosita en depósitos de alto contenido de Au:Ag, en áreas de hipógeno oxidado de zonas supergene de oro+rubí y plata+plata natural		
Textura/Estructura: Venas por fajas, rellenos al aire libre, cuarzo laminar, trabajos de bodega		
Alteracion: De arriba para abajo del sistema: cuarzo+caolinita+montmorillonita+ceolitas+barita+calcita; cuarzo+illite; cuarzo+adularia+illita; cuarzo+clorita; la presencia de adularia es variable		
Controles Metálicos: Sistema profundo, sin interrupción de fracturas anastomizantes		
Intemperismo: Roca descolorida del campo, goetita, jarosita, alunita-procesos supergenes que con frecuencia son factor importante en incrementar el grado del depósito		
Indicativo, o Identificación, Geoquímica: Superior en el sistema Au+Ag+Sb+Hg, Au+Ag+Pb+Zn+Cu, Ag+Pb+Zn, Cu+Pb+Zn; en algunas provincias geológicas Se, Te, y W		
Ejemplos		Referencias
Comstock, Nevada		Becker, 1888
Guarajuato, México		Buchanon, 1980, y Wandke y Martinez, 1928
Cerro de la Cruz, Colorado		Steven y Ratte, 1965
Comentarios: Cantidades menores de metales base en depósitos en las provincias geológicas con un basamento o fundamento de equivalentes metamórficos y de rocas eugeoclinales o miogeoclinales pobres en carbonato. Cantidades mayores de metales base en depósitos que yacen sobre rocas miogeoclinales productoras de carbonato, o evaporitas o en cualquier lugar donde el agua de mar sea una fuente de solución.		

guías de exploración y recomendaciones. La Tabla 3 es un ejemplo del trazado de un curso para la región norte de la Cordillera Central. La Figura 4 muestra un mapa típico del curso de un depósito y el trayecto de un depósito epitermal de metal base oro-plata, del tipo de cuarzo-adularia.

UTILIZACION DE LA INFORMACION BASICA

Los mapas y tablas al final del reporte sobre Colombia (Hodges, Zambrano-Ortiz, y colaboradores, 1984) están interrelacionados y pueden ser utilizados para la toma de decisiones basada en un número de puntos de partida diferentes. Por ejemplo, si existe interés en un producto específico tal como el oro, los listados de los

tipos de depósitos seleccionados (Figura 4) se refieren a los territorios geológicos de recursos minerales apropiados, a los modelos pertinentes de depósitos metalíferos, y a los modelos de tonelaje grado apropiados para esos modelos de depósitos. Igualmente, los modelos de tonelaje grado están diseñados para los modelos de depósito, con el propósito de que el proceso inicial de la toma de decisiones pueda tomar en consideración también los puntos de la economía mineral.

Los estudios del suelo y aeromagnéticos son de uso general para definir las localizaciones de rocas intrusivas y extrusivas. Los centros de mineralización pueden identificarse utilizando la información magnética y varias técnicas electromagnéticas junto con información geoquímica (Case y colaboradores, 1984). Las áreas alteradas o modificadas pueden ser expresadas mediante

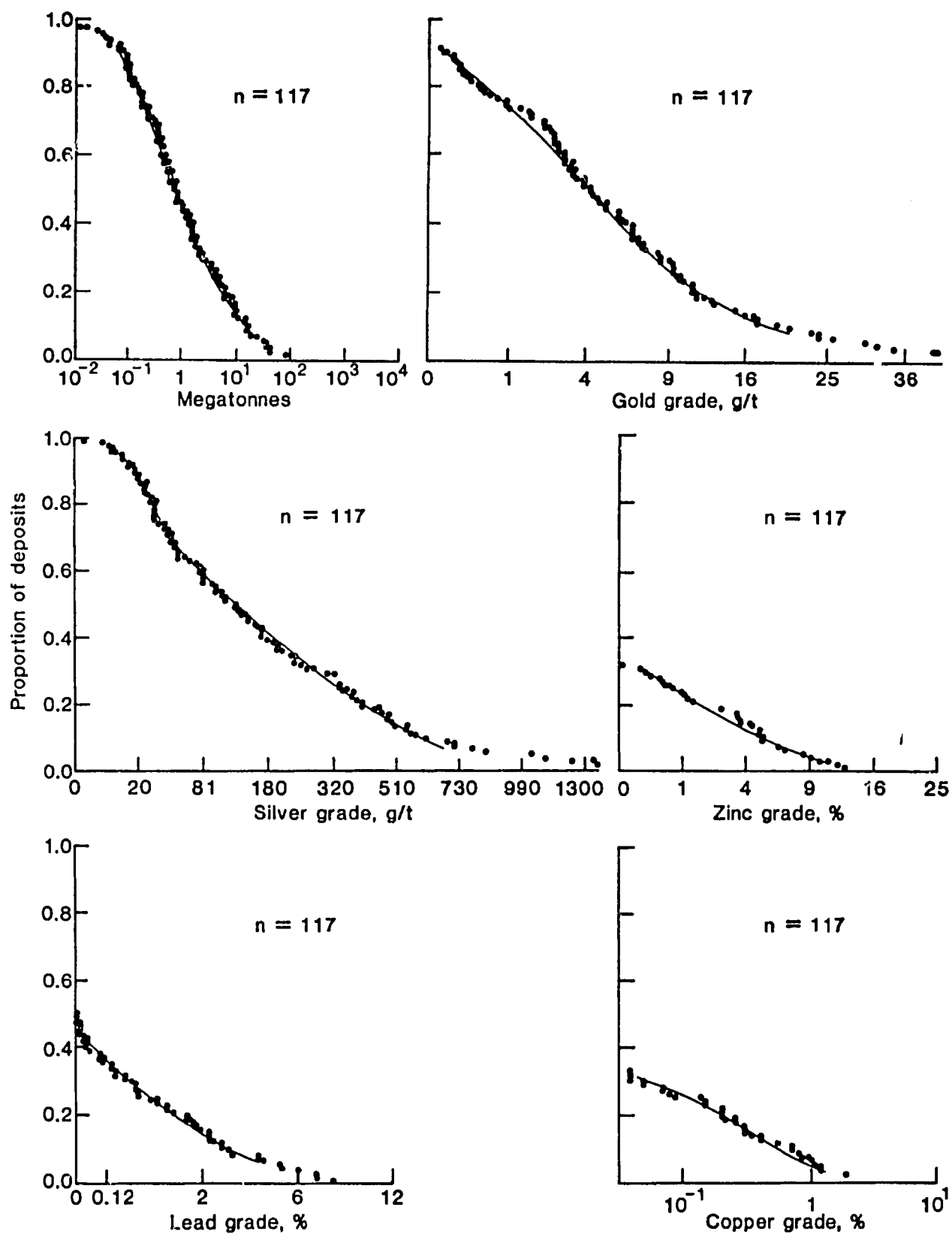


Figura 2. Un modelo de los tonelajes-grado para un depósito metalífero de tipo epitermal de metal precioso, metal bas, cuarzo-adularia. (Singer y Mosier, 1983a).

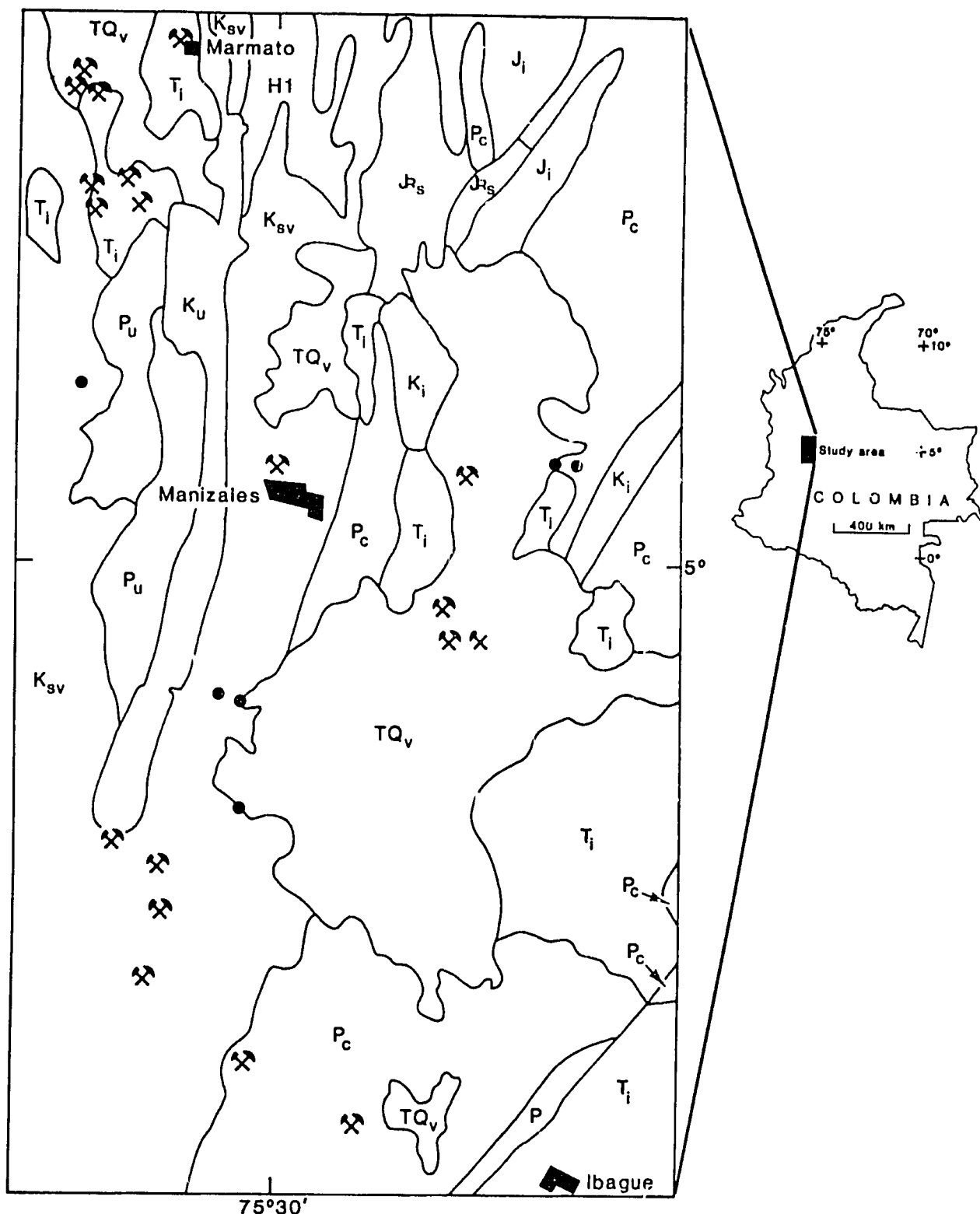


Figura 3. Mapa geológico de una porción de la Cordillera Central en Colombia, mostrando las ubicaciones de las minas principales. Las áreas señaladas con círculos negros constituyen ya sea yacimientos térmicos activos o alteraciones hidrotérmicas relacionadas con fuentes térmicas inactivas en la actualidad. Las unidades del mapa geológico son las siguientes: P_c - Esquisto paleozoico de Cajamarca; P_u - sedimentos y rocas volcánicas paleozoicas no diferenciadas; P - Piedra caliza paleozoica de Payande; J_s - Sedimentos triásicos y jurásicos; H1 - Sedimentos mesozoicos no diferenciados; J₁ - rocas intrusivas jurásicas; K_{sv} - rocas volcánicas y sedimentarias cretáceas; K_u - rocas volcánicas y sedimentarias cretáceas no diferenciadas; K_i - rocas intrusivas cretáceas; T_i - rocas intrusivas terciarias; TQ_v - rocas volcánicas de la edad terciaria a la cuaternaria.

TABLA 3.—Ejemplo de una evaluación de la parte norte de la región de la Cordillera Central de Colombia

Territorio #4.—CAUCA-PATIA-ROMERAL		Terrenos: Cajamarca-Cauca-Romeral	
Sulfuro masivo Tipo Chipre	Paso de Bobo, (Cauca), La Marina, (Valle)	Rocas sedimentarias de basalto, diabasa, variedad de cuarzo	Los gradientes empinados de gravedad indican que la zona Cauca-Patia-Romeral sirve de límite entre la corteza oceánica hacia el oeste y la corteza continental o transicional del este.
Mn Volcanológico	Numerosos hallazgos en La Loma, Santa Barbara (Antioquia)		Las anomalías cupríferas asociadas con gran cantidad de calcio y de magnesio de La Loma
Cu porfírico	El Pismo Piedra, Sentada (Cauca), Alumbra (Nariño)	Rocas intrusivas félsicas de la edad Terciaria	Cobre anómalo, molibdeno, plomo y zinc
Au Ag Epitermal	Marmato, Buenos Aires, Distritos de Almaguer	Venas y trabajos en varias rocas casi siempre o cerca de las bases intrusivas Terciarias. Los Depósitos se aglomeran alrededor de terrenos volcánicos terciarios-cuaternarios	Numerosas anomalías de Au, Ag, As, Sb, en Cu, Pb, Ag, Zn
Restitución masiva volcánica	Ninguna		
Hg de Silice carbonato	Ninguna	Serpentina y lodos de aluvión	Anomalías de mercurio, arsénico, y talio
Hg disseminado	Aranzazu	Rocas clásticas cretáceas cerca de diques de andesita	Localizado a lo largo de la zona de la falla de Romeral. Mercurio, arsénico, antimonio anómalo o irregular
Cromita podiforme	Santa Elena, hallazgos pequeños numerosos	Dunita, periodotita, serpentinita	Gravedad detallada y datos magnéticos utilizados en la búsqueda de minerales en la región de Medellín
Laterita Ni	Ninguna	Superficies desgastadas por tiempo e intemperie subyacentes periodotitas de bajo relieve	Alto contenido de Ni, Cr, Co, Fe en el suelo
Mo. porf.	La Teta (Cauca)	Dacita porfírica	No hay irregularidades, Cu, Au periférico; tam- bién zinc, tungsteno, bismuto
Bauxita	Morales-Cajibío (Cauca)	Lateritas de Fm. Popayan	
Territorio #5.—REGIÓN DE SEGOVIA		Terrenos: Puquij-Campamento	
Au, Ag Epitermal; cuarzo-adularia	Distrito de Segovia	Rocas huésped de diorita hornablendífera (edad 160 m. años), roca estéril metamórfica	Información escasa sobre la gravedad sugiere una capa transicional o continental. Oro, plata, arsénico, antimonio, zinc, plomo y cobre irregulares
Territorio #6.—CORDILLERA CENTRAL, NORTE		Terrenos: Cajamarca	
Au, Ag. Epitermal	Numerosas vetas pequeñas, generalmente ricas en galena y estibnita, localmente cinabrio. Guadalupe	zonas alteradas en Cajamarca. Esquisto cerca de bases dacíticas (5-6 m. años) También en Antioquia, batolito y en áreas cercanas de volcanismo (QTV) en el extremo sur del territorio	Numerosas anomalías en Au, Ag, As, Sb en Cu, Pb, Sb. Vetas localizadas a lo largo de la Falla Palestina y otras fallas con ubicación noreste
Pb-Zn, Cu-Zn exhalativo sedimentario	Pequeños hallazgos de piritita de cobre (calcopiritita) y pirrotita	Esquisto grafitico, rocas volcánicas, metavolcánicas	Información escasa sobre la gravedad sugiere que la corteza es continental o transicional en este terreno. Zn, Pb, Ba irregular

anomalías o irregularidades planas o negativas, magnéticas, y mediante anomalías de polarización inducida por espectro (IP).

Como un ejemplo de utilización de los datos de los componentes a partir de la evaluación, asumamos que es de lo más ventajoso explotar una mina de oro que es

susceptible de ser trabajada con los métodos de minería de bajo costo y que sin embargo, proporciona trabajo a un gran número de personas. Consultando los modelos acumulativos de la frecuencia-tonelaje para varios tipos diferentes de depósitos de oro (Figura 5), es aparente que depósitos tipo de carbono-huésped, cuarzo-adularia, y

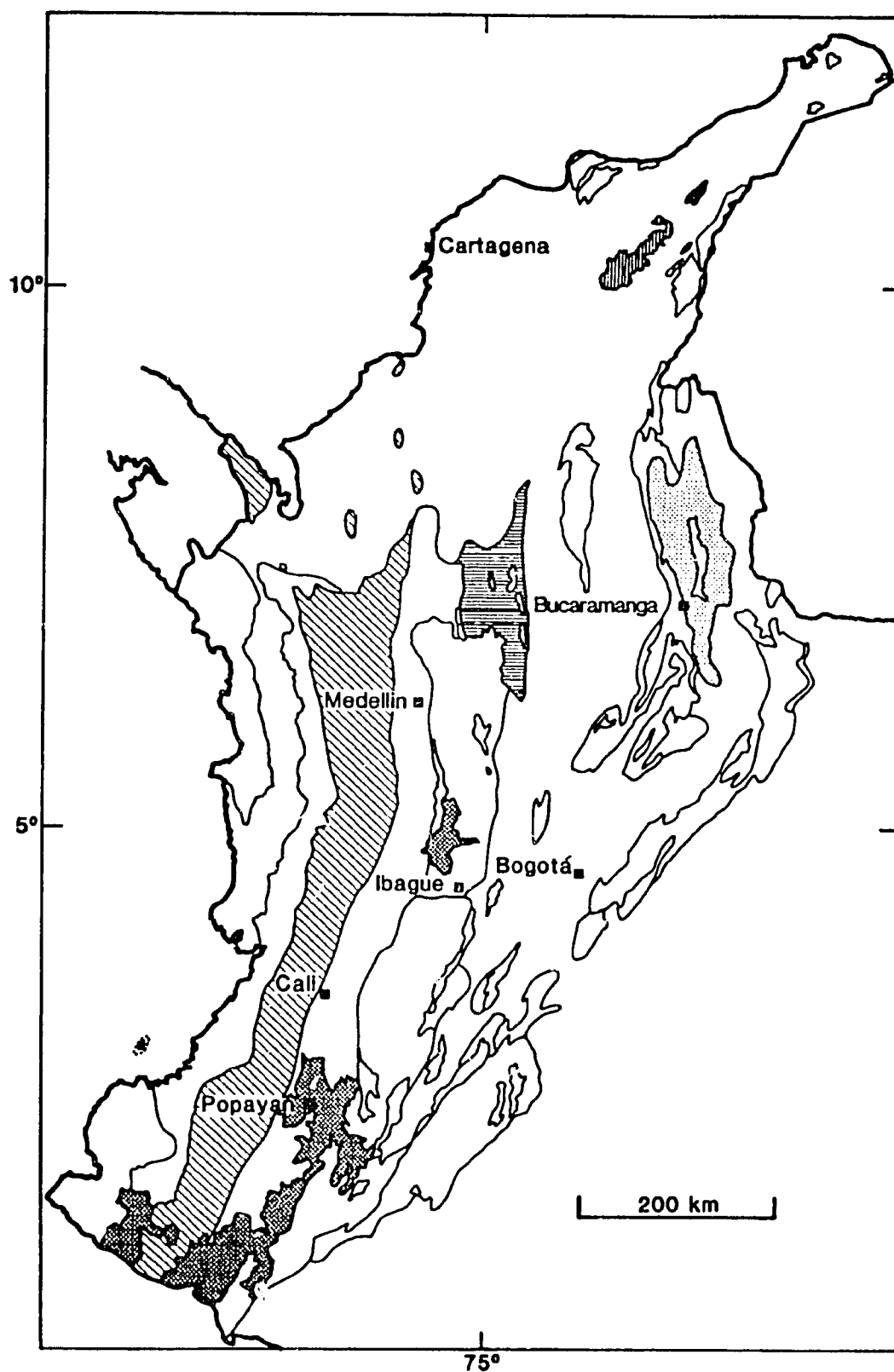


Figura 4A. Mapa de territorio de recursos minerales para Colombia oeste. Las áreas sombreadas muestran las regiones que se consideran tener un potencial para el hallazgo de un depósito de metal-precioso epitermal, metal base.

Tipos de Metales Epitermales Preciosos, Cuarzo-Adularia. Territorios

Descripción de los Depósitos

Los depósitos de venas al aire libre y bases asociadas de sulfuros de plata complejos, sulfuros simples de metal-base, y algunas fisuras abiertas de oro natural con piritita, están corrientemente rellenas con cuarzo en franjas (ocasionalmente cuarzo amatistino). La alteración de la roca estéril consiste principalmente de illita, adularia, clorita, epidota y calcita. Los depósitos se encuentran con mayor frecuencia dentro de, o adyacentes a rocas volcánicas no marinas y/o intrusiones "hypabyssal" (Cox, 1983).

Características de Grado y Tonelaje

El cincuenta por ciento de los depósitos epitermales de oro-cuarzo-adularia contienen 0.7 millones de toneladas o más; el diez por ciento contiene 14 millones de toneladas o más. Los grados oro varían de 4.3 g/t o más para la mitad más rica de los depósitos a 19 g/t o más en el décimo más rico de los depósitos. Los grados oro varían de 130 g/t o más en la mitad más rica, mientras que el diez por ciento de los depósitos contiene 600 g/t o más. Los grados cobre son bajos, y los grados zinc reportados son bajos en la mayoría de depósitos, pero el diez por ciento de los depósitos contienen un 5.1 por ciento o más de zinc (Singer y Mosier, 1983a).

Medio Ambiente Geológico en Colombia

Los depósitos epitermales con vetas-fisura de oro-plata se encuentran muy esparcidos en la América del Sur, encontrándose los depósitos más grandes en rocas volcánicas no-marítimas intermedias a silíceas. Existen otros depósitos pequeños adyacentes o periféricos a y/o dentro de las partes superiores de bases ígneas félsicas. Los ambientes volcánicos no-marítimos favorables para depósitos epitermales se encuentran en la Península Guajira, cerca de Manizales, y en las zonas cercanas y vecinas de Popayan.

Recomendaciones y Guías de Exploración

Los campos volcánicos de la era Terciaria-Cuaternaria deberían clasificarse como áreas de exploración de la más alta prioridad. Áreas de intrusiones sub-volcánicas en conjunto con sistemas de disyunción directa son objetivos similares. Estructuras comúnmente favorables incluyen grandes fallas normales, zonas desyuntivas en cadena alrededor de calderas, y cuencas fundamentales. Cientos de metros de zonas alteradas existen comúnmente alrededor de estos depósitos caracterizados por piritita-clorita-epidota y carbonatos ricos en hierro. Utilizando técnicas químicas húmedas, debería analizarse a las rocas modificadas en busca de oro, plata, arsénico, antimonio y zinc; los sedimentos pluviales deberían ser analizados en busca de arsénico, antimonio, zinc y mercurio. El oro en estas clases de depósitos es, generalmente, de grano muy fino, que puede ser detectado únicamente mediante análisis químicos, explicándose consecuentemente, el porque se les pasaba por alto en la antigüedad al ser vistos por los investigadores primitivos.

Figura 4B. Un resumen de información descriptiva pertinente, tonelaje y características de grado, ambientes geológicos y guías de exploración para tipos de metales preciosos epitermales, depósitos de metal básico en Colombia.

tipo volcánogeno de oro, ofrecen la probabilidad más grande de encontrar un depósito de tamaño suficiente para cumplir con los criterios económicos iniciales. Las características geológicas para cada uno de estos tres tipos de depósito se determinan del modelo apropiado de depósitos metálicos (Cox, 1983a; Hodges, Zambrano-Ortiz, y colaboradores, 1984). Los cursos de recursos minerales caracterizados por los medio ambientes geológicos permitidos para estos tipos de depósitos auríferos están enumerados en la Tabla 4. Si asumimos que los hallazgos conocidos de depósitos de alto grado de oro en vitas aumenta las oportunidades de encontrar un gran depósito minero abierto, entonces los terrenos Cajaniarca

y Romeral (Figura 1) en el norte de la Cordillera Central constituyen las mejores localizaciones geográficas para centrar el esfuerzo de la exploración, debido a que los mismos contienen un gran número de depósitos de vetas auríferas cerca de Ibagué y en los alrededores, y hacia el norte de Manizales (Figura 3). Una decisión para centrar la atención en la parte norte de la Cordillera Central limita los modelos apropiados de depósitos metálicos a los depósitos de oro volcánogeno y epitermal, de cuarzo-adularia metal precioso. La Tabla 3 y la figura 4 enumeran las mejores directrices de exploración geo-química y geofísica que pueden ser combinadas

con los atributos geológicos dados en el modelo de depósito metálico para establecer un enfoque de como explorar los cursos.

Los terrenos geológicos de Cajamarca y Romeral fueron determinados a partir de la información de entrada para la evaluación (Tabla 1) para poder tener el marco de trabajo geológico adecuado donde explorar en busca de depósitos volcanogénicos y epitermales de metales preciosos basados en varios criterios descriptivos. Estos criterios y analogías en cualquier otro lugar en la Cordillera Americana son los siguientes:

1. El terreno Romeral contiene una mezcla muy antigua transformada, de rocas volcánicas marinas, fragmentos ofiolíticos, y de sedimentos oceánicos de esquistos azules y mesozoicos (incluyendo lutita y arenisca con estratos calcáreos; en los lugares donde se han transformado, o sufrido alguna metamorfosis, las rocas con esquistos de mica y esquistos grafiticos) con intrusiones de rocas igneas cal-alcálinas post-acrecimiento terciario y cuaternario (Figura 3). En otras partes de la Cordillera de las Américas, el oro epitermal se encuentra en una localización tal (por ejemplo, el depósito McLaughlin, en California).
2. El terreno Cajamarca contiene una corteza continental Precambica, compuesta principalmente de rocas igneas cal-alcálinas altamente transformadas y de rocas sedimentarias póliticas. Los esquistos paleozoicos de cuarzo-sericítico, esquistos grafiticos, esquistos verde, cuarcita, y anfibolita descansan sobre la Precambica, sugiriendo tales composiciones la existencia de una composición original de andesita intercalada a rocas volcánicas marinas riolíticas, intrusiones máficas, lutita, variedad de cuarzo químico (?), y rocas carboníferas. Rocas de composición similar en la parte sudeste California, en el norte de México y en la capa canadiense, contienen numerosos depósitos auríferos de gran tonelaje donde las rocas sedimentarias paleozoicas y mesozoicas con componentes importantes volcanogénicos descansan sobre rocas metamórficas. Rocas plutónicas mesozoicas y terciarias, así como rocas volcánicas cuaternarias se encuentran en otros complejos más antiguos.
3. Las áreas geotérmicas activas e inactivas están ampliamente diseminadas a lo largo de una gran parte de la región, probablemente relacionadas con la actividad volcánica andesítica extrusiva e intrusiva desde la época pliocénica a la reciente (Figura 3). Intrusiones en forma de bóvedas similares en complejos volcánicos sub-aéreos comunmente contienen depósitos auríferos importantes, tales como los de la cordillera occidental de México y los Estados Unidos.

TABLA 4.— *Extensiones, o trechos, de los recursos minerales y de los terrenos geológicos permisivos para el hallazgo de depósitos de metales preciosos de tipo volcanogénico y de cuarzo-adularia y como huesped del carbono*

-
- | | |
|---|---|
| 1. Depósitos auríferos en carbono | |
| a. Extensión Sur de la Cordillera Central | Terrenos: Cajamarca
Payande |
| b. Tramo del Valle del Alto Magdalena | Terreno: Payande |
| c. Trench de San Lucas | Terreno: San Lucas |
| 2. Depósitos de metales preciosos epitermales, del tipo cuarzo-adularia | |
| a. Extensión de la Cordillera Occidental | Terrenos: Dagua
Canas Gordas
Cauca
Romeral |
| b. Tramo Cauca-Patia-Romeral | Terrenos: Cajamarca
Cauca
Romeral |
| c. Trench de la Región de Segovia | Terrenos: Puqui
Campamento |
| d. Trench Norte de la Cordillera Central | Terreno: Cajamarca |
| e. Extensión de Pasto y Norte a Popayan, Este de Manizales | Terrenos: Dagua
Cauca
Romeral
Cajamarca
Payande |
| f. Tramo del Valle del Alto Magdalena | Terreno: Payande |
| g. Guajira 1 - Tramo Norte | Terreno: Alta Guajira |
| h. Guajira - Tramo Sur | Terreno: Cosinas |
| i. Santa Marta Trench SE | Terreno: Santa Marta - Sud-Este |
| j. Santa Marta Trench Sur | Terreno: Santander |
| k. Extensión Masifa de Santander | Terreno: Santander |
| 3. Depósito aurífero volcanogénico | |
| a. Trench Baudo-Gorgona | Terrenos: Baudo
Gorgona |
| b. Extensión de la Cordillera Occidental | Terrenos: Dagua
Canas Gordas
Cauca
Romeral |
| c. Extensión Merida Andes | Terreno: Santander |
| d. Cordillera Central | Terreno: Cajamarca |
-
4. Los datos geoquímicos procedentes de los sedimentos pluviales y de rocas coleccionadas en estos terrenos contienen elementos específicos tales

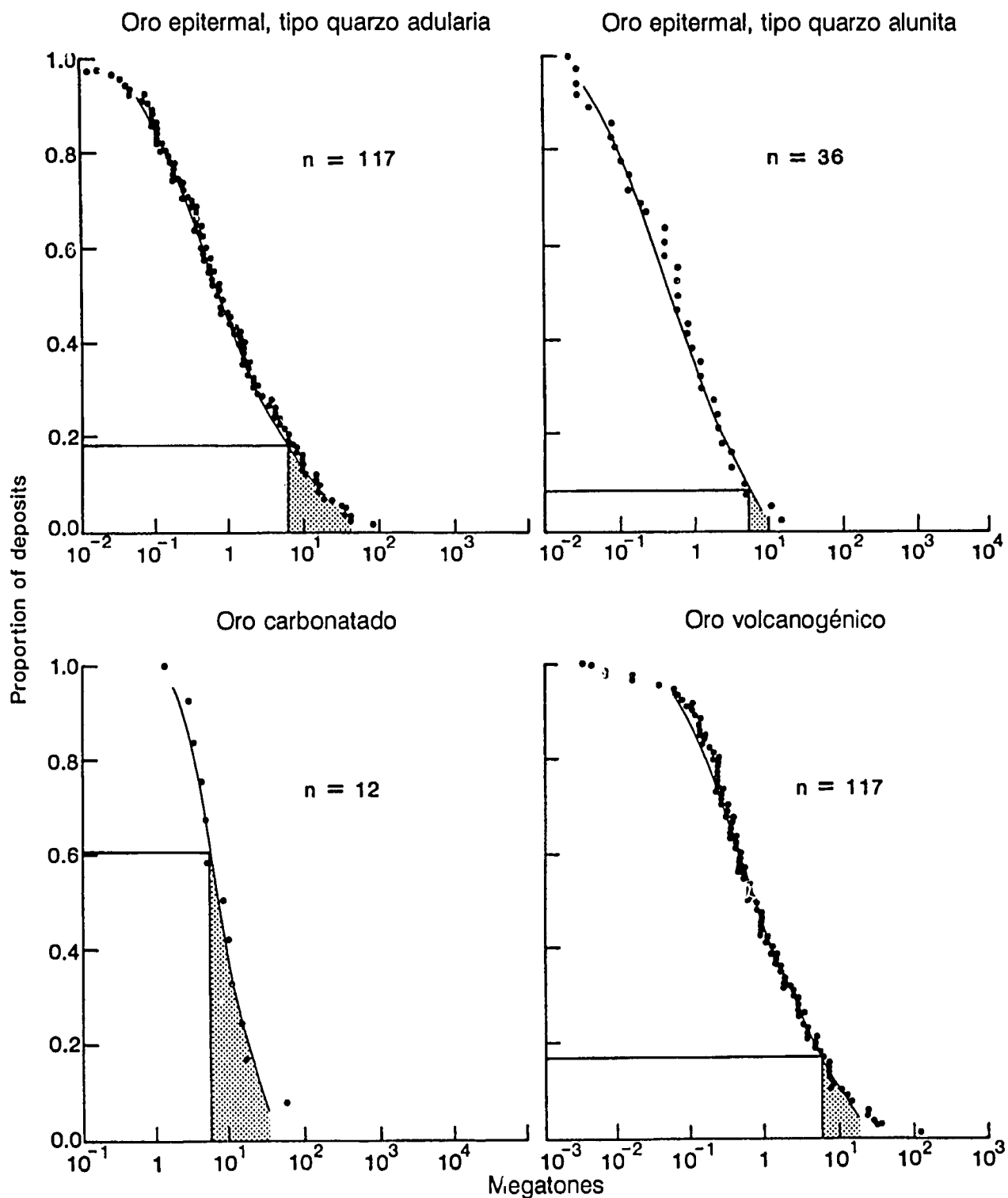


Figura 5. Modelos de tonelaje de frecuencia acumulativa para cuatro tipos de depósitos de oro. Las áreas sombreadas indican la proporción de cada tipo de depósito inferido con tonelaje adecuado para el empleo de un gran número de personas en una operación minera de bajo costo. (Segun Singer and Mosier, 1983a)

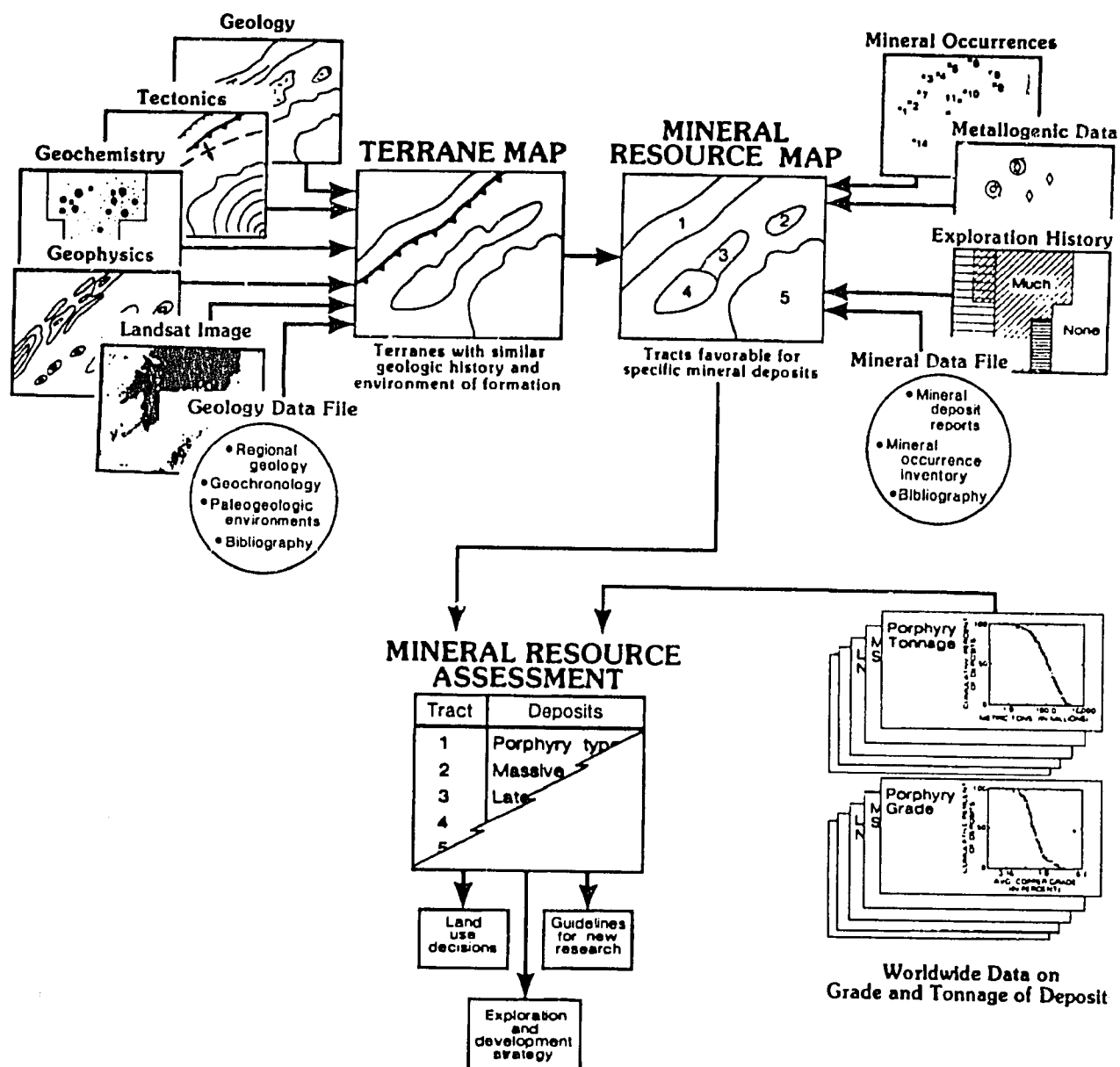


Figura 6. Datos utilizados y productos derivados del mapa para una evaluación completa de los recursos minerales de Colombia.

como plata y arsénico de los que se cree son pioneros en la búsqueda de sendas hacia depósitos de oro.

5. El hallazgo de muchos depósitos de metales preciosos (Figura 3) así como de depósitos de mercurio y antimonio que son comunmente relacionados en el aspecto especial con depósitos de oro.

En resumen, una evaluación completa de los recursos minerales en Colombia, combinada con datos sobre depósitos minerales, geológicos, geoquímicos, geofísicos y de economía metalúrgica (Figura 6) para dar lugar a un mapa de terreno geológico y mapas de extensiones de

recursos minerales para poder identificar las áreas favorables al hallazgo de tipos específicos de depósitos de minerales.

EVALUACION DE LOS RECURSOS MINERALES EN CENTRO AMERICA

Un plan de desarrollo de largo alcance para la explotación de los recursos minerales en Centro América es un importante componente para la vitalidad económica de la región. La industria minera no ha sido histórica-

mente una fuerza económica importante en Centroamérica y, en la actualidad, exceptuándose a Honduras, la industria de los minerales contribuye en menos de un 1% al producto nacional bruto de cada país (Cunningham y colaboradores, 1984). Debido, en cierta escala, a esta pequeña contribución de la minería, existe muy poca información actualizada disponible sobre recursos minerales en la región (Salas, 1982). El método de evaluación de los recursos utilizado por el USGS en Colombia tiene un valor considerable en el sentido de que establece una fuente de información actualizada completa mediante la utilización de una recopilación de los datos existentes sobre los cuales puede fundamentarse la planificación y desarrollo de los recursos minerales.

El complejo marco de trabajo geológico en la América Central es, en muchos aspectos, similar al de Colombia occidental. Las rocas en Centro América representan una extensión noroccidental de aquellas de los Andes del norte y cuencas que intervienen en Colombia, y la extensión sureste, de aquellas de México. Las rocas continentales Pre-mesozoicas de una base eratóica en la parte norte de la América Central se extienden desde la parte sur de México hasta Guatemala, Belice, Honduras, la parte norte de El Salvador, y la parte norte de Nicaragua (Kesler, 1978). Hacia el sur, el basamento consiste de rocas oceánicas (Case, 1974). Los arcos isleños se desarrollaron sobre esas mismas rocas base con ocurrencia volcánica en varios ciclos desde la época tardía mesozoica hasta el presente (Kesler, 1978). La actividad volcánica más extensa tuvo lugar en las épocas oligocena y miocena. La configuración tectónica completa actual puede ser generalizada en una serie de distintas provincias geológicas a las cuales pueden relacionarse los hallazgos metalíferos conocidos. (Figura 7).

Los depósitos minerales conocidos en la América Central muestran una variación sistemática en la composición metálica—(Kesler, 1978). Estas variaciones parecen estar relacionadas con cambios en la composición química de rocas del basamento y próximas a la superficie en los varios terrenos geológicos que comprenden los depósitos. Cumming y Kesler (1976), indicaron que los depósitos minerales en la América Central se agotaron en lo que al plomo se refiere, y relativamente están enriquecidos en oro y cobre desde el noroeste hasta el sudeste. Ellos indicaron que los distritos en el occidente de Guatemala, tales como Chiantla y Coban contienen principalmente plomo y zinc con bajas concentraciones de plata. Estas áreas cuentan con rocas subterráneas carboníferas de la época paleozoica temprana. La plata es considerablemente más importante hacia el sudeste en El Mochito y El Rosario, en Honduras, y en Monte Cristo, en El Salvador. Depósitos auríferos en la Libertad, y depósitos de cobre en Rosita, en Nicaragua, tienen un basamento de sedimentos marinos clásticos desde la edad mesozoica a la terciaria, y lavas andesito-basáltico (Fer-

encic, 1971). Únicamente ha habido una producción menor de plomo en Panamá, en donde no existen rocas gruesas, antiguas de la corteza continental; sin embargo, Panamá contiene depósitos muy grandes de cobre tipo porfírico en Cerro Colorado y Petaquilla.

La literatura publicada contiene una cantidad considerable de información sobre la geología regional, petroquímica ígnea, y tectónica de la América Central. Junto con la información disponible sobre depósitos minerales, estos datos permiten inferir y realizar un excelente mapa del terreno geológico sobre el cual se puede basar una evaluación sistemática y detallada de los recursos minerales de la región. Los productos resultantes incluidos en la evaluación, serían: a) los conceptos, tecnologías, e información básica empleados para los propósitos de la evaluación; b) recopilaciones actualizadas sobre geología y los recursos minerales de la región; c) un esbozo de los terrenos geológicos (extensiones de recursos minerales) permisivos para el hallazgo de una gran variedad de minerales estratégicos y críticos, y; d) los métodos de exploración geológica, geoquímica y geofísica aplicables en los ambientes geológicos, geomórficos y climatológicos de Centro América.

RECONOCIMIENTOS

Las metodologías utilizadas en la evaluación de los recursos minerales en Colombia fueron el resultado del trabajo de numerosos geólogos de los Estados Unidos, pertenecientes y no pertenecientes al Servicio Geológico de los Estados Unidos. Los productos finales de la evaluación de Colombia fueron el resultado de un intercambio amplio y cooperativo entre numerosos científicos de INGEOMINAS y el USGS. Deseamos agradecer a nuestros amigos colombianos por su excelente ayuda y hospitalidad.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Becker, G. F., 1888, Depósitos de mercurio en la vertiente del Pacífico: Monografía 13 del Servicio Geológico de los Estados Unidos, 486 p.
- Berger, B. R., y Eimon, P. I., 1983, Modelos conceptuales de depósitos epitérmicos de metales preciosos: Simposio de Camerun sobre Depósitos No convencionales: New York, Instituto Americano de Ingenieros en Minas y Metalúrgicos, p. 191-205.
- Buchanon, L. J., 1980, Controles de minerales en depósitos verticales, Guanajuato, México: Instituto Americano de Ingenieros en Minas, Preimpresión 80-82, 26 p.
- Case, J. E., 1974, Corteza oceánica forma el basamento de Panama Este: Boletín de la Sociedad Americana de Geología, v. 85, no. 4, p. 645-652.

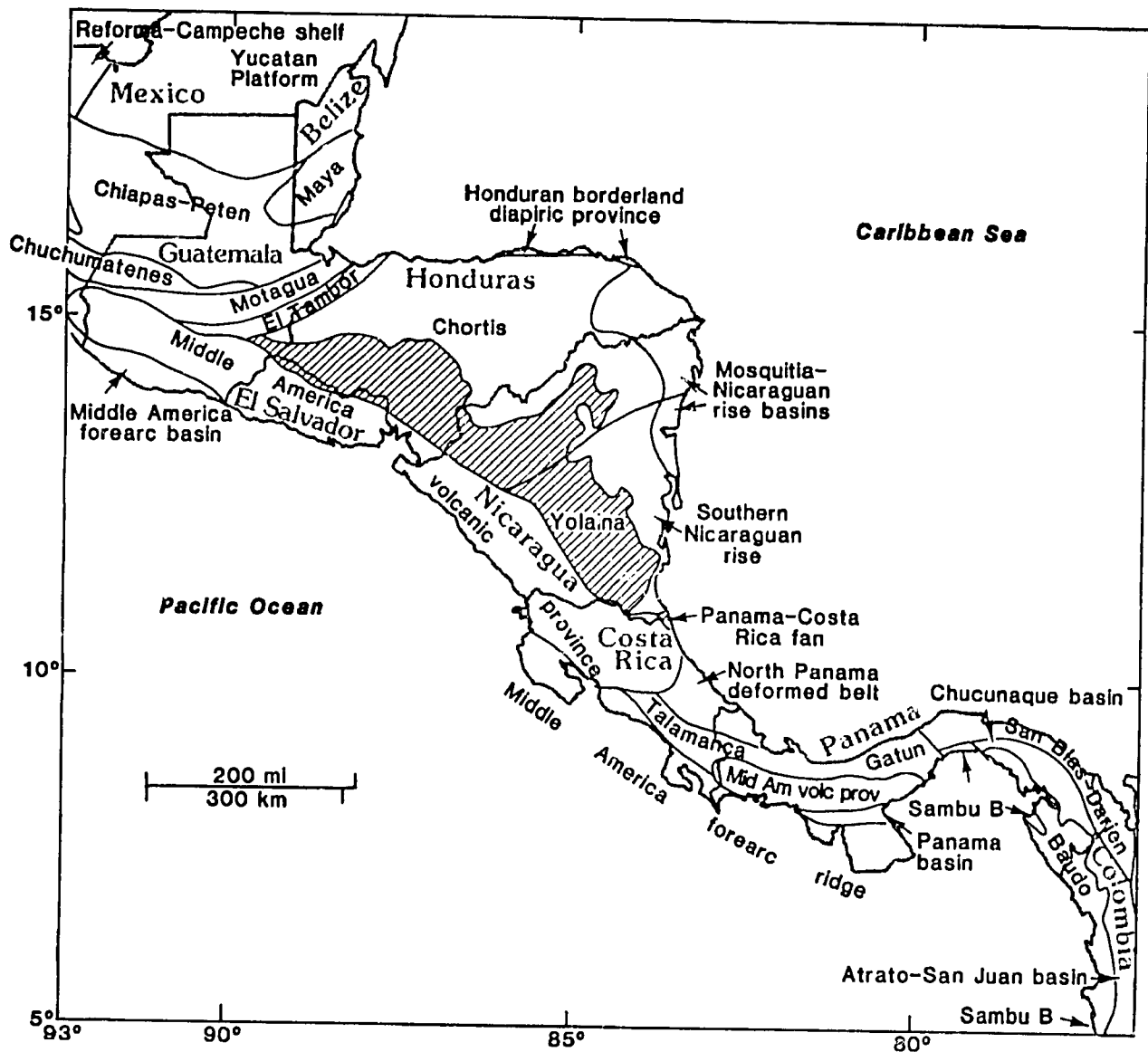


Figura 7. Mapa de los terrenos geológicos en America Central (segun Case, Holcombe, y Martin, 1984). El área de líneas en los terrenos Yolaina y Chortis muestran la distribución de las rocas volcánicas cenozoicas.

- Case, J. E., Holcombe, T. L., y Martin, R. G., 1984, Mapa de las provincias geológicas en la región del Caribe: Sociedad Geológica de América, Memoria 162, 1-30 p.
- Cox, D. P., ed., 1983a., Evaluación de los recursos minerales de Colombia por el Servicio Geológico de los Estados Unidos-INGEOMINAS: Modelos de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 83-423, 74 p.
- 1983, Evaluación de los recursos minerales de Colombia por el Servicio Geológico de los Estados Unidos-INGEOMINAS: Modelos de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 83-0901, 32p
- Cumming, G. L., y Kesler, S. E., 1976, Fuente de plomo en la mineralización Centro Americana y del Caribe: Cartas Científicas del Planeta Tierra, v. 31, p. 262-268.
- Cunningham, C. G., Fary, R. W., Jr., Guffanti, M., Laura, D., Lee, M. P., Master, C. D., Miller, R. L., Quinones M. F., Peebles, R. W., Reinemund, J. A., y Russ, D. P., 1984, Recursos y peligros de agua y tierra en Centro América: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Circular 925, 40 p.
- Ferencic, A., 1971, Provincias y épocas metalogénicas en el sur de la América Central: Deposito Mineralium, v. 6, p. 77-88.
- Hodges, C. A., Cox, D. P., Singer, D. A., Case, J. E., Berger, B. R., y Albers, J. P., Zambrano-Ortiz, F., Etayuo-Serna, F., Barrero-Lozano, D., Lozano-Quiroga, H., Espinosa-Baquero, A., Gonzales, Irequi, H., Orrego-Lopez, A., Arias-Tauta, A., Cedeno-Ochoa, C., Pullido-Ulloa, O., Murillo-Rodriguez, A., José-Dias, M., Duque-Caro, H., Vargas-Higuera, R., Nunez-Tello, A., Alvarez-Aguadelo, J., Ropain-Ulloa, C., Buenaventura-Arango, j., Mendoza-Forero, H., Rodriguez-Sierra, G., y Jaramillo-Cortes, L.,

- 1984: Servicio Geológico de los Estados Unidos — INGEOMINAS: Evaluación de los recursos minerales de Colombia: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 84-0345, 348 p.
- Kesler, S. E., 1978, Metalogénesis de la Región Caribeña: *Journal, Sociedad Geológica de Londres*, v. 135, p. 429-441.
- Salas, G. P., 1982, Estudio preliminar de los recursos minerales de América Latina, *en* Whitmore, F. C., y Williams, M. E., Editores, Recursos para el Siglo XXI: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Documento Profesional 1193, p. 183-191.
- Singer, D. A., y Mosier, D. L., editores, 1983a. Modelos de depósitos minerales de tonelaje-grado: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 83-062, 102 p.
- Singer, D. A., y Mosier, D. L., editores, 1983b, Modelos de depósitos minerales de tonelaje-grado, II: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 83-0902, 103 p.
- Steven, T. A., y Ratte, J. C., 1965, Control geológico y estructural de los depósitos minerales en el Distrito de Creede, Montañas de San Juan, Colorado: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Documento Profesional 487, 90 p.
- Wandke, A., y Martinez, J., 1928, El distrito minero de Guanajuato, Guanajuato, Mexico: *Geología Económica*, v. 23, p. 1-44.

COAL RESOURCE ASSESSMENT IN CENTRAL AMERICA

By Edwin R. Landis

A coal-resource assessment is an analysis of all data concerned with an area's coal resources and reserves with the objective of reaching a judgment about the geologic nature and economic potential of the coal resources and reserves of a particular area (Wood and others, U.S. Geological Survey Circular 0891, "Coal Resource Classification of the U.S. Geological Survey", 1983).

An assessment is not the same as an estimate, which is a determination of the amount of coal in an area. An estimate, or quantity judgment, is only one of many types of data needed for assessment. For example, information about the quality of the coal is generally vital to assessment. Because assessment is based on the data available at a particular time, a new assessment, or reassessment, may be needed when a sufficient amount of new data becomes available. For this reason, many, or most, assessments are dated. An example is U.S. Geological Survey Bulletin 1412 "Coal Resources of the United States, January 1, 1974."

An assessment can only be as complete as the data used for the analysis. One of the virtues of an assessment is the fact that in addition to analyzing available data, the assessment will usually show obvious deficiencies in the data. Data bases may be deficient in types of data, in quantity and quality of data, and in the distribution of available data. An example of an assessment that showed data deficiencies, and proposed methods that would remedy the deficiencies, is U.S. Geological Survey Project Report IR CS-25, "Coal in Costa Rica, A Progress Report (1981)."

In most cases, the sequence of coal exploration and the succeeding studies usually present the data needed for coal assessment. The sequence of studies can begin with a pre-reconnaissance stage, during which the presence or absence of coal is established, and end with an exploitation, or mining stage. The coal exploration stages in which the U.S. Geological Survey has extensive experience can be defined as follows:

Reconnaissance Stage. The objective of this stage is the establishment of the presence of coal in a

geographical area and the gathering, compilation, and synthesis of enough information to allow reasonable inferences to be made about the location and general distribution of potential coal-bearing rocks and coal beds in the area.

Early Exploration Stage. Once the presence of coal in an area has been established or reasonably inferred, a research stage is undertaken during which the pre-existing data base is collated and evaluated to determine the feasibility of proceeding with the exploration using drill and geophysical survey techniques. The aim of this stage, therefore, is to make reliable assumptions as to the likely number, depth, extent, quality, and commercial potential of coal seams within the prospect. The existing information may be supplemented by carrying out geological reconnaissance mapping, using both photogeological studies and ground surveys, to assist in the selection of drilling targets based on geological criteria.

Exploration Stage 1 (regional evaluation). During this stage, the correlation and lateral continuity of the coal seams and strata is determined as well as the possible exploitation methods and utilization potential for various possible end uses. This is achieved by the drilling of a number of boreholes, mostly cored, on a widely spaced drill pattern. Surface geophysical techniques may also be used, to assist in defining the geological structure. Down-hole instrumental logging techniques may also be used. The stage is completed when potentially economic coal beds have been positively located and defined and resources calculated to indicated status.

Exploration Stage 2 (precommercial evaluation). In Stage 1, the geological structure was delineated and seams correlated. Information obtained on the quality and quantity of reserves as well as possible mining and preparation methods was, however, indicative only. In this next stage, the information must be raised to higher confidence levels to provide the basis for evaluation of mining methods, costs, and potential markets by mining engineers and mining econo-

mists. The aim of this stage is, therefore, to make a confident estimation of coal resources, coal quality, mining conditions, and (for potential surface mines) overburden quantities for preliminary mine and production planning, costing studies, and market survey. This is usually achieved by an increased density of drilling of small-diameter cored holes, the cores being tested on a probable mining section calculation of the resources to a higher status.

Coal is known or reported to be present in many areas in Central America. In many, or most, of the areas where coal is reported, pre-reconnaissance and (or) Reconnaissance Stage studies are needed. In very few areas, Early Exploration Stage studies are warranted. To

the author's knowledge, only a part of the Baja Talamanca area of Costa Rica is, or soon will be, ready for an Exploration Stage 2 study.

A preliminary unpublished coal resource estimate for Central America, made by G. H. Wood, Jr., of the U.S. Geological Survey, totals 355 million short tons, much of which is in the hypothetical resource category. No resources were estimated for many of the reported coal localities because too little, or no, data are available. Peat, the precursor to coal, is known to be present in Costa Rica and is very likely present in some other areas in Central America. To date, interest in exploration for peat in Central America is practically nil, but may be warranted, particularly from the standpoint of an overall energy-resource inventory.

EVALUACION DE LOS RECURSOS CARBONIFEROS EN AMERICA CENTRAL

Por Edwin R. Landis

Una evaluación de recursos carboníferos consiste en un análisis de todos los datos relacionados con las reservas y los recursos carboníferos de una zona, con el objeto de determinar la naturaleza geológica y el potencial económico de las reservas y los recursos carboníferos del área (Wood y otros, 1983).

Una evaluación no es lo mismo que una estimación; esta última es una determinación de la cantidad de carbón en un área. Una estimación o una apreciación cuantitativa, es solamente uno de los muchos tipos de datos que se necesitan para una evaluación. Por ejemplo, la información sobre la calidad del carbón, es, en general, esencial para una evaluación. Puesto que la evaluación está basada en los datos disponibles en un momento dado, será necesaria una nueva evaluación, o reevaluación, cuando se logre obtener una cantidad de nuevos datos. Por esta razón, muchas evaluaciones, si no la mayoría, no están al día. Un ejemplo de ello es el Boletín 1412 del Servicio Geológico de los Estados Unidos: "Recursos Carboníferos de los Estados Unidos, 1 de enero de 1974."

Una evaluación no puede ser más completa que los datos que se han utilizado en el análisis. Uno de los méritos de una evaluación es el hecho de que, además de analizar los datos disponibles, la evaluación indica usualmente las deficiencias obvias de los datos. Los bancos de datos pueden tener deficiencias en cuanto a tipos de datos, cantidad y calidad de los datos, y en la distribución de los datos disponibles. Un ejemplo de una evaluación que señaló deficiencias en los datos, y propuso métodos que deficiencias, es el Informe de Proyecto del Servicio Geológico de los Estados Unidos (IR CS-25, "Carbón en Costa Rica, un Informe de Progreso (1981)."

En la mayoría de los casos, la secuencia de exploración carbonífera y los estudios subsiguientes presentan, en general, los datos que se necesitan para la evaluación carbonífera. La secuencia de estudios puede iniciarse con una etapa de pre-reconocimiento, durante la cual se establece la presencia o ausencia de carbón, y se termina con una etapa de explotación o extracción minera. Las etapas de exploración carbonífera en las que el Servicio

Geológico de los Estados Unidos tiene amplia experiencia pueden definirse de la manera siguiente:

Etapas de reconocimiento. El objetivo de esta etapa es establecer la presencia de carbón en un área geográfica y recoger, compilar y resumir suficiente información que permitan sacar deducciones razonables sobre la ubicación y la distribución general de las rocas portadoras de carbón y las capas de carbón en el área.

Etapas de exploración primaria. Una vez que se haya establecido o deducido razonablemente la presencia de carbón en un área, se emprende una etapa de investigación durante la cual los datos preexistentes son cotejados y evaluados para determinar la viabilidad de proseguir la exploración mediante el uso de métodos de perforación y de levantamientos geofísicos. El objetivo en esta etapa es, por consiguiente, establecer suposiciones confiables con respecto al número, profundidad, extensión, calidad y potencial comercial de los filones dentro del área de exploración. La información existente puede suplementarse mediante el mapeo de reconocimiento geológico, empleando tanto estudios fotogeológicos como levantamientos de suelos, con el fin de ayudar en la selección de puntos de perforación basados en criterios geológicos.

Etapas de exploración 1 (evaluación regional). En el curso de esta etapa, se determinan la correlación y la continuidad lateral de los filones y las capas de carbón y también los posibles métodos de explotación y el potencial de utilización para diversos usos finales. Esto se consigue mediante la perforación de varios taladros, en su mayoría con testigo, dentro de una amplia zona de perforaciones. Cabe emplear, asimismo, técnicas geofísicas de superficie, con el fin de ayudar a determinar la estructura geológica. Se pueden emplear también técnicas de registro por instrumentos en agujeros descendentes. Esta etapa queda terminada cuando los yacimientos de carbón que tienen posibilidades económicas han

sido ubicados y determinados y cuando los recursos se calculan al nivel indicado.

Etapas de exploración 2 (evaluación precomercial). En la Etapa 1 se ha determinado la estructura geológica y se han correlacionado los filones. Sin embargo, solamente es indicativa la información obtenida sobre la cantidad y la calidad de las reservas y la posible explotación minera y métodos de extracción. En la presente etapa la información debe llevarse a niveles de confiabilidad mayores para sentar las bases para la evaluación de los métodos de minería, los costos y los posibles mercados. Estas evaluaciones son realizadas por ingenieros mineros y economistas en minería. El objetivo de esta etapa es, por lo tanto, hacer una estimación confiable de los recursos carboníferos, la calidad del carbón, las condiciones de minería y (para posibles minas de superficie) las cantidades excesivas para la minería preliminar y el planeamiento de la producción, los estudios de costo y una investigación del mercado. Esto se consigue usualmente mediante una mayor densidad de perforaciones de agujeros con testigo de poco diámetro. Los testigos del sondeo se prueban en acción minera por un cálculo de los recursos de

una probable sección de extracción minera que es llevada a un estado superior.

Se sabe que hay o se ha informado que existe carbón en muchas áreas de América Central. En muchas o en la mayoría de las áreas donde se ha informado que hay carbón, se necesitan estudios en las etapas de pre-reconocimiento y/o reconocimiento. En muy pocas áreas se justifican estudios en la Etapa de Exploración Preliminar. Según el conocimiento de los autores, solamente una parte del área de Baja Talamanca, en Costa Rica, está lista, o pronto lo estará, para un estudio de Etapa de Exploración 2.

Una estimación preliminar inédita de los recursos carboníferos de Centroamérica, hecha por G. H. Wood, Jr., del Servicio Geológico de los Estados Unidos, da un total de 365 millones de toneladas cortas, muchas de las cuales están en la categoría hipotética de recursos. No se han estimado los recursos en muchas de las áreas donde se ha reportado la existencia de carbón, debido a que hay muy pocos, o no hay, datos disponibles. La turba, el precursor del carbón, se sabe que existe en Costa Rica y muy probable que se encuentre en otras áreas de América Central. A la fecha, casi no hay interés en Centroamérica en la exploración de la turba, pero si puede justificarse, especialmente desde el punto de vista un inventario global de recursos energéticos.

OFFSHORE RESOURCES

By N. Terence Edgar

The experience gained by the U.S. Geological Survey (USGS) in its evaluation of the offshore petroleum potential in many geological settings can be applied to the offshore in Central America.

The USGS has been engaged in marine research for more than 20 years and has a demonstrated capability in investigations relating to oil and gas potential as well as to minerals on the continental shelf.

For more than a decade, the USGS has been engaged in an intensive study of the sedimentary basins offshore of the United States, including Alaska. A relatively broad grid of the order of 50 km line spacing of multichannel seismic data has provided the basis for interpretation of the regional geologic framework. Complementary geologic information was derived from onshore geology, well data, piston cores, and dredging. The combined data formed the basis for evaluation of the petroleum potential in terms of oil and gas resource estimates.

The offshore areas of eastern Central America have been explored, and about 30 wells have been drilled; only one well contains significant quantities of oil. The lack of oil discoveries in this area has been attributed in part to relatively low heat flow and poor porosity at depth. In general, there has been relatively extensive exploration by industry, and additional extensive studies of a regional nature do not appear to be warranted.

This is not the case for the Pacific margin of Central America, where a major basin extends from Guatemala to northern Costa Rica. This basin contains as much as 15 km of sediment but has been tested by only a few wells. Exxon has drilled a single well to about 3,750 m off the coast of Guatemala, but it was dry. No other wells have been drilled in that area, but several wells were drilled off Honduras in 1974. Although these wells apparently had significant shows, no additional wells were drilled. In view of the extent of the area having petroleum potential, a systematic seismic survey of the region would provide the basis for understanding the geologic framework and for evaluating the subsidence and heat-flow history and preparing oil and gas estimates based on all available data. These data and interpretations may provide industry with prospects for exploration activity.

The involvement of the USGS in offshore minerals includes surveys in Alaska and off the west coast of the United States during the 1960's and early 1970's (at present, placer mineral deposits are being sought actively off the U.S. Atlantic coast). The greatest potential in the Alaskan offshore is for gold, platinum, and tin. In Norton Sound, gold prospecting and mining permits cover the entire coastal area out to the limit of State jurisdiction, or 3 miles. Off the Pacific coast, the USGS has studied the potential for gold in relict beaches, buried river channels, and in reworked Pleistocene gravels. In addition, major chromite deposits have been mined from modern and ancient beaches, but offshore resources have not yet been evaluated.

Recently, a systematic evaluation of placer-mineral concentrations has been initiated off the U.S. Atlantic coast. The project deserves attention because of the application of computer analysis and other new mineral extraction and processing techniques to the investigations. For example, reconnaissance sampling is guided using indirect evidence, available placer heavy-mineral depositional models, and other statistical modeling techniques. New high-speed, highly efficient heavy-mineral separation techniques have been developed permitting the rapid processing of a large number of samples. The results of the processing and subsequent numerical analysis are incorporated into data bases where the data can be easily manipulated. This greatly facilitates evaluation of resource distribution and geologic interpretation. In addition, the data bases can be searched, sorted, and updated for a variety of applications, such as economic analysis of resource concentrations.

Separate procedures for reconnaissance analysis of regions and detailed analysis of regions are made where quantitative resource estimates are justified. Analyses include determinations of mineral assemblages, mineral concentration zones, cumulative concentrations, economic concentrations, spatial correlation, statistics of quantity and distribution, and mapping. The results of the analysis are then used to qualitatively and quantitatively define the placer heavy-mineral resources. In addition, the analyses will permit the development of an offshore placer heavy-mineral class system to facilitate interpretation and

extrapolation to deduce the origin and modes of occurrence and to apply computer models for forecasting offshore placer heavy-mineral deposits using indirect evidence.

As in the case for petroleum, the experience the USGS is gaining in the application of modern techniques to the evaluation of offshore mineral concentrations can be applied to the continental shelf off Central America. The Pacific coast of Central America is a region that has potential for placer-mineral deposits based on onshore

mineral occurrence, in particular, gold. An initial review of previous sampling results in the region would guide the overall structure of a reconnaissance high-resolution seismic and sampling program. The results of the analyses of the reconnaissance survey would be used as a guide to detailed sampling and surveying in selected areas. The detailed surveys would be planned in such a way that results will be statistically valuable in estimating possible resources.

RECURSOS DE AGUAS AFUERA

Por N. Terence Edgar

La experiencia adquirida por el Servicio Geológico de los Estados Unidos en esta evaluación del potencial de petróleo en recursos de aguas afuera en muchas estructuras geológicas pueden ser aplicadas a los recursos de mar adentro en América Central.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos se ha comprometido en investigaciones marinas por cerca de 20 años y ha demostrado capacidad en investigaciones, relacionadas con potencial de petróleo y gas así como en minerales en la plataforma continental.

Por más de una década, el Servicio Geológico de los Estados Unidos se ha comprometido en un estudio intensivo de recursos de aguas afuera de las cuencas sedimentarias de los Estados Unidos, incluyendo Alaska. Una relativamente extensa red del orden de los 50 km de líneas separadas de datos multicanales sísmicos ha suministrado las bases para la interpretación de la estructura geológica regional. Información complementaria geológica se ha derivado de la geología continental, datos de pozos, sondeos de testigo y dragado. Los antecedentes combinados forman la base para la evaluación del potencial del petróleo en terminos de recursos estimados de gas y aceite.

Las áreas aguas afuera del oriente de América Central han sido exploradas, y cerca de 30 pozos han sido perforados; solamente un pozo contiene cantidades significativas de petróleo. Los descubrimientos de la falta de petróleo en esta área han sido atribuidos en parte al flujo de temperatura relativamente bajo y la mala porosidad en la profundidad. En general, ha habido relativamente extensa exploración por la industria, y no se justifican estudios adicionales extensos de naturaleza regional.

Este no es el caso para margen Pacífico de América Central, en donde una cuenca mayor se extiende desde Guatemala hasta la parte norte de Costa Rica. Esta cuenca contiene mucho más de 15 km de sedimento pero ha sido analizada mediante solamente algunos pozos. Exxon ha perforado un único pozo de cerca de 3.750 m fuera de la costa de Guatemala, pero estaba seco. No han sido perforados otros pozos en esta área, pero varios pozos fueron perforados lejos de Honduras en 1974. Aunque estos pozos aparentemente mostraban ser significativos, no se perforaron más pozos. En vista de lo

extenso del área de potencial petrolero, una investigación sísmica sistemática de la región proveería las bases de entendimiento del marco geológico y la evaluación del bajo flujo de temperatura y la preparación de los estimados de gas y petróleo basados en todos los datos disponibles. Estos datos y las interpretaciones podrían proveer a la industria de probabilidades para la actividad de exploración.

El compromiso del Servicio Geológico de los Estados Unidos en minerales aguas fuera incluye estudios en Alaska y fuera de la costa oeste de los Estados Unidos durante los sesentas y principio de los setentas (en la actualidad, depósitos de placeres minerales se buscan activamente fuera de la costa atlántica de los Estados Unidos). El gran potencial aguas fuera de Alaska es oro, platino y estaño. En Norton Sound, la exploración y minería de oro permite cubrir el área completa de la costa hasta el limite de la jurisdicción del estado, o 3 millas. Fuera de la costa del Pacífico, el Servicio Geológico de los Estados Unidos ha estudiado el potencial para oro en playas abandonadas, canales de río enterrados, y en gravas pleistocenas retrabajadas. En adición, depósitos mayores de cromita han sido explorados en playas antiguas y modernas, pero los recursos de aguas afuera todavía no han sido evaluados.

Recientemente, una evaluación sistemática de las concentraciones de placeres minerales ha sido iniciada fuera de la costa atlántica de los Estados Unidos. El proyecto merece atención por la aplicación del análisis computarizado y la extracción de otros minerales nuevos y técnicas de procesamiento para la investigación. Por ejemplo, muestreo de reconocimiento es guiado usando evidencia indirecta, placeres disponibles de modelos de depósito de minerales pesados y otras técnicas estadísticas de modelos. Una técnica muy eficiente de alta velocidad de separación de minerales pesados ha sido desarrollada, lo que permite el rápido proceso de un gran número de muestras. Los resultados del proceso y los subsecuentes análisis mineralógicos están incorporados dentro de las bases de los antecedentes, donde los datos pueden ser fácilmente manipulados. Esta evaluación facilita grandemente la distribución de recursos y la interpretación geológica. En adición, las bases de los

detalles pueden ser investigados, adaptados, y actualizados para una variedad de aplicaciones, tales como análisis económico de recursos de concentración.

Procedimientos separados para análisis de reconocimiento de las regiones y análisis detallado de las regiones se han hecho en donde los estimados cuantitativos de los recursos son justificados. El análisis incluye determinación de grupos de minerales, zonas de concentración de mineral, concentraciones acumulativas, concentraciones económicas, correlación de espacio, estadísticas de distribución y cantidad, y mapeo. Los resultados del análisis se usan entonces, para definir cual y cuantitativamente los recursos de placeres minerales pesados. En adición, los análisis permitirán el desarrollo de un placer de minerales pesados de aguas afuera, clase de sistema para facilitar la extrapolación e interpretación para deducir el origen y modos de ocurrencia y para aplicar modelos de computadora para pronosticar placeres de

depósito de minerales pesados de aguas afuera usando evidencia indirecta.

Como en el caso del petróleo, la experiencia que el Servicio Geológico de los Estados Unidos está adquiriendo en la aplicación de técnicas modernas para la evaluación de concentraciones de mineral de aguas afuera, puede ser aplicable a las capas horizontales de roca fuera del continente de America Central. La costa del Pacifico de America Central es una región que tiene potencial para depósitos de placeres minerales basados en ocurrencia de mineral de aguas afuera, en particular, oro. Una revisión inicial de los resultados de muestreo previos en la región guiarían a toda la estructura de un programa de resolución alta de reconocimiento de muestreo sísmico. Los resultados del análisis del estudio de reconocimiento podrían ser usado como una guía para detallar el muestreo y la topografía en áreas selectivas. Los estudios detallados serían planeados según el resultado sea valioso estadísticamente para estimar posibles fuentes de recursos.

MINERALS AND AGRICULTURE IN CENTRAL AMERICA

By Thomas D. Fouch, James B. Cathcart, Richard A. Sheppard, and David Z. Piper

As agricultural workers throughout the world attempt to increase crop and animal production, greater attention is being given to various mineral materials that function as soil fertilizers, soil amendments, and dietary supplements in animal husbandry. Mineral deposits of chiefly agricultural importance to Central America are phosphate, zeolite minerals, and sulfur. Phosphate is one of the primary compounds used in fertilizers. Sulfur is needed in the synthesis of proteins, vitamins, enzymes and chlorophyll. The seemingly attractive properties of zeolites, including cation-exchange capacity, nitrogen fixation, adsorption, and reversible dehydration, promise increased agricultural productivity, especially in regions where food production is generally low.

The element phosphorus is a necessary growth element in all plants and animals. The world's supply of phosphorus comes from mineral deposits, where it is contained in one of the minerals of the apatite group—a calcium phosphate. About 90 percent of the phosphate mined is used in the fertilizer industry; the rest is used to produce a variety of chemical products.

Phosphate deposits are of three basic types, which in order of importance are (1) marine sedimentary deposits (phosphorites), (2) deposits of igneous origin (apatite), and (3) deposits of guano or deposits derived from guano. About 80 percent of the world's production of phosphate is from sedimentary deposits, 18 percent is from igneous apatite deposits, and only about 2 percent is from guano deposits. Certain factors are common to each of the three types of deposits, and these factors can be used to construct models that will aid in the search for undiscovered deposits.

Marine sedimentary phosphate deposits are the most important of these deposits. Large deposits have formed on continental shelves at low to middle latitudes where clastic sedimentation is minimal and oceanic upwelling is optimal. Areas having these characteristics have existed along the western continental shelves in the trade-wind belts, along the eastern shelves of continents that experience poleward-moving marine coastal currents, and along the equatorial shelves of Mediterranean seas.

Large marine sedimentary phosphate deposits are known in rocks of Late Cretaceous age in Colombia and Venezuela, in rocks of Miocene age in Venezuela and Peru, and in rocks of Oligocene age in Mexico (table 1). In this region of the world, marine sedimentary rocks of these ages should be primary exploration targets. An attempt should be made to determine the paleogeography of these time intervals. The next step could be to construct geologic maps of potentially favorable areas so that rock types characteristic of phosphate deposits could be outlined. Because marine phosphatic rocks commonly contain uranium, radiometric surveys could be useful in delineating areas of interest.

Areas of marine sedimentary rocks of Cretaceous or middle Tertiary ages are somewhat restricted in areal extent in Central America and the Caribbean islands; thus, it is unlikely that phosphate deposits of very large size could be found in those areas. However, even small mines and grinding plants, regardless of deposit type, could produce usable phosphate fertilizer at an affordable price for local use and would decrease dependence on expensive imports.

Igneous apatite deposits in the Caribbean region are known only in the Precambrian Shield area of Venezuela but may be present in Colombia. Airborne surveys should be helpful as an exploration tool.

Carbonatites are plug-like intrusive bodies of calcite that commonly contain small amounts of apatite. The apatite is residually enriched by chemical weathering in a tropical environment. The carbonatites of Brazil are excellent examples of this type of material. According to Simon Rodriguez (written commun., 1984), in Venezuela apatite-rich zones associated with carbonatites have been discovered in the Precambrian shield in Northern Amazonas Territory and Estado Bolivar.

Circular, pluglike bodies can be delineated by side-look radar, gravity, or radiometric surveys. Such surveys can cover large areas rapidly and are particularly effective in tropical areas that are jungle-covered.

Guano is dried excrement of sea birds or bats and is a valuable fertilizer because of its high content of water-

Table 1.—Known phosphate deposits—Caribbean area

Age	Formation name	Location	Deposit type and mineral type	Resources (tons)
Holocene	Unknown	Aruba	Guano derived, Fe, Al phosphate	Thousands
		Curacao	Guano derived, Ca phosphate	Millions (tens)
		Los Roques Island	Guano derived, Ca, Fe, Al	Thousands
		Margarita Island		phosphates
		Mona Island		Thousands
Miocene	Hawthorn	Malpelo Island	Guano derived (cave) Ca phosphate	Thousands
		Florida, Georgia, U.S.A.	Guano derived, Fe, Al phosphate	Thousands
		Estabo Falcon, Venezuela	Marine phosphorite, calcium phosphate	Billions
Oligocene	Capadare	Baja California, Mexico	Secondary, redeposited calcium phosphate	Millions (tens)
Cretaceous	Monterrey	Colombia and Venezuela	Marine phosphorite, calcium phosphate	Billions
Jurassic	La Luna	Mexico, Zacatecas	Marine phosphorite, calcium phosphate	Millions (hundreds)
Precambrian	La Caja	Venezuela	Marine phosphorite, calcium phosphate	Millions (scores)
Unknown	Unknown	Cerro Papayal, Nicaragua	Carbonatite intrusive	No data
			Phosphatic sandstone	Small (?)

soluble phosphorus and nitrogen. Most deposits are small and are found in bat caves or on islands that are or were bird rookeries. Production is only a few thousand metric tons per year. Deposits of bird guano are known from Venezuelan islands in the Caribbean—Los Roques and Margarita. Deposits in bat caves are known from Oaxaca in Mexico, and many deposits may be present elsewhere in the Caribbean region. Deposits derived from guano are more abundant than are the deposits of guano itself. Such deposits on islands in the Pacific and Indian Oceans contain as much as several score millions of tons of phosphate rock. Where guano is underlain by carbonate rock, the soluble phosphate combines with the carbonate to form apatite. Such deposits that contain apatite are known in the Caribbean from the island of Curacao, where resources may be a few million tons, and from Mona Island, where deposits are small—probably tens of thousands of tons. Where the guano is underlain by igneous or volcanic rock, iron and aluminum phosphate deposits are formed; such deposits may contain resources of hundreds of thousands of tons. An example is the deposit of iron and aluminum phosphate on Malpelo Island off the Pacific Coast of Colombia.

Guano or guano-derived deposits are known on several islands in the Caribbean, but except for the deposit at Curacao, they are too small to be economic. Deposits in caves are not known but may be present in the area. Small deposits could be useful as a local source of fertilizer phosphate.

A group of silicate minerals, known as zeolites, has recently been shown to have high potential for applications in a variety of agricultural processes. Encouraging results have been obtained with zeolites that act as slow-release fertilizers for nitrogen and potassium, as carriers for herbicides and pesticides, as traps for heavy metals in soils amended with sewage sludge, and as decaking agents for feed and fertilizer storage. Zeolites added to the diets of swine, poultry, and ruminants have resulted not only in increased body weights and feed efficiencies but also in lower incidence of intestinal dis-

eases. Zeolites are effective in deodorizing and increasing the nutrient content of animal wastes, and they are useful in the removal of toxic ammonia from fish-hatchery waters. Zeolites also have been used as adsorbents in solar refrigeration units in areas where electricity is unavailable or very expensive, so that dairy and animal products can be stored.

The use of natural zeolites in the various agricultural processes probably will not require a new technology or special equipment. Crushed zeolitic material can be applied directly to fields or to the manure accumulations or mixed with normal feedstuffs for livestock. Most applications could be done by hand with, of course, instructions as to the correct amount to be applied and the timing of the applications.

About eight zeolites occur in sufficient abundance in sedimentary deposits to be considered mineable. Clinoptilolite, a generally siliceous and alkali-rich species, is by far the most common zeolite in sedimentary deposits throughout the world. Zeolites occur in rocks that are diverse in age, lithology, and depositional environment, but they are most common in sedimentary rocks that originally contained abundant volcanic glass. The zeolites generally formed during diagenesis by alteration of the vitric material. Most zeolite deposits occur in rocks that are Cretaceous or younger in age. Because of their very small crystal size (commonly less than 20 micrometers), they generally cannot be positively identified in the field. X-ray powder diffraction analysis of bulk samples is the technique generally applied for their identification in sedimentary rocks. This method also permits a semiquantitative estimate of the abundance of the zeolites and associated minerals in the sample.

Zeolites were recognized in sedimentary deposits of Puerto Rico in the 1960's and in southern Mexico in 1972, but most of the reported or known zeolite deposits in the Caribbean countries were discovered in the last decade (table 2). Three areas of Mexico are known to contain large zeolite deposits: (1) clinoptilolite and phillipsite in the Magdalena-Hermosillo area, (2) clinoptilolite in the

Table 2.—Zeolites in sedimentary deposits of the Caribbean

Country	Area	Deposit	Zeolite
Antigua	Near Saint Johns	Tertiary marine tuffs	Clinoptilolite Mordenite
Cuba	Central Cuba	Tertiary marine tuffs	Clinoptilolite Mordenite
Guatemala	South-central Guatemala	Late Tertiary tuffs	Clinoptilolite
Mexico	Magdalena-Hermosillo	Tertiary continental tuffs	Clinoptilolite Phillipsite
	San Luis Potosi-Guanajuato	Tertiary continental tuffs	Clinoptilolite
	Oaxaca-Huajuapán de Leon	Tertiary continental tuffs	Clinoptilolite Mordenite Analcime
Panama	Rio Chiriqui Basin	Tertiary tuffs	Clinoptilolite
Puerto Rico	Near Coamo	Late Cretaceous and early Tertiary volcanoclastic rocks	Clinoptilolite Heulandite Mordenite Analcime Laumontite

San Luis Potosi-Guanajuato area, and (3) clinoptilolite, mordenite, and analcime in the Oaxaca-Huajuapán de Leon area. The zeolite deposits of Puerto Rico have not been studied sufficiently to determine their size and purity, but clinoptilolite, mordenite, analcime, and laumontite have been reported. Cuba apparently has large deposits of clinoptilolite and mordenite. The other Caribbean countries where zeolites are reported or known are Guatemala (clinoptilolite), Panama (clinoptilolite), and Antigua (mordenite and clinoptilolite). All of the zeolites in the Caribbean countries occur in volcanoclastic rocks that are Cretaceous or younger in age. Only the clinoptilolite and mordenite deposits of Mexico and Cuba are known to be mineable. An exploration and assessment program for zeolites in the Caribbean countries could be conducted in three phases.

Phase I should include visits to two or more Caribbean countries where zeolites are known to occur in sedimentary deposits. Such visits would be useful in ascertaining the patterns of alteration in the volcanoclastic rocks and for the formulation of one or more occurrence models that will aid in exploration for zeolites in other Caribbean countries.

Phase II should be conducted in several other Caribbean countries where the occurrence of zeolites is suspected. On the basis of known geology and with the

help of local geologists, Cretaceous and Cenozoic volcanoclastic sedimentary rocks could be sampled. Brief visits interspersed by laboratory studies are necessary to determine the occurrence of zeolites and to assess their grade and extent.

Phase III is intended to be entirely a laboratory study. Selected samples should be further evaluated by X-ray powder diffraction, scanning electron microscopy, and chemical analysis. In addition, cation-exchange capacity and the adsorption capacity of samples for various gases must be determined. These data are used in determining the potential roles the zeolitic materials may play in the broad field of agriculture.

Sulfur is one of the elements essential to life. Both plants and animals contain about as much sulfur as they contain phosphate, which underscores the importance of the element. Soils throughout much of the United States and Latin America are deficient in sulfur because of excessive leaching and intensive agriculture.

Sulfur resources are widespread. Sulfur occurs as the element in volcanic rocks and in the cap rock of salt domes, in the minerals gypsum and anhydrite, as sulfur-bearing metallic minerals, and as organic or inorganic compounds in most fossil fuels. In the Caribbean area, sulfur resources include elemental sulfur in tuffaceous rocks associated with the Andean volcanoes in Colombia, and as a by-product from base-metal smelters in Mexico. Sulfur may be present in the effluents of oil refineries and gas-processing plants.

The use of complex chemical fertilizers which do not contain sulfur necessitates the addition of elemental sulfur to the fertilizer product. These complex fertilizers are very expensive, and, as a result, many individuals may be unable to use them. Sulfur is not only a necessary fertilizer ingredient, it is also essential as sulfuric acid in the manufacture of chemical fertilizers.

Phosphate, zeolites, and sulfur materials have become increasingly important minerals to agriculture and animal husbandry. The development of domestic sources of these minerals by countries would enable them to utilize their own natural resources and to reduce their dependency on foreign sources of expensive chemical fertilizers and animal feeds. As a result, a geologically based program to identify and develop these resources has the potential to significantly increase a country's agricultural productivity.

LOS MINERALES Y LA AGRICULTURA EN AMERICA CENTRAL

Por Thomas D. Fouch, James B. Cathcart, Richard A. Sheppard, y David Z. Piper

Mientras los agricultores de todo el mundo tratan de aumentar las cosechas y la producción animal, cada vez se presta mas atención a los diversos materiales minerales que se utilizan como fertilizantes de suelos y como suplemento dietético en la crianza de ganado. Los yacimientos minerales de mayor importancia en la agricultura de América Central son los fosfatos, los minerales de zeolita y el azufre. El azufre es uno de los componentes principales de los fertilizantes. El azufre se emplea en la síntesis de las proteínas, las vitaminas, las enzimas y la clorofila. Las propiedades útiles de las zeolitas inclusive la capacidad de intercambio de cationes, la fijación de nitrógeno, la absorción y la deshidratación reversible, prometen una mayor productividad en la agricultura, especialmente en regiones en que la producción alimentaria es generalmente baja.

El elemento fósforo es una sustancia necesaria para el crecimiento de todas las plantas y animales. El abastecimiento mundial de fósforo proviene de yacimientos minerales, donde se encuentra en un mineral del grupo de la apatita, a saber: un fosfato de calcio. Cerca del 90 por ciento de los fosfatos minados se emplea en la industria de fertilizantes; el resto se utiliza para producir una variedad de productos químicos.

Los yacimientos de fosfatos se clasifican en tres tipos básicos, cuyo orden de importancia es como sigue: (1) yacimientos sedimentarios marinos (fosforitas); (2) depósitos de origen ígneo (apatita), y (3) depósitos de guano o derivados del guano. Aproximadamente un 80% de la producción mundial de fosfato de calcio proviene de yacimientos sedimentarios, el 18% de depósitos ígneos de apatitas, y un 2% de guano. Algunos factores son comunes en los tres tipos de depósitos. Estos factores pueden ser utilizados para la construcción de modelos que ayudarán a la investigación de yacimientos no descubiertos.

Los yacimientos sedimentarios marinos de fosfato son los más importantes. Grandes yacimientos se han formado en los lechos de roca continentales entre latitudes bajas y medianas en donde la sedimentación clástica es mínima y las marejadas del océano son óptimas. Áreas

con estas características han existido a lo largo de las plataformas continentales occidentales, en las fajas de los vientos alisios, a lo largo de las plataformas orientales del continente que están sujetas a corrientes marinas costeras en dirección a los polos, y a lo largo de las plataformas ecuatoriales del Mediterráneo.

Grandes yacimientos de fosfato sedimentario marinos se encuentran en rocas de la Edad Cretácea Tardía en Colombia y Venezuela, en rocas de la Edad del Mioceno en Venezuela y Perú, y en rocas de la Edad del Oligoceno en México (tabla 1). En esta región del mundo, el objetivo de la exploración deberían ser las rocas de sedimentos marinos de esas Edades. Se debería hacer un intento para determinar la paleogeografía de estos períodos de tiempo. El siguiente paso sería elaborar mapas geológicos de áreas favorables de modo que se puedan delinear las características de tipos de rocas de yacimientos de fosfato. Debido a que las rocas de fosfato marinas contienen uranio, las investigaciones radio-métricas son útiles para delinear las áreas de interés.

Las áreas de rocas sedimentarias marinas del Cretáceo o el Terciario Medio tienen una extensión un tanto restringida en Centroamérica y las islas del Caribe; por consiguiente, es poco probable que en estas áreas se encuentren grandes yacimientos de fosfato. Sin embargo, aún minas y plantas de pulverización pequeñas, sea cual fuere el tipo de yacimiento, podrían producir fosfato fertilizador a un precio razonable para uso local y disminuyendo así la dependencia de importaciones costosas.

Los yacimientos ígneos de apatita en la región del Caribe se conocen solamente en el área del Escudo Precámbrico de Venezuela, pero pudieran existir en Venezuela. Las investigaciones aéreas serían muy útiles como un instrumento de exploración.

Las carbonitas son cuerpos intrusivos tipo tapón de calcita que comunmente contienen pequeñas cantidades de apatita. La apatita es enriquecida en forma residual por intemperización en un ambiente tropical. Las carbonitas del Brasil son excelentes ejemplares de este tipo de material. Según Simón Rodríguez (comunicación

TABLA 1.—Depositos de Fosfatos Conocidos—Area del Caribe

Edad	Nombre de la formación	Ubicación	Tipo de depósito y tipo de mineral	Recursos (tons)
Holoceno	Desconocida	Aruba	Derivado del guano, Fosfato de Fe, Al	Miles
		Curaco	Derivado del guano, Fosfato de Ca	Millones (décimas)
		Isla Los Roques	Derivado de guano, Ca, Fe, Al	Miles Fosfatos
		Isla Margarita	ditto	Miles
		Isla de Mona	Derivados del guano (cueva) Fosfatos de Ca	Miles
		Isla Malpelo	Derivados del guano, Fe, Al	Miles
Mioceno	Hawthorn	Florida, Georgia, Estados Unidos	Fosforita marina fosfato de calcio	Billones
	Capadare	Estado Falcón, Venezuela	Secundario, fosfato de calcio redepositado	Millones (décimas)
Oligoceno	Monterrey	Baja California, México	Fosforita marina, fosfato de calcio	Billones
Cretáceo	La Luna	Colombia y Venezuela	Fosforita marina, fosfato de calcio	Millones (cientos)
Jurásico	La Caja	Mexico, Zacatecas	Fosforita marine, fosfato de calcio	Millones (señales)
Precámbrico	Desconocida	Venezuela	Carbonita intrusiva	no hay datos
Desconocida	Desconocida	Cerro Papayal Nicaragua	Arenizca fosfática	Pequeña (?)

escrita, 1984), en Venezuela se han descubierto zonas ricas de apatita asociadas con carbonitas en el Escudo Precámbrico en el Territorio de Amazonas Septentrional y en el Estado de Bolívar.

Cuerpos redondos como tapones pueden ser delineados por radar lateral, gravedad o investigaciones radiométricas. Estas investigaciones pueden cubrir rápidamente áreas grandes y son especialmente eficaces en áreas tropicales que están cubiertas por selvas.

El guano es excremento seco de aves marinas o murciélagos y es fertilizante valioso por su alto contenido de fósforo y nitrógeno solubles en agua. La mayoría de los depósitos son pequeños y se encuentran en cuevas o en islas que eran o son criaderos de aves. La producción alcanza solamente unos miles de toneladas métricas por año. Los depósitos de guano de aves se conocen en las islas de Venezuela en el Caribe, a saber: Los Roques y Margarita. Los depósitos en las cuevas de murciélago se encuentran en Oaxaca, México, y muchos otros depósitos se dan en otras partes de la región del Caribe.

Los depósitos derivados del guano son más abundantes que los propios yacimientos de guano. Tales depósitos en islas en los Océanos Pacífico e Indico contienen millones de toneladas de rocas de fosfato. Cuando rocas de carbonatos están subyacentes al guano, los fosfatos solubles se combinan con el carbonato para formar apatita. Esos depósitos que contienen apatita se encuentran en el Caribe en la isla de Curacao, en donde los yacimientos podrían alcanzar millones de toneladas y la isla Mona, en donde hay depósitos pequeños, probablemente décimos de miles de toneladas. Un ejemplo es el yacimiento de fosfato de hierro y de aluminio en la isla de Mapelo, en la costa del Pacífico en Colombia.

El guano o los depósitos derivados del guano se encuentran en varias islas del Caribe, pero salvo los depósitos en Curacao, son demasiado pequeños para ser económicos. Los yacimientos en las cuevas también son conocidos en esta área. Los depósitos pequeños podrían ser útiles como una fuente local de fosfatos fertilizantes.

Un grupo de minerales de silicatos, que se conocen como zeolitas, han demostrado poseer un gran potencial para aplicaciones en una gran variedad de procesos agrícolas. Se han obtenido resultados alentadores con las zeolitas que actúan como fertilizantes de liberación lenta en cuanto a nitrógeno y potasio, como portadores de herbicidas y plaguicidas como trampas para metales pesados en suelos compuestos con lodos de aguas servidas, y como agentes de descomposición para almacenamiento de alimentos para animales y de fertilizantes. Las zeolitas agregadas a las dietas de porcinos, aves y rumiantes han resultado no solo en aumento de peso corporal y eficiencias alimentarias, sino también una menor incidencia de enfermedades intestinales. Las zeolitas son eficaces para desodorizar y aumentar el contenido de nutrientes de los desechos animales, y son útiles en la remoción del amoníaco tóxico de las aguas de criaderos de peces. Las zeolitas se han empleado, asimismo, como absorbente en unidades de refrigeración solar en lugares donde no hay electricidad o es muy cara, de modo que se puedan almacenar los productos lácteos y animales.

El uso de zeolitas naturales en los diversos procesos agrícolas no necesitará probablemente una nueva tecnología o equipo especial. El material zeolítico triturado puede utilizarse directamente en los suelos o en las acumulaciones de estiércol o bien mezclado con alimentos corrientes para animales. La mayor parte de las aplicaciones se pueden efectuar a mano según instrucciones respecto a la cantidad correcta que debe usarse y el momento apropiado de las aplicaciones.

Unas ocho zeolitas ocurren en suficiente abundancia en los yacimientos sedimentarios, por lo que se consideran aptos para ser extraídos por minería. La clinoptilolita, una variedad generalmente silíceas y rica en álcalis, es la zeolita más común en los yacimientos sedimentarios en todo el mundo. Las zeolitas se encuentran en rocas de diversas edades, litología y ambientes de sedimentación, pero son más comunes en las rocas sedimentarias que originalmente contenían abundantes

vidrios volcánicos. Las zeolitas se formaron generalmente durante la diagénesis por la alteración del material vítreo. La Mayoría de los depósitos de zeolita ocurren en rocas que son de la edad Cretácea o más jóvenes. Debido al tamaño tan pequeño del cristal (corrientemente menos de 20 micrometros), no pueden ser identificadas positivamente en el campo. El análisis por difracción de rayos X de las muestras en bloque es el método que generalmente se usa para su identificación en las rocas sedimentarias. Este método también permite hacer una estimación semicuantitativa de la abundancia de las zeolitas y los minerales asociados en la muestra.

Las zeolitas se reconocieron en yacimientos sedimentarios en Puerto Rico en 1960, y en el sur de México en 1927, pero la mayoría de los depósitos reportados o conocidos de zeolitas en los países de las Antillas fueron descubiertos en la última década (tabla 2). En tres zonas de México se sabe que hay grandes depósitos de zeolitas: (1) clinoptilolita y filipsita en el área de Magdalena-Hermosillo; (2) clinoptilolita en el área de San Luis Potosí-Guanajuato, y (3) clinoptilolita, mordenita y analcime en el área de Oaxaca-Huajuapán de León. Los yacimientos de zeolita de Puerto Rico no han sido estudiados suficientemente para determinar su tamaño y pureza, pero se ha reportado la existencia de clinoptilolita, mordenita, analcime y laumontita. Al parecer Cuba tiene grandes depósitos de clinoptilolita y mordenita. Los otros países del Caribe en donde se han encontrado zeolitas son Guatemala (clinoptilolita), Panamá (clinoptilolita), y Antigua (mordenita y clinoptilolita). Todas las zeolitas en los países del Caribe ocurren en rocas volcanoclásticas que son de edad Cretácea o más jóvenes. Solamente los yacimientos de clinoptilolita y mordenita de México y Cuba son viables de explotación minera. Un programa de evaluación y exploración de zeolitas en los países del Caribe podría efectuarse en tres etapas.

La Etapa I debería comprender visitas a dos o más países del Caribe en donde se sabe que hay zeolitas en depósitos sedimentarios. Esas visitas serían útiles para determinar los patrones de alteración en las rocas volcanoclásticas y para formular uno o más modelos de ocurrencia que ayudarán a la exploración de las zeolitas en otros países del Caribe.

La Etapa II debería realizarse en varios otros países del Caribe en donde se sospecha la ocurrencia de zeolitas. Con base en la geología conocida y con ayuda de geólogos locales, se tomarían muestras de rocas sedimentarias volcanoclásticas del Cretáceo y el Cenozoico. Breves visitas suplementadas con estudios de laboratorio son necesarios para determinar la ocurrencia de zeolitas y evaluar su ley y abundancia.

La Etapa III sería completamente un estudio de laboratorio. Las muestras seleccionadas se evaluarían

TABLA 2.—Zeolitas en Yacimientos Sedimentarios del Caribe

País	Área	Deposito	Zeolita
Antigua	Cerca de Saint Johns	Tufas Terciarias marinas	Clinoptilolita Mordenita
Cuba	Cuba Central	Tufas Terciarias marinas	Clinoptilolita Mordenita
Guatemala	Guatemala Surcentral	Tufas Terciarias tardías	Clinoptilolita
México	Magdalena-Hermosillo	Tufas Terciarias continentales	Clinoptilolita filipsita
	San Luis Potosí-Guanajuato	Tufas Terciarias continentales	Clinoptilolita
	Oaxaca-Huajuapán de León	Tufas Terciarias continentales	Clinoptilolita Mordenita Analcime
			Laumontita
Panamá	Cuenca del río Chiriqui	Tufas Terciarias	Clinoptilolita
Puerto Rico	Cerca de Coamo	Cretáceo tardío y rocas volcánicas del Terciario temprano	Clinoptilolita Heulandita Mordenita Analcime Laumontita

nuevamente mediante difracción por rayos X, exploración por microscopio electrónico, y análisis químicos. Además, deben determinarse las capacidades de intercambio de cationes y de absorción en muestras de varios gases. Estos datos se emplean para determinar el posible papel que los materiales zeolíticos desempeñarían en el amplio campo de la agricultura.

El azufre es uno de los elementos esenciales para la vida. Tanto las plantas como los animales contienen tanto azufre como fosfato, lo cual subraya la importancia del elemento. Los suelos en muchas partes de los Estados Unidos y de América Latina son deficientes en azufre a causa del deslave y la agricultura intensiva.

Los recursos de azufre están ampliamente distribuidos. El azufre ocurre en las rocas volcánicas y en la roca superior de los domos de sal, en los minerales yeso y anhidrita, que son minerales metálicos portadores de azufre, y en compuestos orgánicos e inorgánicos en la mayoría de los combustibles fósiles. En el área del Caribe, los recursos de azufre comprenden azufre elemental, rocas tufáceas asociadas con los volcanes andinos en Colombia, y como subproducto de los beneficios de metales en México. El azufre se encuentra en los efluentes de las refineries de petróleo y en las plantas de procesamiento de gases.

El empleo de fertilizantes químicos complejos que no contienen azufre requiere la adición del azufre elemental al producto fertilizador. Estos fertilizantes complejos son sumamente caros y, en consecuencia, muchas personas no pueden emplearlos. El azufre no es solamente un ingrediente fertilizador necesario, sino también es esencial como ácido sulfúrico en la manufactura de fertilizantes químicos.

Los fosfatos, las zeolitas y los materiales con azufre son minerales cada vez más importantes en la agricultura y la crianza de animales. La explotación de fuentes locales de estos minerales permitiría a los países utilizar sus propios recursos y reducir así su dependencia en fuentes

fórneas de fertilizantes químicos caros y de alimentos para animales. Por consiguiente, un programa basado en la geología para identificar y explotar estos recursos tiene el potencial para aumentar significativamente la productividad agrícola del país.

GEOHERMAL RESOURCE ASSESSMENT FOR CENTRAL AMERICA

By Wendell A. Duffield

Geothermal resource assessment is the estimation of the amount of thermal energy that might be extracted from the Earth, in economic competition with other energy sources, and used by mankind at some future time. Such resource assessment is regional in scope and is intended to provide information that is needed by decisionmakers involved with establishing long-term energy policy. In contrast, geothermal reserves constitute the part of the resource that is known to be economically exploitable in the current marketplace. Knowledge of reserves is needed to guide decisions that have immediate or short-term impact. A logical and efficient sequence of geothermal studies is characterized by resource assessment that is periodically updated as new data become available, and that is complemented by definition of reserves as actual development and exploitation of geothermal energy becomes warranted.

Geothermal resources occur at various temperatures and in a variety of geologic environments. Electrical-grade resources (temperatures of 150°C or greater), however, generally are associated with geologically young or active volcanoes. The magmatic roots of volcanoes serve as heat sources for hydrothermal-convection systems. The chain of more than 80 active or dormant volcanoes that links Central American countries in a zone about 50–100 km inland from the parallel to the Pacific coast is clearly an area of high geothermal poten-

tial. Such surface manifestations as hot springs and fumaroles are obvious indications of geothermal resources, and other resources not directly expressed at the surface undoubtedly exist along the volcanic chain.

For sound national and multinational energy planning in Central America, an up-to-date geothermal resource assessment is required. A systematic and consistent methodology of assessment must be used throughout the region to avoid possible confusion in comparing resources in one part of the region with those in another part. A first attempt at such an assessment will identify areas where additional field data are needed, which in turn will lead to successive updating of a growing resource inventory. Meanwhile, definition and exploitation of reserves can go forward as the marketplace and national needs dictate. In view of the abundance of active volcanoes and currently successful initial exploitation of geothermal energy in El Salvador and Nicaragua, one can reasonably speculate that geothermal energy may one day provide energy for much or most of the electrical needs of Central America; low-temperature uses of geothermal energy may also prove to be a significant factor in the energy equation. The results of regional resource assessment could remove these ideas from the realm of speculation and provide decisionmakers with information needed to evaluate long-term options for energy in this part of the world.

LA EVALUACION DE RECURSOS GEOTERMICOS EN CENTROAMERICA

Por Wendell A. Duffield

Una evaluación de recursos geotérmicos consiste en la estimación de la cantidad de energía térmica que pudiera extraerse de la tierra, en competencia económica con otras fuentes de energía, y que la humanidad utilizaría en una fecha futura. Dicha evaluación de recursos es de amplitud regional y tiene el propósito de proporcionar información que necesitan las personas que toman decisiones y están involucradas en formular políticas energéticas a largo plazo. Por el contrario, las reservas geotérmicas constituyen la parte del recurso que se sabe que es económicamente explotable en el mercado actual. El conocimiento de las reservas es necesario para orientar las decisiones con efectos inmediatos a corto plazo. Una secuencia lógica y eficiente de los estudios geotérmicos se caracteriza por la evaluación de recursos que es actualizada periódicamente a medida que se recaban nuevos datos, y que es complementada por la definición de las reservas en cuanto se justifica el desarrollo y la explotación actuales de la energía geotérmica.

Los recursos geotérmicos ocurren a varias temperaturas y en una gran variedad de ambientes geológicos. Los recursos de categoría eléctrica (temperatura de 150°C o mayores) están asociados, por regla general, con volcanes geológicamente jóvenes o activos. Los orígenes magmáticos de los volcanes sirven como fuentes de calor para sistemas hidrotérmicos de convección. La cadena de más de 80 volcanes activos o latentes que enlazan los países de Centroamérica en una zona de unos 50–100 km tierra adentro del paralelo a la costa del Pacífico, es claramente una zona de mucho potencial geotérmico. Las manifestaciones superficiales tales como las aguas ter-

males y las fumarolas son indicaciones evidentes de recursos geotérmicos, y es indudable que a lo largo de la cadena volcánica existen otros recursos que no se manifiestan directamente.

Para formular un plan energético multinacional y racional en Centroamérica, se necesita una evaluación actualizada de los recursos geotérmicos. Una metodología sistemática y consecuente de evaluación debe emplearse a lo largo de la región toda para evitar la posible confusión al comparar los recursos de una parte de la región con otra parte. Un primer intento de dicha evaluación identificaría las áreas donde se necesitan datos de campo adicionales, los cuales a su vez conducirían a una actualización sucesiva de un creciente inventario de recursos. Entretanto, se puede proceder a la determinación y la explotación de las reservas según lo exijan las necesidades nacionales y el mercado. En vista de la abundancia de volcanes activos y la explotación inicial de energía geotérmica que se ha realizado con éxito en El Salvador y Nicaragua, se puede conjeturar racionalmente que la energía geotérmica generará en el futuro para satisfacer la mayor parte de la energía eléctrica de Centroamérica; los usos a baja temperatura de la energía geotérmica también podrían llegar a representar un factor significativo en la ecuación energética. Los resultados de la evaluación de los recursos regionales podrían desalojar estas ideas del campo de las conjeturas y proporcionar a los que toman decisiones en la información necesarias para evaluar opciones de largo plazo para aprovechamiento de energía en esta parte del mundo.

SELECTING A STRATEGY FOR REDUCING LANDSLIDE LOSSES

By Russell H. Campbell

The development of land resources inevitably brings people face-to-face with active earth processes, such as landslides, that can be hazardous to life and property. Regional topographic, geologic, and hydrologic information can be used to predict the likelihood that proposed development will place people or property at risk from landslides; such information is critical to cost-effective land development in regions of potential landslide risk. Of all the types of potentially hazardous active earth processes, landslides are probably the most readily amenable to loss-reduction measures. Petak and Atkisson (1982) have estimated that if appropriate grading regulations were applied to new construction throughout the United States, about 60 percent of all U.S. building losses from landslides could be avoided. (This 60-percent loss reduction for landslides compares to 8 percent for earthquakes, 24 percent for expansive soils, 27 percent for hurricanes, 18 percent for severe winds, 24 percent for tornadoes, 64 percent for riverine floods, 59 percent for storm surges, and 25 percent for tsunamis.)

As with floods, earthquakes, and hurricanes, mitigation activities to reduce landslide losses can take various approaches, including hazard warning, insurance, disaster assistance, land-use restrictions (planning and zoning), and local building-code grading requirements. Public programs using these approaches, singly or in combinations, can reduce an individual's risk of loss from landslides. Public programs, however, generally assume a broad exposure to the risk by society as a whole, which may not represent the actual risk to individual sites within a specific community. Subsidy and adverse-selection aspects of some programs have received increasing public attention in the United States. Even where major loss reductions have been demonstrated, their cost-effectiveness has come under question. It is becoming increasingly clear, therefore, that the implementation of public programs requiring individuals to undertake mitigation activities should be based on a rational strategy for selecting the areas where those added costs will be imposed.

In the United States, reduction of landslide losses is

viewed primarily as a local responsibility. Whereas the Federal government plays a key role in research, in the development of mapping techniques, and in landslide management on Federal lands, the reduction of landslide losses through land-use management and the application of building and grading codes is a function of local government. State, regional, and local community planning and land-use management programs in the United States vary considerably from one jurisdiction to another, and there are no widely accepted procedures or regulatory approaches for taking landslide hazards into account during, or prior to, the selection of sites for development. Building and grading codes are the chief regulatory vehicles through which local governments ensure proper design and construction practices, but their provisions generally apply to the stabilization of specific sites that have already been selected. Collectively, U.S. efforts to reduce landslide losses lack a consistent strategy for implementing appropriate mitigation approaches. However, many of the technological tools and scientific and engineering skills needed for effective mitigation have been, or are being developed.

Landslide prediction and warning: Deaths and injuries due to rapidly moving large and small landslides have occurred all over the world. During the period 1971–74, an average of nearly 600 people per year were killed by slope failures (Varnes, 1981). About 90 percent of those deaths occurred within the Circum-Pacific region. In the United States, the loss of life from landsliding is comparable to the total loss of life from floods, earthquakes, and hurricanes (Krohn and Slosson, 1976), or about 25 to 50 deaths per year. Although some techniques for predicting life-threatening landslide occurrence have been proposed, and some research has been carried out on the use of early warning systems to alert the public to individual local landslides, extensive implementation of an early warning system awaits the successful completion of further research and technological development. In any given region, however, the success of attempts to anticipate catastrophic landslide activity, and to provide early warning, will depend greatly on basic regional information

about the character of the landslide processes that are common in the area and the factors controlling their distribution.

Avoidance of risk: The selection of sites, whether for residences or for critical facilities, is often one of the earliest decisions in the sequence of political and economic decisions regarding land use and development. When site preparation is begun before a potential for landslide hazard is recognized, and unexpected slope movements are triggered by construction activities, construction costs greatly increase. Some sites may be discovered to be unusable for the intended purposes in early stages of site preparation, and relocation to other sites may be the most efficient remedy. At other sites, failure may begin slowly, the loss potential may not be recognized until construction is complete (or nearly so), and full use of a facility may be prevented. Even at sites that are themselves stable, the occurrence of a landslide event on adjacent property can cause disastrous losses. Regional assessments of the potential for landslide occurrence provide the basic information needed to guide land-use decisions that minimize expected losses from landslides by avoiding attempted development in areas of greatest susceptibility to landsliding.

Codes for design, grading, and construction: Site investigations can determine a site-specific potential for hazard, and, where appropriate, suitable measures to remedy stability problems can be designed. In the Los Angeles region, for example, implementation of hillside grading codes based on site-specific investigations has been demonstrably successful in reducing losses for new construction by 92 to 97 percent (Slosson and Krohn, 1982). However, the codes require professional examinations for every proposed hillside building site, effectively treating all sites as having equal initial likelihood of failure. The site examinations determine whether special engineering design and construction activities will be required for site stabilization. These requirements can impose mitigation costs on individuals that exceed the expected return on investment from the property, and they may not be the most efficient approach to community mitigation. Excessive costs can be avoided if a community can discriminate among different levels of susceptibility in different areas within its jurisdiction using regional information.

Control and stabilization: Remedial activities to stabilize active landslides are generally extremely expensive in comparison to the costs of preventive control measures that can be taken if the potential for failure is identified before construction begins. If that potential can be identified rapidly and inexpensively before site preparation begins, limited resources of equipment and technical manpower can be efficiently utilized to control factors that might trigger failure on marginally stable slopes or reactivate old landslides. Although stability-analysis tech-

niques permit quantitative assessment of specific sites, acquiring sufficient geologic information at every candidate site for construction, in sufficient detail to adequately assess the potential for hazard, is too costly and time consuming to keep up with the land-use needs of expanding populations. Consequently, informed decisions must be made on the basis of information that is already available, that can be acquired rapidly (preferably at low cost), that can be manipulated for analysis rapidly and inexpensively, and that is applicable to broad regions or dominant hazardous processes.

Mitigation strategies: The decisions controlling the way in which public safety rules and regulations are implemented to require activities designed to reduce the likelihood of public and personal losses from landslides constitute a strategy for mitigation. These decisions will be influenced by regional scientific data about the natural settings and the mechanisms by which the landslide processes operate. A successful mitigation strategy uses rules and regulations in a way that yields positive net social and economic benefits to the community; that is, the benefits of implementing specified mitigation activities exceed the costs of performing those activities. The optimum strategy would use those rules and regulations that yield the highest positive net benefits to the community, and generally would include a decision process regarding the identification of areas where specified mitigation activities must be implemented (Bernknopf and others, 1985). Basic to that decision process is the ability to discriminate among areas having different potentials for landslide hazard. Regional geologic and topographic information can be used to provide that capability which, in most areas, can be greatly improved by research for the more rapid acquisition of basic regional data, improved delineation of key materials and recurring triggering factors, and the accurate identification of the suite of landslide processes unique to each region. A working mitigation strategy should provide for continued improvement through research, even though immediate implementation must use existing data and analytical procedures.

The role of research in a strategy for reducing landslide losses: The goal of landslide research is a scientific understanding of landslide processes sufficient to enable the use of cost-effective mitigation activities to eliminate or reverse the progressive growth of landslide losses. USGS landslide research has contributed to many parts of the ongoing, and growing, efforts to reduce landslide hazards in the United States. These contributions range from essential geologic and topographic maps and hydrologic data to the development of quantitative, analytical understandings of the surficial geologic systems in which specific landslide processes operate. With adequate earth-science data and analytical tools, quantitative evaluations of slope stability can be made for communities at risk. In

the United States, the Geological Survey has lead responsibility for 1) research on the mechanics and rates of landslide processes and on the natural earth materials involved; 2) research on techniques for hazards delineation; 3) research on methods for prediction and early warning; and 4) providing national leadership in technology transfer and technical assistance.

The objectives of the present USGS research program in landslide hazards include a) field and laboratory studies of landslide processes focused on the identification of topographic, geologic, and hydrologic factors that affect landslide activity and occurrence; b) landslide probability studies to develop optimum landslide mitigation strategies through determination of those landslide process factors that most control regional landslide activity and occurrence; c) development of computer-mapping technologies to rapidly and cheaply identify landslide-prone areas where landslide mitigation techniques can most profitably be applied; and d) conducting demonstration projects in populous landslide-prone areas. Current USGS research for new methods and technology, underway at all three USGS centers, includes work on instrumentation and telemetry for early warning, computer manipulation of digital elevation models and their analytical use to identify landslide probability, experimentation with computer-driven plotters for map reproduction, and instrumentation for improved field investigation and interpretation of potential landslide hazards.

References Cited

- Bernknopf, R.L., Brookshire, D.S., Campbell, R.H., Shapiro, D., and Fleming, R.W., 1985, The economics of landslide mitigation strategies in Cincinnati, Ohio, a methodology for benefit-cost analysis, chapter D in *Feasibility of a nationwide program for the identification and delineation of hazards from mud flows and other landslides*: U.S. Geological Survey Open-File Report 85-276-D, 35 p.
- Krohn, J.P., and Slosson, J.E., 1976, Landslide potential in the United States: *California Geology*, v. 29, no. 10, p. 224-231.
- Petak, W.J., and Atkisson, A.A., 1982, *Natural hazard risk assessment and public policy*: New York, Springer-Verlag, 489 p.
- Slosson, J.E., and Krohn, J.P., 1982, Southern California landslides of 1978 and 1980, in *Storms, floods and debris flows in southern California and Arizona, 1978 and 1980: Proceedings of a Symposium*, National Research Council, and Environmental Quality Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, September 17-18, 1980: Washington, D.C., National Academy Press, p. 291-319.
- Varnes, D.J., 1981, Slope-stability problems of the circum-Pacific region as related to mineral and energy resources, in Halbouty, M.T., ed., *Energy resources of the Pacific region*: American Association of Petroleum Geologists, *Studies in Geology*, no. 12, p. 489-505.

SELECCION DE UNA ESTRATEGIA PARA REDUCIR LAS PERDIDAS POR DERRUMBES

Por Russell H. Campbell

El desarrollo de los recursos de terreno inevitablemente nos enfrenta con los procesos activos de la tierra, tales como los derrumbes, que también pueden constituir un peligro para la vida y la propiedad. La información topográfica, geológica e hidrológica regional puede ser utilizada para predecir la posibilidad de que un proyecto de desarrollo pueda poner a la gente o a la propiedad en peligro, a causa de los derrumbes; tal información es crítica cuando se considera el desarrollo económico de terrenos, en regiones con riesgo potencial de derrumbe. De todos los tipos de procesos activos de la tierra potencialmente peligrosos, los derrumbes posiblemente son los que con mayor facilidad pueden sujetarse a medidas para la reducción de pérdidas. Petak y Atkisson (1982) han estimado que si se aplicaran las regulaciones adecuadas de nivelación a toda nueva construcción, a través de los Estados Unidos, podría evitarse cerca del 60 por ciento de todas las pérdidas por derrumbe, ocurridas en los Estados Unidos. (Esta reducción del 60 por ciento en las pérdidas por derrumbe se compara con el 8 por ciento por terremotos, el 24 por ciento por suelos expansivos, el 27 por ciento por huracanes, el 18 por ciento por vientos severos, el 24 por ciento por tornados, el 64 por ciento por inundaciones fluviales, el 59 por ciento marejadas de tormenta y el 25 por ciento por tsunamis.)

En igual forma que con las inundaciones, terremotos y huracanes, las actividades de mitigación para reducir las pérdidas por derrumbe pueden ser enfocadas desde diferentes ángulos, incluyendo avisos de peligro, seguro, asistencia por desastre, restricciones para el uso de terrenos (planificación y zonificación) y requisitos de nivelación como parte de los códigos locales de construcción. Los programas públicos que usan estos enfoques, en forma individual o combinada, pueden reducir el riesgo de una persona a sufrir pérdidas por derrumbes. Sin embargo, los programas públicos generalmente consideran una amplia exposición al riesgo de la comunidad entera, lo cual puede no representar el riesgo real de sitios individuales dentro de una comunidad específica. Los subsidios y los aspectos de selección adversa de algunos programas han recibido un incremento en la atención del

público en los Estados Unidos. Aún cuando se ha demostrado una gran reducción en las pérdidas, su efectividad económica ha sido puesta en tela de juicio. Por lo tanto, cada vez es más claro que la implantación de programas públicos que requieren la intervención de individuos en las actividades de mitigación, debe estar basada en una estrategia racional al seleccionar las áreas donde estos costos adicionales serán impuestos.

En los Estados Unidos, la reducción de las pérdidas por derrumbe es vista, principalmente, como una responsabilidad local. Aunque el gobierno Federal juega un papel importante en la investigación, en el desarrollo de las técnicas para levantamiento de mapas y en el control de derrumbes de las tierras federales, la reducción de las pérdidas por derrumbes, a través del control del uso de la tierra y de la aplicación de códigos de construcción y nivelación, es una responsabilidad del gobierno local. En los Estados Unidos, los programas estatales, regionales y locales de planificación y uso controlado de la tierra varían considerablemente de una jurisdicción a otra, y no hay procedimientos ampliamente aceptados o enfoques reguladores para considerar los peligros de derrumbe, con anterioridad o durante la selección de sitios a desarrollar. Los códigos de construcción y nivelación son los principales medios reguladores, a través de los cuales los gobiernos locales se aseguran de que se apliquen las prácticas adecuadas para el diseño y la construcción, pero sus regulaciones generalmente se refieren a la estabilización de sitios específicos que ya han sido seleccionados. En forma colectiva, los esfuerzos de los Estados Unidos para reducir las pérdidas por derrumbes carecen de una estrategia consistente para implantar medidas de mitigación apropiadas. Sin embargo, ya se han desarrollado o están en desarrollo muchos de los instrumentos tecnológicos y conocimientos científicos y de ingeniería necesarios para lograr una mitigación efectiva.

Predicción y advertencia de derrumbes: Las muertes y daños personales, causados por derrumbes grandes y pequeños de rápido movimiento, han ocurrido en todas partes del mundo. Durante el período de 1971-74, murieron aproximadamente 600 personas por año, como

promedio, a causa de deslizamientos de laderas (Varnes, 1981). Cerca de un 90 por ciento de estas muertes ocurrió dentro de la región circundante del Pacífico. En los Estados Unidos, la pérdida de vidas por derrumbes es comparable con la pérdida total de vidas a causa de inundaciones, terremotos y huracanes (Krohn y Slosson, 1976), o sea aproximadamente, 25 a 50 muertes por año. Aunque se han propuesto algunas técnicas para la predicción de derrumbes peligrosos y aunque se ha llevado a cabo alguna investigación con respecto al uso de sistemas de advertencia anticipado para alertar al público sobre la posibilidad de derrumbes locales, la implantación extensa de un sistema de aviso anticipado está a la espera de que se concluyan exitosamente las investigaciones adicionales y el desarrollo tecnológico. En una región específica, sin embargo, el éxito de los intentos para predecir una actividad catastrófica de deslizamiento de tierra y proporcionar un aviso anticipado dependerá en gran parte de la información básica regional con respecto al carácter de los procesos de deslizamiento de tierras, que son comunes en el área, y de los factores que controlan su distribución.

Prevención del riesgo: La selección de sitios, ya sea para residencias o para instalaciones importantes, es a menudo una de las primeras en la secuencia de decisiones políticas y económicas, relacionadas con el uso y desarrollo de terrenos. Cuando se inicia la preparación del sitio, antes de haber reconocido el peligro potencial de derrumbe, los costos de construcción pueden aumentar considerablemente, al presentarse movimientos inesperados del terreno, provocados por las actividades de construcción. En las primeras etapas de la preparación del sitio, se puede descubrir que algunos terrenos no son utilizables para los propósitos a los cuales estaban destinados, y el traslado del proyecto a otro sitio puede ser el remedio más eficaz. En otros sitios la falla puede empezar lentamente, la pérdida potencial puede no ser reconocida hasta que la construcción esté terminada (o casi terminada) y puede ser necesario evitar el uso total del edificio. Aún en sitios que por sí mismos son estables, un derrumbe ocurrido en una propiedad adyacente puede causar pérdidas desastrosas. Las evaluaciones regionales de la potencialidad de derrumbes proporcionan la información básica necesaria, para orientar las decisiones con respecto al uso de tierras y reducir las pérdidas por derrumbe estimadas, al evitar el desarrollo de proyectos en áreas altamente susceptibles de derrumbe.

Códigos de diseño, nivelación y construcción: Las investigaciones de sitios pueden determinar el peligro potencial de un sitio específico y permitir el diseño de medidas adecuadas para remediar los problemas de estabilidad, en donde sea necesario. En la región de Los Angeles, por ejemplo, la implantación de códigos de nivelación de laderas, basados en investigaciones específicas del sitio, ha tenido un éxito demostrado en la reducción de pérdidas de las construcciones nuevas, de un

92 a un 97 por ciento (Slosson y Krohn, 1982). Sin embargo, los códigos requieren que para cada sitio localizado en una ladera, en el cual se proyecta construir, se lleve a cabo un examen profesional, tratando efectivamente todos los sitios como si tuvieran la misma posibilidad inicial de falla. El examen del sitio determina si se requieren diseño y construcción especiales para la estabilización del sitio. Estos requisitos pueden imponer costos de mitigación individuales que exceden la rentabilidad esperada de la propiedad y pueden no ser el enfoque más eficaz de mitigación, a nivel de la comunidad en cuestión. Los costos excesivos pueden evitarse si una comunidad es capaz de discriminar entre los diferentes niveles de susceptibilidad de las diferentes áreas dentro de su jurisdicción, utilizando la información regional.

Control y estabilización: Las medidas correctivas para estabilizar deslizamientos activos de tierra son generalmente demasiado caras en comparación con los costos de las medidas preventivas de control, que pueden ser tomadas si la posibilidad de una falla es identificada antes de iniciar la construcción. Si dicha posibilidad puede ser determinada rápida y económicamente antes del inicio de la preparación del sitio, los recursos limitados de equipo y mano de obra pueden ser eficientemente utilizados para controlar los factores que podrían provocar una falla en laderas marginalmente estables, o reactivar viejos deslizamientos. A pesar de que las técnicas de análisis de estabilidad permiten la evaluación cuantitativa de los sitios específicos, si se consideran las necesidades de terreno de la población en crecimiento, la recabación de suficiente información geológica en cada sitio elegido para la construcción, con todos los detalles necesarios para evaluar adecuadamente el peligro potencial, es demasiado costoso y requiere demasiado tiempo. En consecuencia, una decisión acertada debe ser tomada en función de la información conocida, que pueda ser obtenida rápidamente (de preferencia a bajo costo), que pueda ser manejada para un análisis rápido y económico y que sea aplicable a regiones extensas o procesos predominantemente peligrosos.

Estrategias de mitigación: Las decisiones que controlan la forma en la cual las normas y regulaciones de seguridad pública son implantadas para exigir medidas diseñadas para reducir la posibilidad de pérdidas, tanto personales como públicas, causadas por derrumbes, constituyen una estrategia de mitigación. Estas decisiones serán influidas por los datos científicos de la región, relacionados con las estructuras naturales y los mecanismos a través de los cuales ocurren los procesos de deslizamiento. Una estrategia efectiva de mitigación es aquella que emplea las normas y regulaciones de una manera tal, que brinda a la comunidad positivos beneficios socioeconómicos esenciales; es decir, los beneficios de implantar las medidas específicas de mitigación exceden a los costos de poner a funcionar estas medidas. La

estrategia óptima emplearía aquellas normas y regulaciones que pudieran brindar los más altos beneficios netos positivos a la comunidad y, generalmente, incluiría un proceso de decisión con respecto a la identificación de áreas en donde las medidas de mitigación determinadas deben ser implantadas (Bernknopf y otros, 1985). Dentro de este proceso de decisión, es básica la habilidad para discriminar entre áreas con diferente potencialidad de peligro de derrumbe. La información geológica y topográfica de la región puede ser utilizada para proporcionar esa capacidad que, en la mayoría de las áreas, puede ser considerablemente mejorada a través de la investigación para obtener más rápidamente los datos básicos de la región, de una mejor delineación de los materiales clave y de los factores causantes repetitivos, y a través de la identificación exacta de la serie de procesos de deslizamiento que son particulares de cada región. Para que una estrategia de mitigación pueda funcionar, se debe proveer el mejoramiento continuado a través de la investigación, aun cuando para su implantación inmediata se tengan que utilizar los datos y procedimientos analíticos ya existentes.

El papel de la investigación en una estrategia para reducir las pérdidas por derrumbes: El objetivo de la investigación de derrumbes es una comprensión científica de los procesos de deslizamiento de tierra, que permita el uso de medidas de mitigación económicas y efectivas, para eliminar o invertir el crecimiento progresivo de las pérdidas por derrumbes. La investigación de derrumbes realizado por el "USGS" ha contribuido en gran parte a los esfuerzos actuales y en desarrollo, para lograr reducir los peligros de derrumbe en los Estados Unidos. Está contribución comprende desde los mapas geológicos y topográficos esenciales hasta los datos hidrológicos para el desarrollo de un entendimiento cuantitativo y analítico de los sistemas geológicos de la superficie, en los cuales se presentan procesos específicos de derrumbe. Contando con los datos científicos adecuados y con los instrumentos analíticos, se pueden efectuar evaluaciones cuantitativas de estabilidad de laderas para las comunidades en peligro. En los Estados Unidos el "Geological Survey" tiene la principal responsabilidad en (1) la investigación de los mecanismos y grados de los procesos de derrumbe y de los materiales naturales de la tierra involucrados en estos; (2) la investigación de técnicas para la delineación de peligros; (3) la investigación de métodos para predicción y advertencia anticipada, y (4) la dirección, a nivel nacional, en la transferencia de tecnología y la asistencia técnica.

Los objetivos del actual programa de investigación del "U.S. Geological Survey" de los peligros de derrumbe incluye: (a) estudios de campo y de laboratorio de los procesos de derrumbe, dirigidos hacia la identificación de los factores topográficos, geológicos e hidrológicos que afectan la actividad de deslizamiento de tierra y propician

el derrumbe; (b) estudios de probabilidad de derrumbe, para desarrollar óptimas estrategias de mitigación, a través de la determinación de aquellos factores, dentro del proceso de derrumbe, que por lo general controlan la actividad de deslizamiento y los derrumbes que ocurren en la región; (c) desarrollo de técnicas para levantamiento de mapas por computadora, con el objeto de identificar, de forma rápida y económica, las áreas con propensión a derrumbes, en las cuales es posible aplicar las técnicas de mitigación con la máxima utilidad, y (d) proyectos de demostración realizados en áreas populosas con propensión a derrumbes. En la actualidad, la investigación de nuevos métodos y tecnología, llevada a cabo por el "USGS" en cada uno de sus tres centros, incluye trabajos sobre instrumentos y telemetría para advertencia anticipada, manipulación por computadora de modelos digitales de elevación y su uso analítico para identificar probabilidad de derrumbe, experimentación en la reproducción de mapas por computadora, e instrumentos para mejorar la investigación de campo y la interpretación de la potencialidad de riesgo de derrumbe.

REFERENCIAS CITADAS

- Bernknopf, R.L., Brookshire, D.S., Campbell, R.H., Shapiro, C.D., y Fleming, R.W., 1985, La economía de las estrategias de mitigación de derrumbes en Cincinnati, Ohio, una metodología para el análisis del costo-beneficio, capítulo D en Posibilidad de un programa nacional para la identificación y delineación del peligro de corrientes de fango y otros deslizamientos de tierra: Informe Abierto 85-276D del U.S. Geological Survey, p. 35. ["The economics of landslide mitigation strategies in Cincinnati, Ohio, a methodology for benefit-cost analysis - Chapter D in Feasibility of a nationwide program for the identification and delineation of hazards from mud flows and other landslides: USGS Open-File Report 85-276D, 35 p."]
- Krohn, J.P., y Slosson, J.E., 1976, Potencialidad de derrumbes en los Estados Unidos: Geología de California, v. 29, no. 10, p. 225-231. ["Landslide potential in the United States: California Geology, v. 29, no. 10, p. 22-231."]
- Petak, W.J., y Atkisson, A.A., 1982, Evaluación y política pública de los riesgos naturales y política pública: Nueva York, Springer-Verlag, p. 489. ["Natural hazard risk assessment and public policy: New York, Springer-Verlag, 489 p."]
- Slosson, J.E., y Krohn, J.P., 1982, Derrumbes del sur de California en 1978 y 1980, en Tormentas, inundaciones y corrientes de detrito en el sur de California y Arizona, 1978 y 1980: Actas de un simposio, Consejo Nacional de Investigación y Laboratorio de Calidad ambiental, Instituto de Tecnología de California, Pasadena, California, 17-18 de Septiembre de 1980: "National Academy Press", Washington D.C., p. 291-319. ["Southern California landslides of 1978 and 1980, in Storms, floods, and debris flows in southern California and Arizona, 1978 and 1980: Proceedings of a Symposium, National Research Council, and

Environmental Quality Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, September 17-18, 1980: Washington, D.C., National Academy Press, p. 291-319."]

Varnes, D.J., 1981, Problemas de estabilidad de laderas en la región circundante del Pacífico, relacionados con recursos minerales y energéticos *en* Halbouty, M. T., ed., Recursos

energéticos de la región del Pacífico: Asociación Americana de Geólogos del Petróleo, Estudios de Geología, no. 12, p. 489-505. ["Slope-stability problems of the Circum-Pacific region as related to mineral and energy resources, *in* Halbouty, M. T., ed., Energy resources of the Pacific region: American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, no. 12, p. 489-505."]

VOLCANO HAZARDS IN CENTRAL AMERICA

By Wendell A. Duffield

Scores of volcanoes form a serrate spine along nearly the entire Central American region; more than 80 are active or potentially so and are distributed 50–100 km inland, parallel to the Pacific coast, from northern Panama to the Guatemala-Mexico border. Many eruptions have occurred since mankind first settled in this region, and some volcanic activity is almost always a part of contemporaneous daily life. For example, Santiaguito Volcano in Guatemala has been active continuously for the past 62 years, during which it has produced lava domes and flows, block and ash flows, vertically directed pyroclastic explosions, and mudflows. Earthquakes are a normal part of the volcanic process, and earthquake-induced landslides add to the list of potential volcano-related hazards.

Human activities must accommodate themselves to volcanism and related hazards, and workable accommodation comes through knowledge of volcanic behavior at a level that is sufficient to guide planning for mitigation of the hazards. A long-term program of systematic geologic mapping of individual volcanic edifices and their outlying deposits will define types and time-related patterns of past behavior that serve as a reasonable basis to forecast future activity. Lack of eruption for scores of years or centuries should not be mistaken to indicate that a particular volcano poses little or no threat. In many

instances, worldwide, detailed studies have shown that the volume and vigor of an eruption are a direct function of the length of the preceding period of repose. The 1982 eruption of El Chichon in Mexico, following a repose of about 600 years, is a graphic reminder of this situation.

In addition to systematic volcano-by-volcano geologic mapping, day-to-day visual and instrumental monitoring of currently or recently active volcanoes provides information that might foretell of impending eruption. A minimum-level program of such monitoring should include a network of seismometers that can record changes in volcano-related seismicity and a cadre of observers trained to evaluate the seismic records and to note visual changes in behavior (for example, vigor of fumaroles) that may give clues to impending eruption. A more complete program of monitoring includes geodetic surveys to define rates and patterns of ground deformation, determination of species and amounts of fumarolic gases, and the measurement of electrical and magnetic fields. Recognition of repeated patterns of behavior of a particular volcano may help guide decisions on appropriate future use of undeveloped nearby land, and early recognition of signs of impending eruption may provide sufficient lead time to minimize the impact of a volcanic event on life and property.

RIESGOS VOLCANICOS EN CENTROAMERICA

Por Wendell A. Duffield

Múltiples volcanes forman una columna estriada a lo largo de casi toda la región de Centroamérica. Más de 80 volcanes son activos o potencialmente activos y están distribuidos a 50–100 km tierra adentro, en línea paralela a la costa del Pacífico, desde la parte norte de Panamá hasta la frontera entre México y Guatemala. Muchas erupciones han ocurrido desde que el hombre se estableció en esta región, y alguna actividad volcánica es casi siempre parte de la vida cotidiana. Por ejemplo, el volcán Santiaguito, en Guatemala, ha estado en continua actividad durante los últimos 62 años. En el transcurso de ese período ha producido domos y flujos de lava, flujos de bloques y cenizas, estallidos piroclásticos dirigidos verticalmente, y corrientes de lodos. Los sismos son una parte normal de los procesos volcánicos, y los deslizamientos o aludes de tierra causados por los sismos se suman a la lista de posibles riesgos vulcanológicos.

Las actividades humanas deben acomodarse al vulcanismo y a los peligros relacionados con este fenómeno, y una acomodación viable se logra mediante el conocimiento del comportamiento de los volcanes a un nivel que es suficiente para guiar el planeamiento para el alivio de los riesgos. Un programa a largo plazo de mapeo geológico sistemático de los edificios de cada volcán y sus depósitos salientes definiría los tipos y los patrones de tiempo de comportamiento pasado que servirían de base para pronosticar futuras actividades. La falta de erupciones durante años o siglos no debe tomarse como una indicación de que un volcán particular no pudiera ser peligroso. En muchos casos en todo el mundo, los estu-

dios en detalle han indicado que la fuerza y el volumen de una erupción están en función directa del largo del período precedente de reposo. La erupción de 1982 de El Chichón, en México, tras un reposo de 600 años, es una prueba fehaciente de esta situación.

Además de un mapeo geológico sistemático de cada volcán, una inspección visual diaria y una vigilancia por instrumentos de los volcanes activos o recientemente activos proporcionan información que puede predecir una inminente erupción. Un programa mínimo de vigilancia debería comprender una red de sismómetros que puedan registrar cambios en la sismicidad de los volcanes y un equipo de observadores entrenados para evaluar los registros sísmicos y advertir los cambios visuales en comportamiento (por ejemplo, la fuerza o las fumarolas) que pudieran indicar posibles erupciones inminentes. Un programa más completo de vigilancia comprende levantamientos geodésicos para definir la velocidad y los patrones de la deformación terrestre, la determinación de las especies y las cantidades de los gases de las fumarolas, y la medición de los campos eléctricos y magnéticos. El reconocimiento de los patrones repetidos de comportamiento de un volcán particular pueden ayudar a guiar las decisiones sobre el uso apropiado en lo futuro de las tierras aledañas inexploradas, y al temprano reconocimiento de indicios de erupciones inminentes pueden proporcionar suficiente tiempo de avance para reducir al mínimo los efectos de un evento volcánico en la vida y la propiedad.

USGS COOPERATIVE EARTHQUAKE HAZARD-REDUCTION PROGRAMS IN CENTRAL AMERICA: A review, some significant results, and recommendations

By Randall A. White

Serious earthquakes are common in Central America and Panama, causing heavy local damage at an average rate of once every 4 years. Many people are familiar with the statistics of recent earthquakes in Central America: the 1965 San Salvador earthquake killed 125 people and caused about \$25 million in damage, the 1972 Managua earthquake killed 11,000 and caused \$800 million in damage, and the 1976 Guatemala earthquake killed 23,000 and caused \$1.1 billion in damage. Such figures would be expected to be significantly larger for similar future earthquakes because local populations are increasing. It is less well known that seismic hazard reduction programs have begun in each of these countries, through cooperative programs with the U. S. Geological Survey, to study such earthquakes and to mitigate their effects. I will present a brief history of the recent USGS involvement in seismic hazard-reduction work in Central America, some significant results of both the historical earthquake cataloguing effort and the microearthquake cataloguing programs, and a brief outline of the next steps that could be taken to reduce the impact of future earthquakes in the region.

I. History of recent USGS involvement in Central American seismic hazard-reduction work:

- a) A cooperative project between the government of Nicaragua and the USGS began in 1975 with the installation of a 17-station seismograph network in western Nicaragua. An observatory was established, technicians trained in station maintenance, and scientists trained in basic seismology. By 1980, the Nicaraguan observatory was operating autonomously, producing yearly catalogs of microseismicity and carrying out its own studies on such subjects as the crustal structure and soil amplification of particular sites.
- b) A cooperative project between the government of El Salvador and the USGS began in 1983 with the

installation of a 12-station seismograph network in the northwestern part of the country. Technicians were trained in station maintenance and scientists given hands-on training in basic seismology and data reduction. The network will be expanded during the next couple of years, but the observatory is now essentially autonomous, carrying out its own studies of seismicity and site amplification.

- c) A cooperative project between the government of Guatemala and the USGS began in 1975 with the installation of a 6-station seismograph network around Guatemala City. In 1979, the network was expanded to about 25 stations extending over most of southern Guatemala. Technicians and scientists were trained, and the observatory, though understaffed considering the high levels of seismicity, is nearly autonomous and produces its own yearly catalogs of microseismicity.

II. Results of the Historical Earthquake Cataloguing Program: The USGS has begun a program to catalog historical earthquake documents and has determined the location, magnitude, and occasionally the depth of more than 50 destructive historical earthquakes in Central America, many of which were previously unknown.

Results:

- a) *The chain of active volcanoes is the area of greatest seismic hazard* because earthquakes are most frequent here, because thick layers of volcanic ash amplify ground motions, and because the population is concentrated here. *Shallow events with magnitudes as great as 6.5 occur as often as 30 years apart at some sites.* Figure 1 shows the areas damaged by the shallow earthquakes of magnitude 6 or greater that occurred within Central America during this century. Of a total of 23 such earthquakes, 18, or 78 percent, occurred along the chain of active volcanoes, and all but one of these caused heavy local damage. Sites of

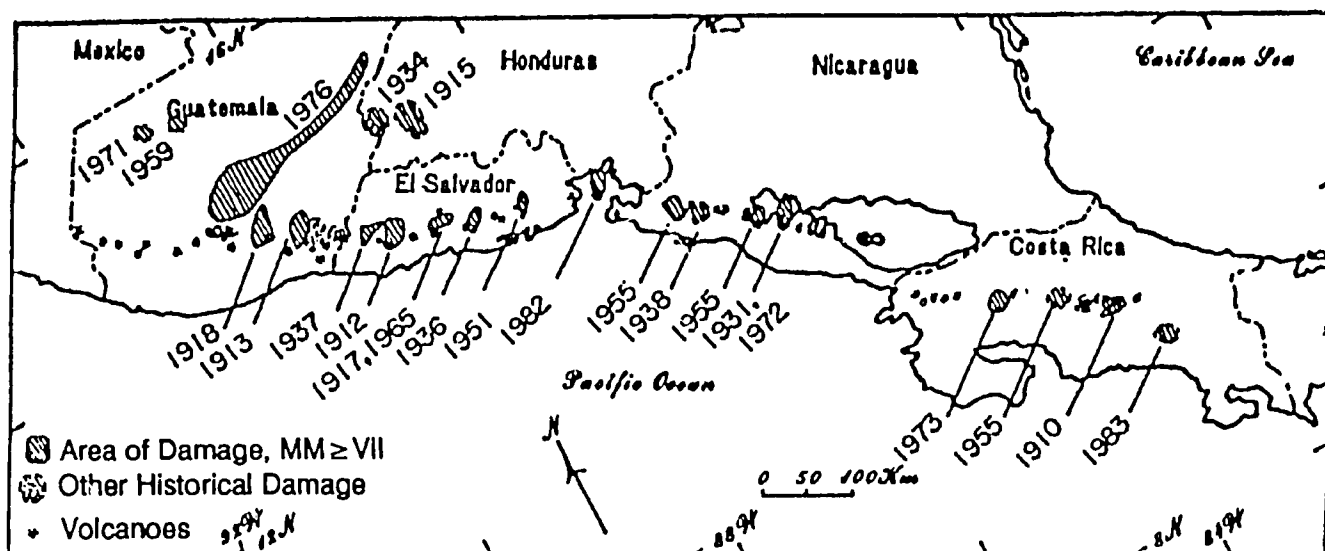


Figure 1. Areas damaged by shallow earthquakes of magnitude 6 or greater that occurred within Central America during this century.

earlier volcanic-chain earthquakes are also shown. Such heavily damaging earthquakes can be expected at an average rate of every 4 years somewhere in Central America.

- b) The region between the Pacific coast and the chain of active volcanoes is a region of considerable hazard because large subduction zone earthquakes, though less frequent than volcanic-chain shocks, interact with thick coastal-plain alluvium to produce widespread damage. Earthquakes with magnitudes of 7.5 to 8.0 occur as often every 70 to 200 years at most sites along the coast.
- c) Most of central Guatemala from the highlands to Lago Izabal is an area of high seismic hazard from numerous active faults associated with the Motagua and Chixoy-Polochic fault system. The Motagua and Chixoy-Polochic faults appear to control a regional cycle of seismic quiescence alternating with seismic activity that is terminated by an earthquake of about magnitude 7.5 (and aftershocks) on either of the faults.
- d) Most of Nicaragua northeast of the chain of active volcanoes is aseismic or nearly so, and of very low seismic hazard.
- e) Most of El Salvador northeast of the chain of active volcanoes is an area of low seismic hazard with very infrequent earthquakes.
- f) Most of the Peten region of northern Guatemala is of low seismic hazard.

III. *Significant results of microseismicity studies:* Figure 2 shows the epicenters of recent shallow (less than 15 km deep) microearthquakes located during cooperative

projects between the USGS and Nicaragua from 1975 to 1978, Guatemala during 1982, and El Salvador during 1984. Notice that over 90 percent of the epicenters lie along the chain of active volcanoes, at the same locations as most of the recent damaging earthquakes in the region, shown in figure 1.

- a) Along the chain of active volcanoes we have recognized at least four different types of earthquakes, all of which may produce damage.
 - 1) One type, called tectonic earthquakes, occurs at the offsets in the volcanic chain and is characterized by a mainshock followed by aftershocks.
 - 2) A second type, called volcanic earthquakes, occurs just beneath or within active volcanoes and usually is accompanied by volcanic eruptions. These earthquakes occur in swarms characterized by a slow growth of seismic energy and later, volcanic activity, with the largest earthquakes near the middle of the period of seismic activity, preceding or accompanying the initial eruption.
 - 3) The third and most common type may be called tectono-volcanic earthquakes: These earthquakes occur between the volcanoes as frequent swarms of (usually) low-level seismic energy. These swarms are characterized by a short period of rapidly increasing seismic energy, followed by a main shock, followed by large numbers of small aftershocks. These earthquakes are probably related to the subsurface movement of magma beneath these volcanoes but are never accompanied by eruptions. Occasionally a swarm will produce damaging earthquakes.

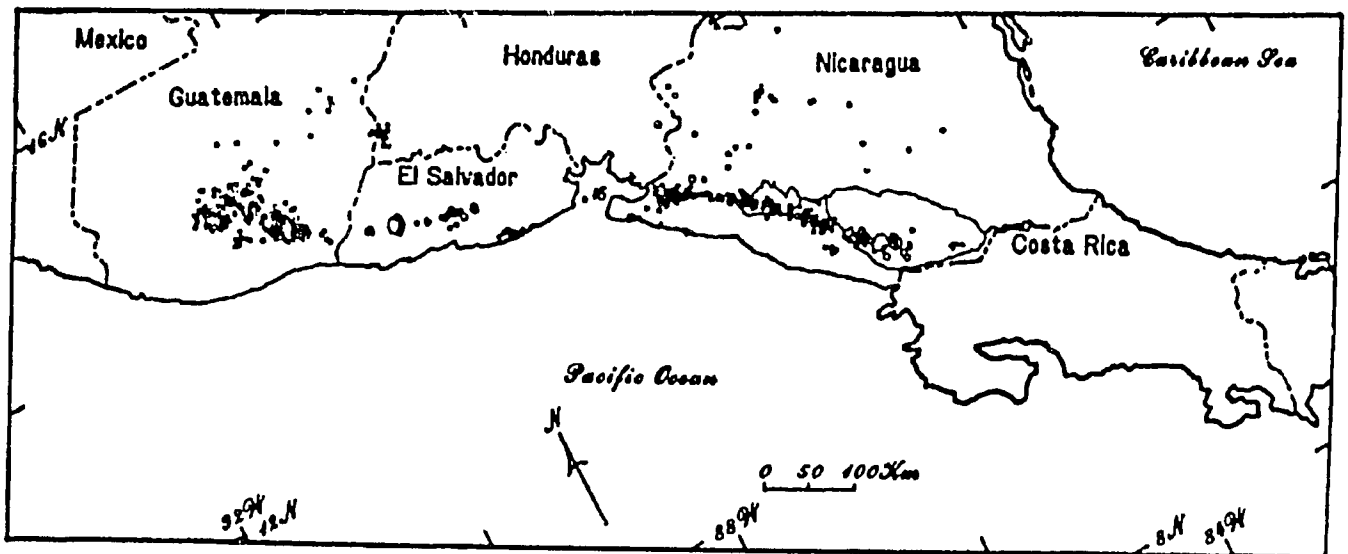


Figure 2. Recent shallow microearthquakes located during cooperative projects between the USGS and Nicaragua (1975–78), Guatemala (1982), and El Salvador (1984).

- 4) The last type is probably associated with the collapse or slumping of part of the caldera roof and may be less frequent than the others. *It appears that many of the damaging earthquakes of types 2 and 3 may be forecast a few days in advance* because of the periods of growing precursory seismicity that usually precede the main shock. One such earthquake was forecast in late September 1979 by Ing. Eddy Sanchez of INSIVUMEH, Guatemala. Because of an alarming increase in seismic activity, he advised local homeowners to sleep outside, undoubtedly preventing many injuries when the main shock struck a few days later.
- b) Normal faults associated with the back side of the Nicaragua Depression appear to be the sites of low-level seismic activity, whereas most of northeastern Nicaragua is seismically quiet.
- c) Most of El Salvador northeast of the volcanic chain is seismically quiet.
- d) Across central Guatemala, several mapped faults have been found to be active and several additional active faults have been discovered.
- e) Contouring of the subduction zone interface has begun. Figure 3 shows the subduction zone earthquakes located during the 1975 to 1978 cooperative program with Nicaragua. Contrary to results from other studies, the contours of the subduction zone seismicity vary smoothly through this region and no evidence of any tears has been found. In some areas where large earthquakes are known to recur, the level of background seismicity has been observed to decrease prior to the occurrence of a large event. Section 2 of the subduction zone was ominously quiet

during this recent period. It has been so since at least 1950 and continues to be quiet today. As it is known to have been the location of a great earthquake (magnitude $> 7 \frac{1}{4}$) in 1898, it is currently considered a high-order hazard.

Recommended follow-on work: The results mentioned above go a long way toward an improved understanding of the regional earthquake hazards yet considerable follow-on work needs to be addressed in order to incorporate this information directly into the design of structures and communities.

- 1) Neighboring countries need to begin cooperative data exchange programs with each other in order to better understand the seismicity in the off-shore areas. Also, technical exchange programs are recommended as individual governments may need help with the maintenance or renovation of their microearthquake networks. Standardization of equipment and data processing techniques would facilitate such cooperation.
- 2) Seismicity lineaments discovered by the microearthquake networks should be investigated by geologists for evidence of as yet unmapped faults. Known faults discovered to be active through the use of local microearthquake networks, need to be investigated by trained geologists for evidence of recent movements.
- 3) For active faults that have associated microseismicity, the lateral extent and depth of the fault can be estimated from the distribution of the microearthquakes. Combined with geologic evidence for Holocene slip rates and amount of slip

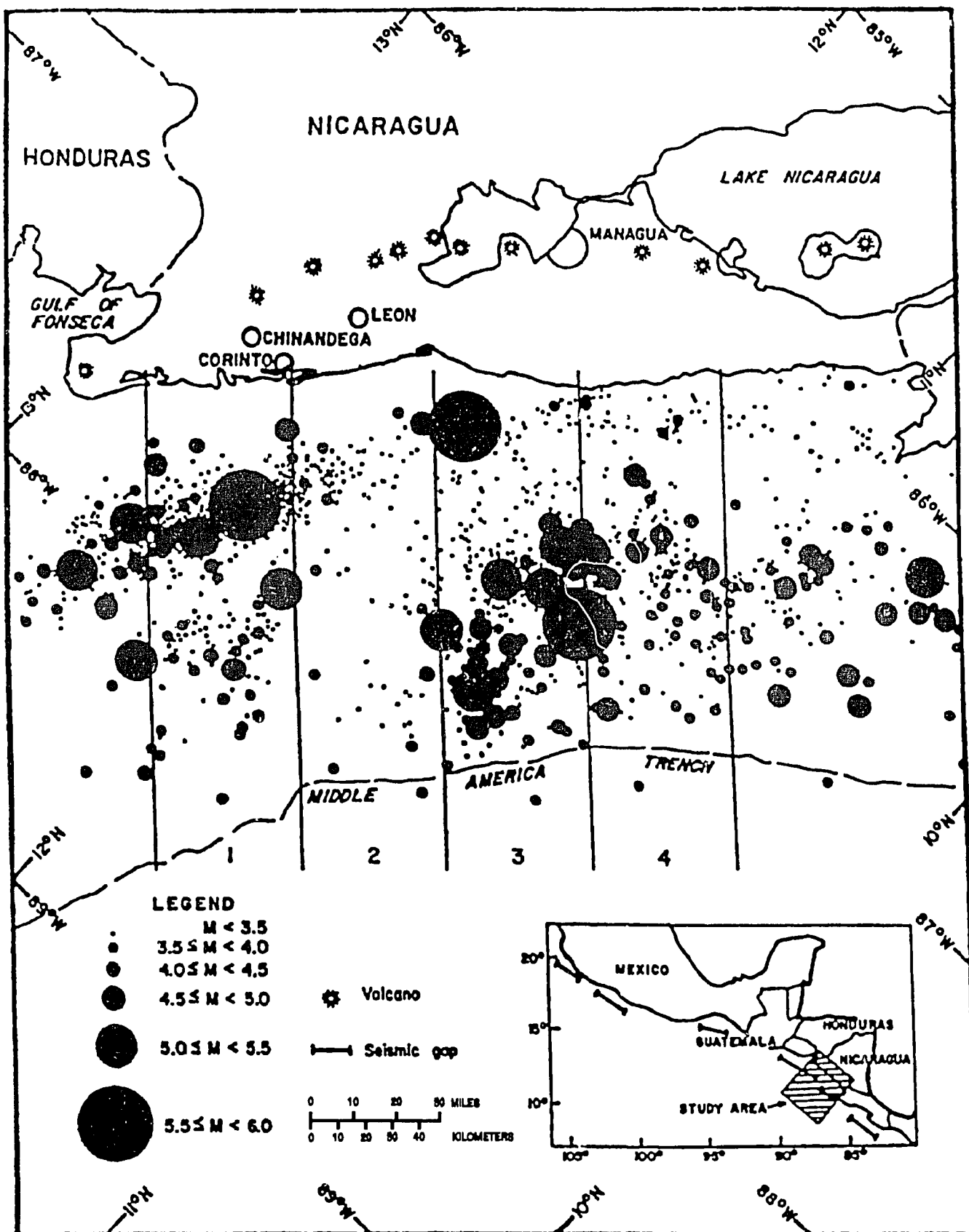


Figure 3. Subduction zone earthquakes located during the cooperative program with Nicaragua from 1975 to 1978.

per event, this data can then be used to estimate the seismic hazard of the fault.

- 4) Recurrence intervals need to be estimated for each fault either from historical catalogs or through trenching in the field, if possible.
- 5) Strong-motion instruments need to be deployed at all major population centers in order to determine the response of the surface sediments during major local earthquakes.
- 6) Site-specific estimates of return times for high

accelerations need to be calculated from the above data.

- 7) Building codes need to be formulated in accordance with the estimates of return times for high accelerations.
- 8) Most countries need more personnel trained in engineering seismology and engineering geology to help with this work and to revise and update the building codes as new information becomes available.

PROGRAMAS COOPERATIVOS DEL SERVICIO GEOLOGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA REDUCCION DE RIESGOS POR TERREMOTOS EN CENTROAMERICA: Una revisión, algunos resultados significativos y recomendaciones

Por Randall A. White

Los terremotos fuertes son comunes en Centroamérica y Panamá, y causan severos daños a intervalos promedio de una vez cada 4 años. Mucha gente se ha familiarizado con las estadísticas de terremotos recientes en Centroamérica: el terremoto de San Salvador en 1965 causó 125 víctimas y daños por valor de casi \$25 millones; el terremoto de Managua en 1972 ultimó a 11.000 personas y causó un daño de \$800 millones, y el terremoto de Guatemala en 1976 tuvo a 23.000 víctimas y causó un daño de \$1.1 billones. Tales cifras se espera que sean más significantes en futuros terremotos similares, porque la población está creciendo. No se sabe bien que programas de reducción de riesgos sísmicos se hayan emprendidos en cada uno de estos países, a través de programas cooperativos con el Servicio Geológico de los Estados Unidos, para estudiar tales terremotos y mitigar sus efectos. Presentaré una breve historia de los recientes trabajos de reducción de riesgos sísmicos para América Central, en los que se ha involucrado el Servicio Geológico de los Estados Unidos, algunos resultados significativos de ambos el esfuerzo de catalogamiento de terremotos históricos y programas de catalogamiento de microsismos, y un breve bosquejo de los siguientes pasos que podrían ser tomados para reducir el impacto de futuros terremotos en la región.

I. Historia reciente del trabajo en que se ha involucrado el Servicio Geológico de los Estados Unidos para reducir los riesgos sísmicos en Centroamérica;

- a) Un proyecto cooperativo entre el gobierno de Nicaragua y el Servicio Geológico de los Estados Unidos empezó en 1975 con la instalación de 17 estaciones sismográficas en el oeste de Nicaragua. Se estableció un observatorio, se entrenaron a técnicos en el mantenimiento de la estación, y a científicos en sismología básica. Por el año de 1980, el observatorio

nicaraguense ya estaba operando autónomamente, produciendo catálogos anualmente sobre microsismología y llevando a cabo sus propios estudios sobre tales aspectos como estructura de la capa terrestre y ampliación del suelo en sitios privados.

- b) Un proyecto cooperativo entre el gobierno de El Salvador y el Servicio Geológico de los Estados Unidos empezó en 1983 con la instalación de una red de 12 estaciones sismográficas en la parte noroeste del país. Técnicos fueron entrenados en el mantenimiento de la estación y científicos dieron una mano en el entrenamiento en sismología básica y reducción de datos. La red será ampliada durante los siguientes dos años, pero el observatorio es ahora esencialmente autónomo, llevando a cabo sus propios estudios de sismología y ampliación del lugar.
- c) Un proyecto cooperativo entre el gobierno de Guatemala y el Servicio Geológico de los Estados Unidos empezó en 1975, con la instalación de una red de 6 estaciones sismográficas alrededor de la ciudad de Guatemala. En 1979, la red se amplió a unas 25 estaciones que se extienden más hacia el sur de Guatemala. Técnicos y científicos fueron entrenados, y el observatorio, aún con escaso personal considerando los altos niveles sísmicos, es casi autónomo y produce sus propios catálogos microsísmicos una vez al año.

II. Resultados del programa de catalogamiento de terremotos históricos: El Servicio Geológico de los Estados Unidos ha empezado un programa para catalogar documentos de terremotos históricos y ha determinado el lugar, la magnitud, y ocasionalmente, la profundidad de más de 50 terremotos históricos destructivos en Centroamérica, muchos de los cuales no fueron previamente detectados.

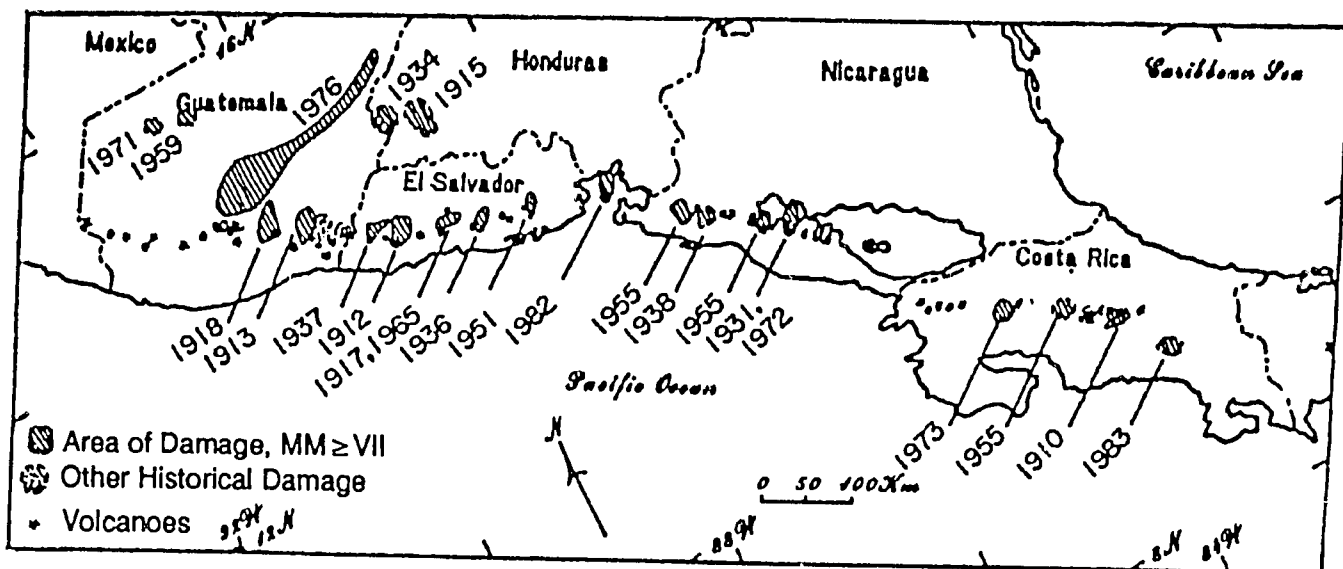


Figura 1. Las zonas dañadas por terremotos de magnitud 6 o mayor que ocurrieron en America Central durante este siglo.

Resultados:

- a) La cadena de volcanes activos es el área más grande de riesgos sísmicos porque los terremotos son más frecuentemente aquí, ya que capas gruesas de cenizas volcánicas amplifican los movimientos de la tierra y que la población está concentrada allí. Temblores superficiales con magnitudes hasta 6.5 ocurren frecuentemente a intervalos de 30 años en algunos lugares. La Figura 1 muestra las áreas damnificadas por terremotos de la magnitud de 6 o mas grandes que ocurrieron dentro de Centroamérica durante este siglo. De un total de 23 terremotos, 18 o 78% ocurrió a lo largo de la cadena de volcanes activos, y todos salvo uno de estos, causo daños locales severos. También se han visto terremotos en lugares de cadenas volcánicas nuevas. Se pueden esperar daños fuertes por terremotos en un lapso de cada 4 años en alguna parte de Centroamérica.
 - b) La región entre la costa pacifica y la cadena de volcanes activos es una zona de riesgo considerable porque la larga zona de subducción de terremotos, aunque menos frecuentes que los de las cadenas volcánicas, interaccionan con aluvion de las planicies costeras para producir daño en derredor. Los terremotos con magnitud de 7.5 a 8.0 ocurren frecuentemente cada 70 a 200 años en muchos sitios a lo largo de la costa.
 - c) La mayoría de Guatemala central desde el altiplano al lago Izabal es un área de riesgos sísmicos grandes debido a numerosas fallas activas asociadas con el sistema de fallas del Motagua y del Chixoy-Polochic. Las fallas del Motagua y del Chixoy-Polochic parecen controlar un ciclo regional de quietud sísmica alter-
 - nado con actividad sísmica que termina con un terremoto de magnitud cerca de 7.5 (y seguido de temblores) en cualesquiera de las fallas.
 - d) La mayor parte de los volcanes activos en la cadena noreste de Nicaragua son asísmicos o parecidos, y de un bajo riesgo sísmico.
 - e) La mayoría de los volcanes activos de la cadena noreste de El Salvador es un área de bajo riesgo sísmico con no muy frecuentes terremotos.
 - f) La mayor parte de la region noreste de Peten, en Guatemala, es de bajo riesgo sísmico.
- III. Resultados significativos de los estudios de micro-sismología: La Figura 2 muestra el epicentro de micro-terremotos superficiales recientes (menos que 15 km de profundidad) localizados durante proyectos cooperativos entre el Servicio Geológico de los Estados Unidos y Nicaragua del año 1975 a 1978; Guatemala durante el año 1982, y El Salvador durante el año 1984. Nótese que cerca del 90% de los epicentros estan situados a lo largo de la cadena de los volcanes activos, en el mismo lugar que muchos de los recientes terremotos que han causado daño en la región, que se muestran en la Figura 1.
- a) A lo largo de la cadena de volcanes activos, hemos reconocido por lo menos cuatro diferentes tipos de terremotos, los cuales todos producen daños.
 - 1) Una clase llamada terremoto tectónico, ocurre fuera de la cadena volcánica y está caracterizada por un temblor principal seguido de temblores.
 - 2) Una segunda clase, llamada terremotos volcánicos, ocurren solo debajo de los volcanes activos y dentro de ellos, y usualmente van acompañados de erupciones volcánicas. Estos terre-

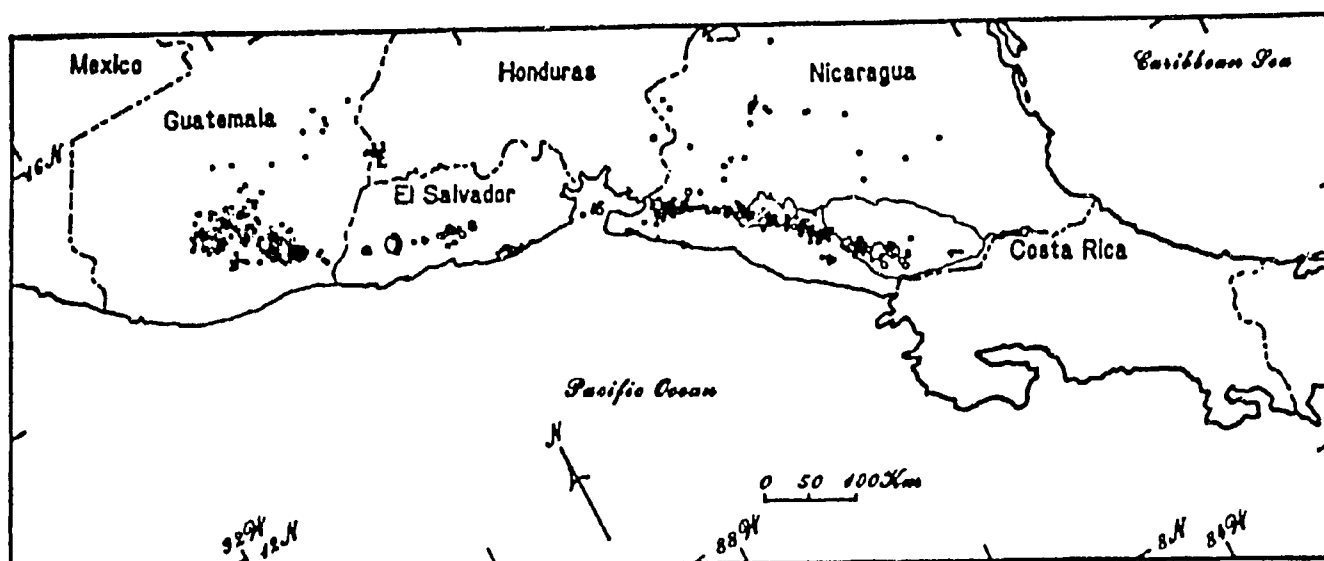


Figura 2. Los epicentros de recientes terremotos de poca profundidad (menos de 15 km de profundidad) localizados durante proyectos cooperativos entre el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) y Nicaragua desde 1975 hasta 1978, Guatemala durante 1982 y El Salvador durante 1984.

motos ocurren en multitudes caracterizadas por un bajo crecimiento de energía sísmica y, luego, actividad volcánica, con los mayores terremotos cerca del medio de los períodos de actividad sísmica, precedentes o acompañados de erupción inicial.

- 3) El tercero y el tipo más común se puede llamar terremoto tectónico-volcánico. Estos terremotos ocurren dentro de volcanes como frecuentes multitudes de (usualmente) bajo nivel de energía sísmica. Estas multitudes son caracterizadas por un corto período de energía sísmica que se incrementa rápidamente, seguido por un temblor principal, seguido por largo número de pequeños temblores. Estos temblores son probablemente relacionados con el movimiento superficial de magma debajo de estos volcanes, pero no son acompañados de erupciones. Ocasionalmente una multitud producirá daños por terremotos.
- 4) El último tipo es probablemente asociado con el colapso o hundimiento de parte del techo de la caldera y puede ser menos frecuente que los otros. *Parece que muchos de los daños por terremotos de los tipos 2 y 3 pueden ser pronosticados unos días antes* porque hay periodos precursores de crecimiento sísmico que usualmente preceden al principal temblor. Se predijo un terremoto a finales del mes de septiembre de 1979 por el Ing. Eddy Sanchez del INSIVUMEH, Guatemala. Debido a un alarmante crecimiento de actividad sísmica, el advirtió a los habitantes locales a que durmieran afuera, indubablemente previniendo

mayores daños cuando el principal temblor golpeará días más tarde.

- b) Fallas normales asociadas con la Depresión de Nicaragua, parecen ser los lugares de baja actividad sísmica, mientras que muchos del noreste de Nicaragua es sísmicamente tranquila.
- c) La mayor parte de la cadena volcánica del noreste de El Salvador es sísmicamente tranquila.
- d) A lo largo de la parte central de Guatemala, muchas fallas cartografiadas se han encontrado activas y algunas fallas adicionales activas.
- e) Se ha empezado el perfil de la zona de subducción. La Figura 3 muestra la zona de subducción de terremotos localizados durante el año 1975 al 1978 del programa cooperativo con Nicaragua. Al contrario de los resultados de otros estudios, el perfil de la zona sísmica de subducción varía muy poco a través de esta región y no se ha encontrado evidencia de ningún desprendimiento. En algunas áreas en donde se conoce que han ocurrido terremotos grandes, el nivel de antecedentes sísmicos se ha observado que ha decrecido antes de la ocurrencia de grandes eventos. La sección 2 de la zona de subducción estuvo ominosamente tranquila durante este reciente período. Desde que se ha conocido la localización de un terremoto (magnitud mayor de $7\frac{3}{4}$) en 1898, se considera corrientemente un riesgo de orden superior.

Recomendaciones para el trabajo ha realizarse en el futuro: Los resultados mencionados arriba van encaminados hacia un entendimiento mejorado de los riesgos regionales sobre terremotos ya considerados como un trabajo que seguirá las necesidades dirigidas para poder

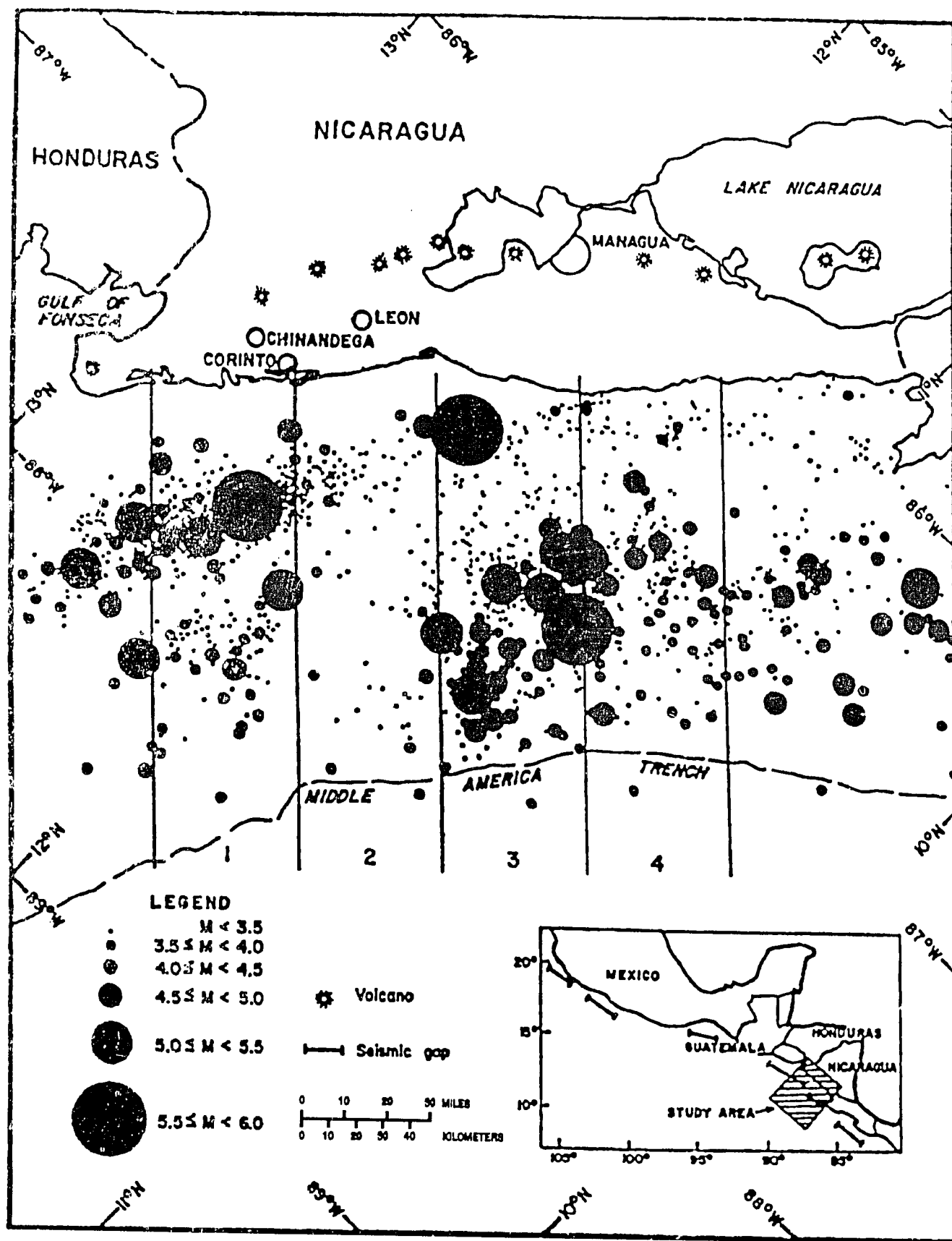


Figura 3. La zona de subducción de terremotos localizada durante el programa cooperativo con Nicaragua de 1975 a 1978.

incorporar esta información directamente al diseño de estructuras y comunidades.

- 1) Los países vecinos necesitan empezar programas cooperativos de intercambio de datos con cada uno para entender mejor la sismología en las áreas costaneras. También, programas de intercambio se recomiendan en vista de que los gobiernos puedan necesitar ayuda con el mantenimiento o renovación de sus redes de microterremotos. La estandarización del equipo y técnicas de procesamiento de datos facilitarían tal cooperación.
- 2) Los lineamientos de sismología descubiertos por las redes de microterremotos deberían ser investigados por geólogos para evidenciar las fallas que todavía no se encuentran en un mapa.
- 3) Para las fallas microsísmicas activas que han sido asociadas, la extensión lateral y la profundidad de la falla puede ser estimada desde la distribución de los microterremotos. Combinada con la evidencia geológica para rapidez de deslizamientos del Holoceno y cantidades de deslizamiento por evento, esta información puede

después ser usada para estimar el riesgo sísmico de la falla.

- 4) Los intervalos de recurrencia necesitan ser estimados para cada falla ya sea mediante los catálogos históricos o mediante zanjas en el campo si fuera posible.
- 5) Instrumento de fuerte movimiento necesitan ser desplegados en todos los centros de mayor población para determinar la respuesta de los sedimentos de la superficie durante los terremotos mayores locales.
- 6) Estimados de los lugares específicos de tiempos de retorno para aceleraciones altas necesitan ser calculadas según lo mencionado arriba.
- 7) Se necesita formular códigos de construcción de acuerdo con los estimados de tiempos de retorno para aceleraciones altas.
- 8) Muchos países necesitan más personal entrenado en ingeniería sísmológica y en ingeniería para ayudar con este trabajo y para revisar a la fecha los códigos de construcción mientras que la nueva información esté al alcance.

THE BUREAU OF MINES—FUNCTIONS AND CAPABILITIES

By Harold J. Bennett¹

The Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior, is the principal Federal Government agency responsible for conducting research and for collecting, interpreting, and analyzing information involving mineral reserves and production, consumption, and recycling of mineral materials. The objectives are to assure the nation, at low human, social, and environmental cost, of adequate mineral supplies necessary to maintain national security, employment, and continued economic growth, and to help stimulate the private sector in the production of minerals.

Towards these objectives, the Bureau of Mines performs the following functions: (1) collects and interprets information on minerals, the minerals industry, and sources of minerals throughout the world; (2) identifies and analyzes mineral problems relative to the nation's requirements; (3) formulates policy options and recommendations to meet these needs; and (4) attempts to provide technological advances to improve efficiency and recovery from mineral deposits and processing systems, to reduce undesirable environmental effects, and to improve health and safety, economic, and national security aspects of producing, using, recycling, and disposing of mineral materials.

To address these functions, the Bureau is organized into four principal program areas, which are (1) Minerals Information; (2) Mineral Data Analyses; (3) Mining Research; and (4) Minerals and Materials Research. Each of these program areas has its own expertise and capabilities which assist in the development of minerals policy, efficient use of natural resources and the abatement of adverse environmental effects stemming from the production and disposal of mineral-based materials.

To aid in understanding the type of expertise and capabilities that could be made available to the government representatives present at this workshop, each of the program areas will be discussed.

The Minerals Information Program area involves gathering, evaluating, and reporting statistical, economic,

and related information on minerals. Information is collected from all government, commercial, industrial, and consumer activities in and related to the minerals industries, both domestic and, to the extent it is available, foreign. Program personnel include both commodity specialists for the some 100 commodities and country area specialists for each of the world nations.

The objective of this program is to provide a reliable data and information base to support development of effective national minerals policy by interpreting and disseminating worldwide data and information on the production and consumption of nonfuel minerals. Current activities encompass the producing/consuming minerals companies for more than 100 commodities through more than 150 formal canvasses. The data obtained from these canvasses are audited, tabulated, and interpreted by commodity specialists and their statistical staffs to evaluate developments in the nonfuel mineral industry and to assess the impact of these developments.

This information is disseminated through an established series of publications, special papers and reports, and through technical assistance and consultant services by the commodity specialists and foreign area specialists.

Services performed by commodity and country specialists include responses to numerous data requests from government, academia, and industry representatives. Industry requests, representing mineral producers and consumers and industry suppliers, address items such as production patterns, changes in technology and areas of competition. Perhaps the program areas that have the greatest potential for assisting in the assessment of known mineral resources are the Bureau programs of Minerals Data Analysis, Minerals and Materials Research, and Mining Research. Within Minerals Data Analysis is the Minerals Availability Program which was established to evaluate the availability of minerals to the U.S. economy from domestic and foreign sources. The program is designed to systematically measure and classify, on an individual-deposit basis, identified domestic and foreign mineral resources for 34 specific commodities. Evaluation of the resources takes into consideration the geo-

¹ U.S. Bureau of Mines, Bldg. 20, Denver, Colorado.

graphic location, quantity and quality, applicable technologies for recovery, and the capital and operating costs associated with production. The data obtained from these site-specific engineering and economic analyses can then be used to formulate both domestic and foreign mineral policies and supply analyses, and can be of direct benefit to programs concerned with stockpile assessment, mineral exploration extraction-technology research, tax structuring, substitute-mineral studies, land utilization, and regulatory-impact analysis.

Deposits subjected to this analysis are existing operations, developing deposits, and explored deposits; sufficient geologic and mineralogic data must exist to develop a mining and processing method and to estimate the costs of producing and marketing the contained minerals. Considered in the analysis of the applicable country are specific tax structures, depreciation schedules, inflation and exchange rates, and productivity differences.

Results, on a deposit basis, are presented as the average total production cost per unit of output and the total units available. The cost can be determined at a break-even situation (return of invested capital with no profit) or at a specific return on invested capital. This average total production cost can then be compared to the current market price to indicate the viability of the project. Also, the current market price could be assigned to the commodity to determine the rate of return for the operation.

Data for the deposits of a particular industry are aggregated and provide a means of noting total availability and the position of a deposit relative to others concerning costs of reproduction and quantity of commodity available. Currently, data on 195,000 mineral occurrences reside as a computerized data base, more than 6,000 of which are foreign deposits including 15 in the countries of Costa Rica, Guatemala, Honduras, Panama, and Nicaragua; by contrast, 205 and 138 are in Mexico and Columbia, respectively.

Numerous products—including techniques, handbooks, and computer software—have been developed to conduct the evaluations and analyses. A system has been developed to provide estimates of capital and operating costs for nonfuel minerals. The system is available in a handbook and in a computerized version. Available, also, are 13 country-specific indexes for 95 countries covering labor-wage rates, equipment, transportation, exchange rates, and other production-cost items. These indexes are used in updating capital and operating costs and in transposing equipment and production costs from nation to nation.

The computer software consists primarily of a mine-simulation (MINSIM) program which simulates the operation for a specified period of time utilizing input parameters of capital and operating costs; production

information and profitability factors, such as net present value, rate-of-return on investment, or required commodity price also are provided. Sensitivity analyses can be performed, noting impacts in changes in input data, commodity prices, inflation, and tax structure.

Because of their specialized engineering and mineral economic expertise and their access to the information developed due to the broad scope of the Minerals Availability Program, Bureau personnel are frequently involved in special engineering and mineral economic projects for domestic and foreign governmental agencies. Such projects have included engineering and costing of mineral properties, property economic analyses, analyses of proposed tax regulations, and financing of mineral operations.

If requested by the involved representatives of the various nations, engineering, economic, and production potential could be evaluated on a deposit basis. In the process, training of personnel and transfer of computer software would take place.

Minerals and Materials Research Program provides fundamental scientific and technical information essential to accelerate technological advances in the Nation's nonfuel minerals industry. The program emphasizes basic studies designed to determine new fundamental scientific concepts in extractive metallurgy, materials, and recycling technologies. Such work also provides the on-the-shelf technology that could be used in times of national emergency to treat otherwise uneconomic domestic resources, thereby helping to offset shortfalls in supply caused by the cutoff of foreign sources.

Concern over the Nation's dependence on foreign sources for certain mineral raw materials continues to be a preeminent criterion for allocating resources to minerals research. For critical and strategic minerals there are three principal research-oriented approaches to addressing this national problem: (1) devise new extractive metallurgy for treating domestic low-grade and complex resources; (2) seek substitute and alternative materials; and (3) reduce imports through conservation and recycling. The Minerals and Materials Research Program actively pursues all three approaches with the fundamental high-risk research necessary to provide solutions.

The Bureau's Mining Research Program seeks to improve the health and safety of mineral-industry employees, and to develop, or refine, various practices in the mining operation to improve resource recovery and increase productivity.

The Bureau's Health and Safety Technology Program seeks to provide information and technology which will reduce health and safety hazards of mineral-industry workers.

Despite the progress that has been made, health and safety problems in mines remain very costly. Mining employs about 1 percent of the Nation's workforce, but

accounts for approximately 10 percent of its occupational fatalities. The cost of mining fatalities and injuries for 1983 was more than \$232 million, computed from medical treatment costs, compensation from occupational insurance, and Social Security and union losses in production due to inefficiency or mine shutdowns following accidents. The cost of compensation for black-lung disease in coal miners is approximately \$1.7 billion annually.

The Health and Safety Program currently addresses the following areas: respirable dust, noise control, radiation hazards, industrial hygiene, ground control, industrial hazards, and disaster prevention.

The objective of the Mining Technology Program is to provide the technological advances needed to stimulate the mining of domestic deposits containing critical, strategic, and other essential minerals, including coal. At the same time, mining must be done in compliance with existing regulations and at costs sufficiently low to be competitive in world markets. Research efforts are directed toward improving fundamental understanding of processes involved in the production of minerals. The overall goals are accomplished by investigating alternative mining methods to increase domestic production of critical and strategic minerals from low-grade deposits; expanding the technology for the economic and efficient extraction of minerals consistent with cost-effective com-

pliance with environmental regulations; and advancing the technologies needed to insure an adequate supply of coal.

Current research topics in Mining Technology include coal-mining technology, metal and nonmetal mining technology, and environmental issues such as solid wastes, acid mine drainage, abandoned mine fire control, and subsidence.

Recognizing the benefits of technical information exchange and sharing research resources and facilities, the Bureau is currently engaged in international scientific and technological cooperation with mining research organizations in several countries, including Canada, West Germany, South Korea, the United Kingdom, and Yugoslavia. Information exchanges with many other countries are maintained.

In summary, the expertise and capabilities available from the Bureau of Mines encompass all aspects of mineral production from development through production of marketable products. Assistance can be provided in the testing and design of mining and processing techniques, and in engineering and economic analyses to determine costs and the commercial potential of production from identified deposits. Training in the use of technology also can be made available, and engineers and scientists of participating nations can participate in the analyses and in the metallurgical processing and testing of material.

OFICINA DE MINAS—FUNCIONES Y APTITUDES

Por Harold J. Bennett¹

La Oficina de Minas, Departamento del Interior de los Estados Unidos, es la agencia Federal Gubernamental principalmente responsable de dirigir investigaciones, así como de recabar, interpretar y analizar información relacionada con reservas minerales, producción, consumo y reciclaje de materiales minerales. El objetivo es proporcionar a la nación, a un costo humano, social y ambiental bajo, abastecimientos minerales necesarios para mantener la seguridad de la nación, empleos y un continuo desarrollo económico y ayudar al sector privado en la producción de minerales.

Con estos objetivos en mente, la Oficina de Minas tiene a su cargo las siguientes funciones: 1) Recabar e interpretar información sobre minerales, la industria de minerales y fuentes de minerales de todo el mundo; 2) Identificar y analizar problemas minerales relacionados con los requerimientos de las naciones; 3) Formular opciones de políticas y recomendaciones para estas necesidades; y 4) Procurar proporcionar avances tecnológicos para mejorar la eficiencia y la recuperación de los depósitos minerales y sistemas de proceso con el objeto de reducir efectos ambientales no deseados; también, mejorar los aspectos de salubridad, seguridad y protección nacional al producir, usar, reciclar y desechar materiales minerales.

Para dirigir estas funciones, la oficina ha sido organizada en cuatro programas de áreas principales, las cuales son: 1) Información mineral; 2) Análisis de información mineral; 3) Investigación minera; y 4) Investigación minerales y materiales. Cada uno de estos programas de área tiene su propia especialidad y aptitud que ayuda al desarrollo de políticas minerales, uso eficiente de recursos naturales y disminución de efectos ambientales adversos provenientes de la producción y desecho de materiales a base de minerales.

Todos los programas de áreas serán discutidos con los representantes gubernamentales presentes en el taller de trabajo, con el objeto de darles a conocer las especialidades y aptitudes que podrían estar a su alcance.

El programa de información mineral del área incluye recabación, evaluación e información estadística y económica, relacionados con información sobre minerales. La información es recabada de fuentes gubernamentales, comerciales, industriales y actividades del consumidor, relacionadas con la industria mineral, tanto nacional como, si fuere posible, extranjera. El programa de personal incluye especialistas en la materia (para unos 100 productos) y especialistas del área de campo de cada una de las naciones del mundo.

El objetivo de este programa es proveer datos e información confiables para poder amparar el desarrollo efectivo de la política mineral por medio de interpretaciones y diseminaciones de información y datos de la producción y consumo de minerales no-combustibles en todo el mundo. Las actividades corrientes abarcan las compañías productoras/consumidoras de minerales para más de 100 productos a través de más de 150 encuestas (investigaciones) formales. La información que se obtiene de estas encuestas es auditada, tabulada e interpretada por especialistas en la materia y por su personal estadístico, con el fin de evaluar los desarrollos de la industria de minerales no-combustibles y para asesorar el impacto de estos desarrollos.

Esta información es diseminada por medio de una serie de publicaciones, papeles especiales y reportes especiales a través de asistencia técnica y servicios consultores por los especialistas en la materia así como especialistas de área extranjeros.

Los servicios llevados a cabo por especialistas de productos y del campo incluyen dar respuesta a numerosas peticiones por parte de representantes del gobierno, academia e industria. Los requerimientos industriales de representantes de productores/consumidores minerales y abastecedores industriales se refieren a asuntos tales como patrones de producción, cambios en tecnología y áreas de competencia. Posiblemente el programa de área que tiene gran potencial para poder ayudar en el asesoramiento de recursos minerales conocidos son: Análisis de Información Mineral, Investigaciones de Materiales y Minerales e Investigación Minera.

Dentro de los Análisis de Información Mineral se encuentra el Programa de Disponibilidad de Minerales, el

¹ U.S. Bureau of Mines, Bldg. 20, Denver, Colorado, United States of America.

cual fué establecido con el objeto de evaluar los minerales disponibles para la economía de los Estados Unidos provenientes de fuentes nacionales y extranjeras. El programa está diseñado para medir y clasificar sistemáticamente en bases de depósitos individuales, recursos minerales, nacionales y extranjeros, identificados para 34 productos específicos. En la evaluación del recurso se considera la ubicación geográfica, cantidad y calidad, tecnología aplicables para recuperación, así como el capital y costo de operación relacionado con la producción. La información obtenida del análisis económico e ingeniería puede entonces ser utilizado, para formular la política mineral, nacional y extranjera, y además proporcionar análisis, siendo a la vez de gran beneficio para programas relacionados con asesoramiento en información, exploración mineral, investigación de extracción tecnológica, estructuración de impuestos, estudios sobre sustitutos minerales, utilización de tierras y análisis de impactos regulatorios.

Los depósitos sujetos a este análisis son las operaciones existentes, depósitos en desarrollo y depósitos ya explorados; debe existir suficiente información geológica y mineralógica para poder desarrollar un método minero y de proceso así como para determinar el costo de la producción y mercadeo de los minerales. También se consideran en el análisis del país aplicable estructuras de impuestos específicos, depreciación de horarios, inflación, porcentajes de cambio y diferencias en productividad.

Los resultados, en base de depósito, son presentados como el costo total promedio por unidad de producción y del total de unidades disponibles. El costo puede ser determinado en bases iguales (recuperación del capital invertido sin ganancia alguna) o bien con cierta recuperación del capital invertido. Este total promedio de producción puede ser entonces comparado con los precios corrientes en el mercado para indicar la viabilidad del proyecto. El precio corriente del mercado se puede asignar al producto para determinar la ganancia de la operación.

La información de depósitos de una industria, en particular, se agrega a la vez que provee un medio para hacer notar la disponibilidad total y la posición relativa de un depósito a otro, relativo al costo de reproducción y calidad del producto disponible. Actualmente, se encuentran computarizados datos sobre 195.000 ocurrencias minerales, más de 6.000 son depósitos extranjeros incluyendo 15 en los países de Costa Rica, Guatemala, Honduras, Panamá y Nicaragua; por contraste, 205 y 138 se encuentran en México y Colombia respectivamente.

Numerosos productos—incluyendo técnicos, libretos y programa de computadora "software"—han sido desarrollados para llevar a cabo evaluaciones y análisis. Un sistema ha sido elaborado con el objeto de proporcionar costos estimados de capital y operación para miner-

ales no-combustibles. El sistema se encuentra disponible en libreto, y en una versión computarizada. Asimismo, se encuentra disponible un índice con 13 áreas de campo específicas de 95 países, que cubre porcentajes de sueldos, equipo, transporte, porcentajes de cambio y otros artículos de costo de producción. Estos índices se utilizan para poner al día los costos de capital y operación, así como costos para trasladar equipo y producción de una nación a otra.

El programa "software" de la computadora consiste, primordialmente, en un programa de simulación minera (MINSIM) el cual simula una operación para un período específico utilizando parámetros de capital y costos de operación establecidos; también se provee información de producción y factores de ganancias, tales como: valores netos, tasa de recuperación de la inversión y precios del producto requerido. El análisis de susceptibilidad se puede llevar a cabo notando los cambios en la información establecida, precios de productos, inflación y estructura de impuestos.

El personal de oficina se ve con frecuencia involucrado en proyectos especiales de ingeniería y economía mineral tanto nacional como de agencias gubernamentales extranjeras, debido a la especialización que han tenido con el Programa de Disponibilidad de Minerales.

Un depósito base podría ser evaluado en los aspectos de ingeniería, economía y potencial de producción si así fuese requerido por los representantes de varias naciones involucradas. En dicho proceso podría existir la necesidad de entrenar personal y cambiar el sistema de la computadora.

El Programa de Investigación Mineral y Material proporciona información científica y técnica esencial con el objeto de acelerar los avances tecnológicos de la industria de minerales no-combustibles de la nación. El programa hace énfasis en estudios básicos diseñados para determinar conceptos científicos nuevos y fundamentales en la extracción metalúrgica, materiales y tecnologías de reciclaje. Dicho trabajo también provee tecnología al alcance de la mano que podría ser utilizada en casos de emergencia nacional para tratar recursos nacionales no económicos, ayudando a compensar la falta de recursos extranjeros.

La preocupación de la dependencia nacional de recursos extranjeros (materia prima de minerales) continúa siendo la razón mayor para continuar buscando nuevos recursos minerales. En lo que se refiere a minerales críticos y estratégicos existen 3 acercamientos orientados a la investigación para tratar este problema: 1) Hacer un mecanismo para extracción metalúrgica para tratar recursos nacionales complejos y de nivel bajo; 2) Buscar materiales alternativos y sustitutos; y 3) Disminuir las importaciones por medio de la conservación y reciclaje. El programa de investigación de minerales y

materiales se dedica a estos tres acercamientos tratando fundamentalmente de encontrar respuestas a los mismos.

La Oficina del Programa de Investigación Minera se empeña en mejorar los aspectos de salubridad y seguridad de los empleados de la industria minera, así como desarrollar o refinar varios métodos en la operación minera con el objeto de mejorar la recuperación de recursos e incremento en productividad.

El programa de Tecnología de Salubridad y Seguridad tiene como finalidad proveer información y tecnología que reduzca peligros de salubridad y seguridad a los trabajadores de la industria minera.

A pesar del progreso obtenido, los problemas de salubridad y seguridad en las minas es muy costoso. La industria minera emplea aproximadamente un por ciento de la fuerza de trabajo nacional pero únicamente se hace responsable del 10 por ciento de las fatalidades ocupacionales. El costo de fatalidades y lesiones mineras para el año 1983 fue más de \$232 millones, computarizado de costos de tratamientos médicos, compensaciones del seguro ocupacional, pérdidas de Seguro Social y sindicato de trabajadores (pérdidas debido a ineficiencias o cierre de mina debido a accidentes). La compensación por enfermedades de pulmón-negro (black-lung disease) en los mineros abarca un costo anual de \$1.7 billones.

Actualmente, el Programa de Seguridad y Salubridad se refiere a: polvo respirable, control de ruidos, peligros de radiación, higiene industrial, control de tierra, peligros industriales y prevención de desastres.

El objetivo del Programa de Tecnología Minera es proveer los avances tecnológicos necesitados para estimular los depósitos mineros nacionales que contienen minerales críticos, estratégicos y esenciales, incluyendo el carbón. Al mismo tiempo, la minería se debe llevar a cabo de conformidad con las regulaciones existentes y con costos suficientemente bajos para que puedan ser com-

petitivos en el mercado mundial. Todos los esfuerzos de investigación están orientados a mejorar el entendimiento fundamental de procesos involucrados en la producción de minerales. Las metas generales son llevadas a cabo por medio de investigaciones de métodos mineros alternativos para aumentar la producción nacional de minerales estratégicos y críticos de depósitos de bajo grado; expandir la tecnología para la extracción económica y eficiente de minerales estando de acuerdo con las regulaciones ambientales; y avance de tecnologías necesarias para asegurar el abastecimiento de carbón.

Tópicos de investigación actuales sobre Tecnología Minera incluyen: tecnología en minas de carbón, tecnología minera metal/no-metal y temas del ambiente tales como: desechos sólidos, drenaje minero de ácidos, control de incendios minero abandonado y depósitos.

Reconociendo los beneficios de intercambiar información técnica y de compartir recursos de investigación, así como facilidades, la Oficina de Minas se encuentra comprometida en cooperación científica y tecnológica internacional con organizaciones mineras de investigación en varios países, incluyendo Canadá, Alemania Oriental, Corea del Sur, Reino Unido y Yugoslavia. Se mantienen intercambios de información con muchos otros países.

En resumen, la especialidad y aptitudes disponibles en la Oficina de Minas abarcan todos los aspectos de la producción mineral desde el desarrollo a través de productos en el mercado. Se puede proporcionar asesoría en el muestreo y diseño de minería y técnicas de proceso, así como en ingeniería y análisis económico para determinar costo y potencial comercial de la producción de depósitos identificados. Asimismo, se puede proporcionar entrenamiento en el uso de tecnología, ingenieros y científicos de las naciones participantes pueden tomar parte en el análisis de los materiales.

MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF SURFACE AND GROUND WATERS

By Ferdinand Quinonez Marquez

The handling and development of water resources in any country requires a series of elements. Integration of these elements into an action plan necessitates the creation of organizations and infrastructure related to water resources. The organization of such a plan depends, at the same time, on the source of such resources; that is to say, whether superficial or ground waters should be predominant. Problems with regard to water quality also depend on the source to be used.

The main element for the handling and optimum development of water resources is the existence or creation of a central agency responsible for determining the amount, quality, and occurrence of water resources. In many countries, these responsibilities are unfortunately divided among several regional and national agencies. The need for one sole entity is based on the following:

1. Economic factors: Avoids the duplication of personnel and efforts, optimizing the use of available resources.
2. Methodology and quality control: Sets forth methods and uniform proceedings for data collection, analyses, and processing.
3. Establishes a central deposit for all hydrologic information as well as for its distribution and disbursement through publications.

Several models for the central organization that will be responsible for hydrologic research exist. In some countries, all work is divided into the two most important branches of hydrology: surface and ground water. Even though there are instances in which the water-quality aspect appears to be a separate task, this practice is not desirable. Water quality is very closely related to its origin.

The organizational model used by the U.S. Geological Survey (USGS) is based on a central structure where research for ground and surface waters is combined, integrating at the same time, the quality determination for such waters. In this structure (fig. 1), fundamental divisions move around the collection of the so-called "basic data" and hydrological investigations. A semi-independent unit is responsible for the operation of all hydrological networks, including flow determination in river beds,

levels of superficial and ground water, meteorological data, and water quality. Personnel in this unit are also responsible for the processing and analysis of information received from hydrological networks, including preparation of its publication. Publication of annual volumes constitutes the culmination of the duties of the "Basic Data Unit" as it is the source for many practical applications and future investigations (fig. 2).

In addition to the basic data unit, the USGS organizational model includes a unit for "hydrological investigations." This unit is responsible for designing, planning, and implementing special investigation projects in specific disciplines or in regional areas. Personnel in this unit, generally hydrologists, geologists, engineers, and hydrology technicians' teams, are responsible for all investigations from their initial design, up to the publication of final reports. A close coordination exists between this unit and that of the "Basic Data Unit" because special investigations require field information. The administrative unit, through the Director, serves as the needed liaison.

In mountainous countries similar to those of Central America, superficial waters are the most common water resource. The optimum handling of superficial water resources requires an investigation and development plan involving the following elements:

1. Designing and setting up of optimum networks to determine available flow or volume in the area of interest. The design of a hydrological network includes, generally, three types of gaging stations:
 - a. Short-term stations designed to obtain drafting data for water structures and water facilities. This type of station may be automatic (instruments measure indirectly the continuous water flow), or manual (an observer writes down the relative raising or water elevation several times a day). Short-term stations are usually designed with specific purposes and a 2-5 year duration. One of the classic problems encountered with this type of station is the tendency to keep them operating after their short-term objective has been accomplished.

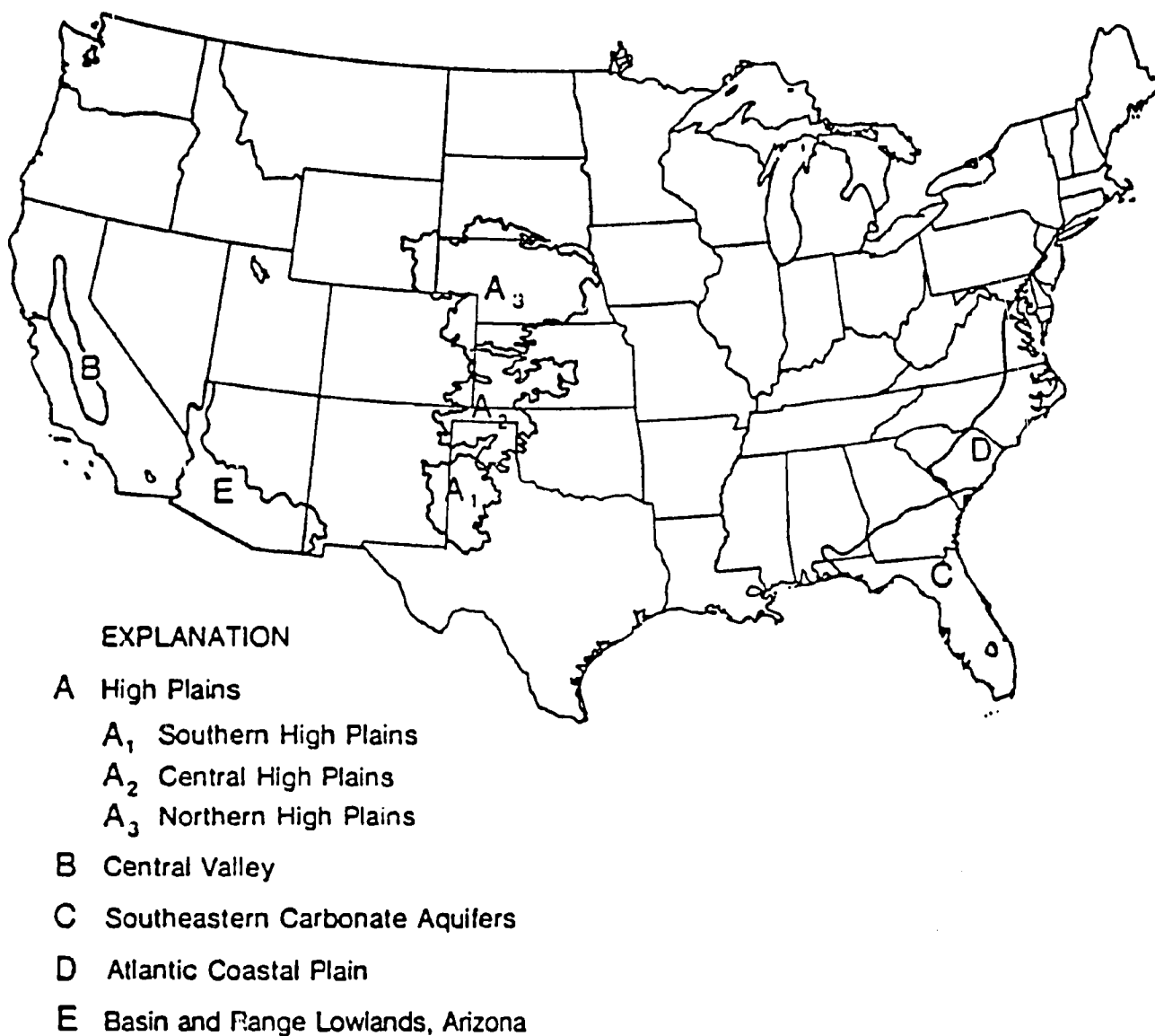


Figure 1. Areas adversely affected by excessive extraction of ground water in central United States.

- b. Long-term stations with statistical purposes. The most important component of a hydrological network for superficial waters is long-term stations. The long-term stations network provides all information needed for statistical analyses which in turn serve as a basis for studies about flood frequency, average flows, maximum and minimum flows, water dam and filtration plants design. The main problem in a long-term stations network is, usually, an excess of stations. Once again, reluctance or unwillingness to discontinue such stations is shown. There exist statistical methodologies, even applying economical components, to optimize long-term networks.
- c. Special-use stations. This type of station answers unique demands for flow data, such as the neces-

sity of a business or industry to know the flow at a certain point so as to comply with legal or environmental requirements and dispositions.

2. The second component consists of data processing, analysis and publication. This calls for:
 - a. Technically correct methods for data processing and analysis. The basic problem in this area is the diversity of methodologies used by different entities or agencies within the same country. It is necessary to produce uniform and standard manuals and guides in this respect, and to carry out practical training shops to implement such methods.
 - b. Equipment and modern facilities for data processing, storage, handling, and withdrawal. Normally, the volume of hydrological data becomes

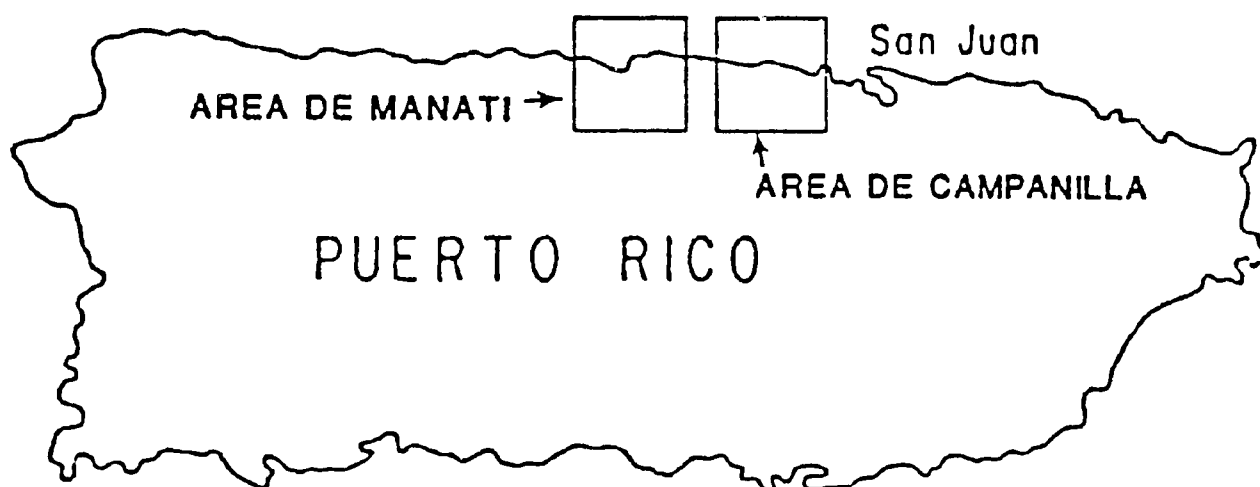


Figure 2. Areas adversely affected by saline intrusion on the northern coast of Puerto Rico.

so large that it surpasses institutions' capacities for its processing and storage. A classical problem in this area is storing data which later on is difficult or almost impossible to withdraw for use. Computers' systems provide the necessary tools for carrying out this task (fig. 3). Technological progress in microprocessors permits the installation processing and analysis systems with a minimum capital investment.

- c. Mechanisms for publishing and releasing information. In many countries, a great amount of hydrological data is stored in files and records of the organizations which collect them. Such information is unknown to researchers and engineers due to lack of publications. It is thus necessary to publish basic data promptly and frequently in annual books (for example, see figs. 4-9).
3. The third component for the handling of superficial waters is the implementation of regulations for the use, extraction, and maintenance of the quality of such waters. Traditionally, in countries where superficial waters are abundant, this stage of the handling of this resource is not considered important. However, international experience shows that it is of the utmost importance to establish necessary mechanisms to optimize the use of and to preserve water resources even under conditions of abundant supplies. With this purpose in mind, it is necessary to set up mechanisms for:
 - a. Regulating the volume of extractions from each basin, so as to warrant existing rights and future needs.
 - b. Regulating the quality of discharges to superficial water bodies so as to reduce to a minimum their pollution.
 - c. Regulating the use of basin terrains in order to

minimize changes in flow patterns and sediment production.

The optimum handling of ground-water resources calls for a series of measures and regulations similar to those utilized for superficial waters:

1. The establishment of short- and long-term station networks so as to determine the levels of the phreatic, or subsurface, stratum as well as water quality. The design of networks should follow a logical process based on the knowledge of hydraulics of ground waters and water-bearings involved. Similarly to the case of surface water stations, there exists a trend to operate excess stations for long periods of time. This trend is even more pronounced when taking samples from wells for chemical and physical analyses. Statistical analysis provides a mechanism to optimize networks at phreatic levels and to minimize the collection of data with regard to well-water quality.
2. Determination of the amount, occurrence, and movement of ground waters. In the USGS' system, this duty belongs to the Hydrological Research Unit, where projects are designed for this purpose. The definition of ground-water resources in a basin or area undergoing special investigations requires important investments both in money and time. For this purpose, it is necessary that agencies involved in research activities should have:
 - a. Highly qualified personnel in hydrogeology, geochemistry, ground-water hydraulics, simulation of water-bearing, or aquiferous systems, as well as in other sciences related to hydrology.
 - b. Field equipment and office and laboratory installations and facilities for the collection and processing of field data. Normally, equipment for wildcat drilling is needed, as well as equipment for aquiferous sampling, and well and geophysical testing, together with computers for data

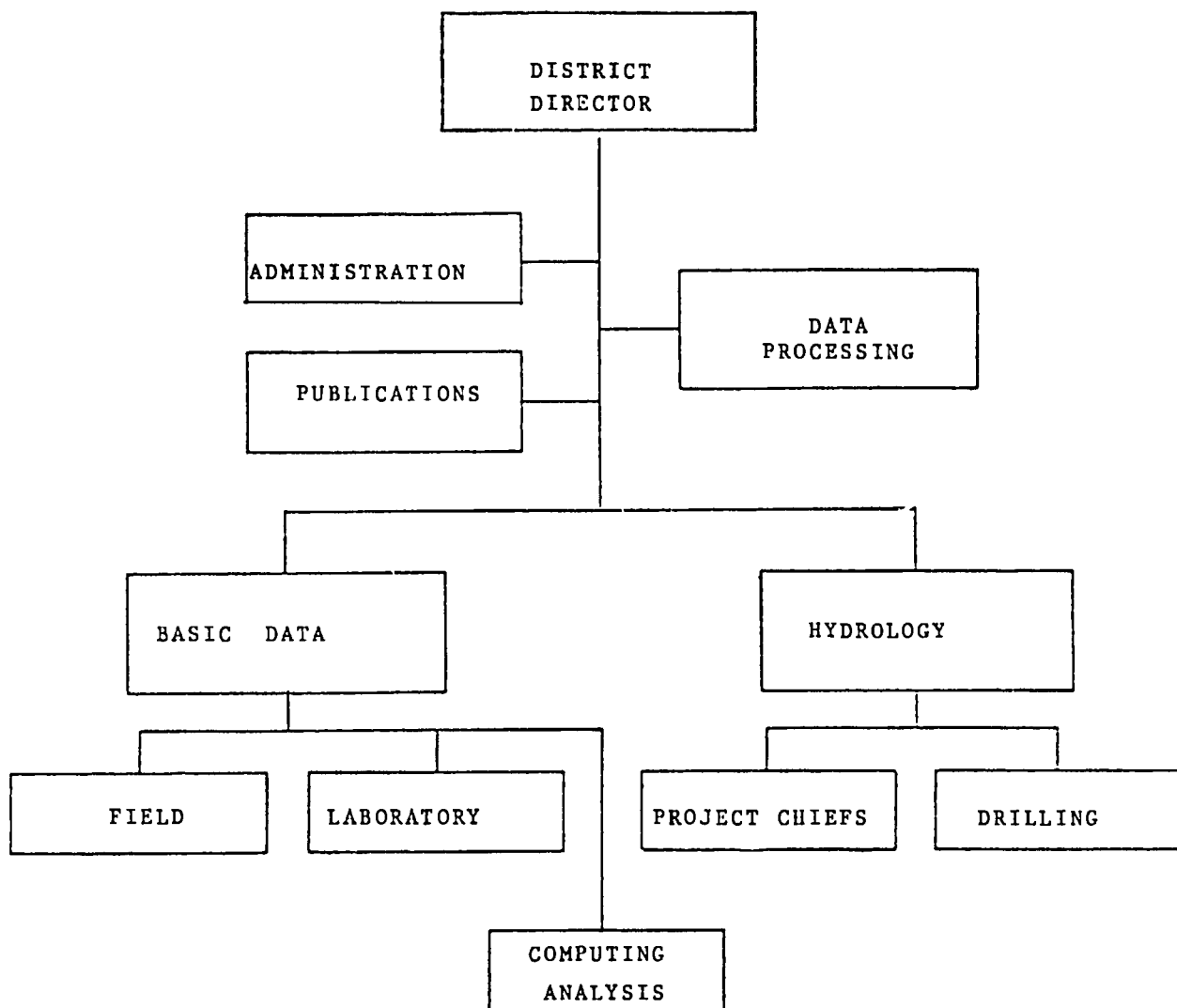


Figure 3. A typical organization chart of an office in the Division of Water Resources of the U.S. Geological Survey.

- processing and simulation of ground-water flow
- c. Facilities and personnel for the preparation, publication, and release of basic data and results obtained from special investigations in the area of ground water. Publication of basic data may be put together with those of superficial water in one sole annual book, which should also include the quality of both types of waters. Special projects require separate volumes at the end of the investigation.
- 3. Development and implementation of structures, mechanisms, and regulations so as to optimize the use of ground-water resources. This element should comprise:
 - a. Legal mechanisms for the possession of ground waters in accordance with existing rights and the reasonable use and benefit. In many countries, special "water laws" have been passed, including systems for designing permits and well drilling, water extraction, as well as tariff systems for different kinds of uses.
 - b. Regulations for protection of ground waters, especially those water-bearings which are mainly used for potable water. These regulations control domestic discharges, as well as agricultural and industrial discharges into water-bearing basins, minimizing the pollution thereof.
 - c. Design and implementation of systems such as mathematical models to maximize the use of ground waters. Modern technology permits the implementation of such models at a minimum cost.

Water Resources Data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 1983

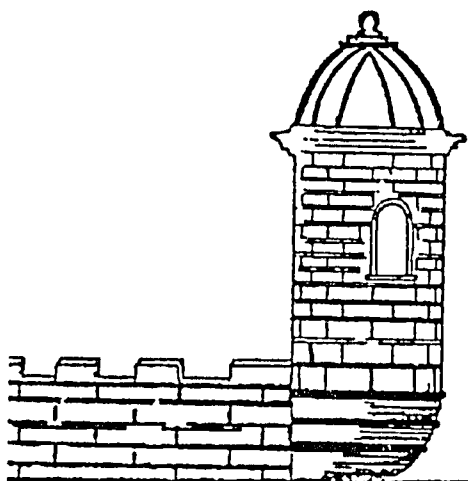
by Russell E. Curtis, Senén Guzmán-Ríos, and Pedro L. Díaz



U.S. GEOLOGICAL SURVEY WATER DATA REPORT PR-83-1

Prepared in cooperation with the Commonwealth of Puerto Rico,
the Government of the U.S. Virgin Islands, and other agencies

Figure 4. Typical publication giving basic data on the flow, quality of water, and phreatic levels.



WATER RESOURCES IN PUERTO RICO AND THE U.S. VIRGIN ISLANDS: A REVIEW

VOLUME 4 NUMBER 2

JANUARY 1985

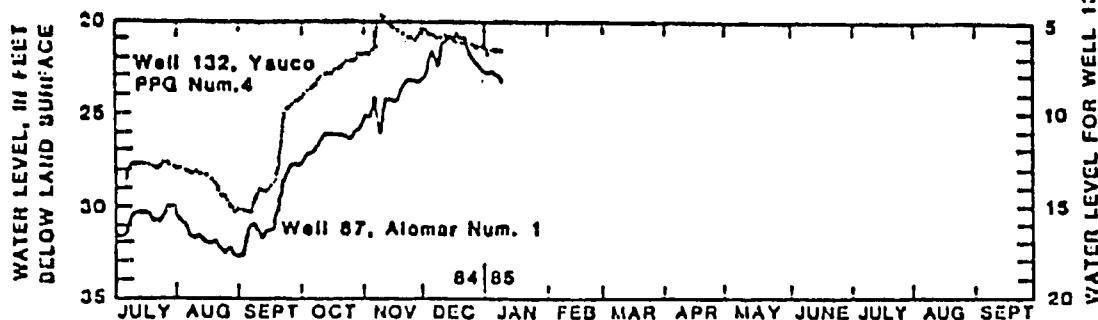
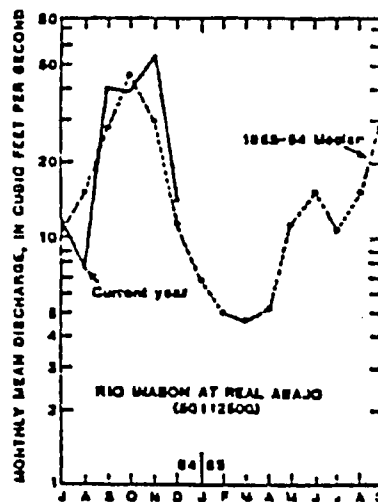
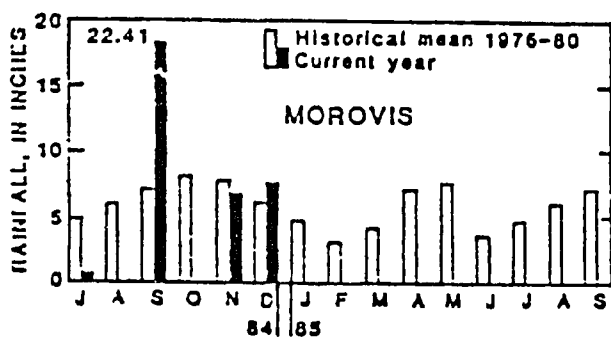


Figure 5. Informative bulletin of the U.S. Geological Survey in Puerto Rico summarizing hydrometeorologic conditions.

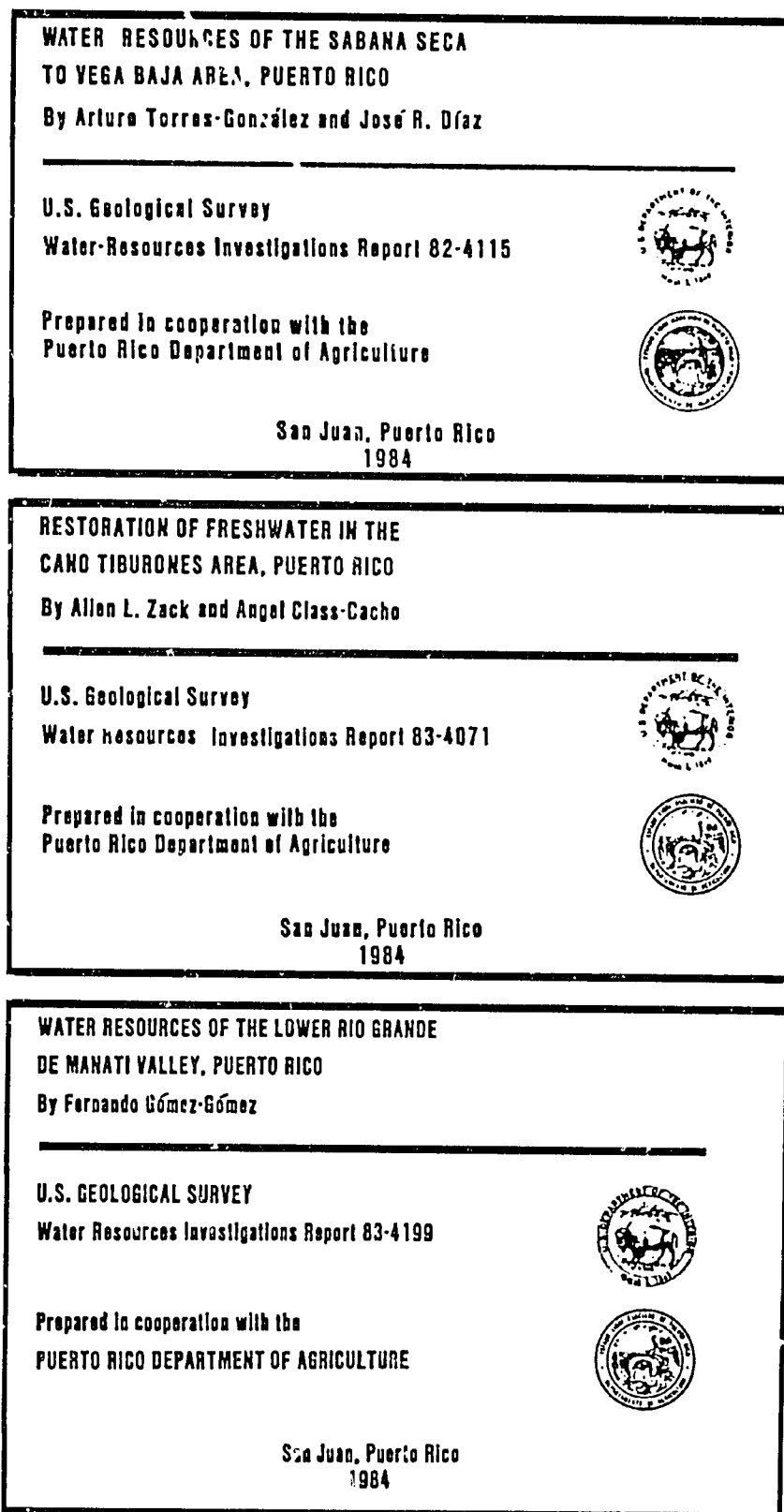


Figure 6. Typical publications of the U.S. Geological Survey in Puerto Rico summarizing the hydrological investigations in areas of the country.

Caribbean District
Open-File Report:

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
Geological Survey

A PROPOSED STREAMFLOW-DATA PROGRAM
FOR PUERTO RICO

by
Miquel A. López and Fred K. Fields
U. S. Geological Survey

Prepared in cooperation with
COMMONWEALTH OF PUERTO RICO

August 1970

SURFACE WATER DATA NETWORK
ANALYSIS FOR PUERTO RICO

By Patrick W. McKinley

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
WATER-RESOURCES INVESTIGATIONS
REPORT 83-4055

Prepared in cooperation with the
PUERTO RICO DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES

San Juan, Puerto Rico
1985

Cost Effectiveness of the
Stream-Gaging Program in Maine—
A Prototype for
Nationwide Implementation

By R. A. Fontaine, M. E. Moss, J. A. Smath,
and W. O. Thomas, Jr.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 2244

Figure 7. Summary of publications on techniques to optimize surface-water data network.

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

REGLAMENTO

Para El

APPROVECHAMIENTO, USO,
CONSERVACION Y
ADMINISTRACION DE LAS
AGUAS DE PUERTO RICO

Septiembre, 1984



Figure 8. Regulation on the use and development of water in Puerto Rico.

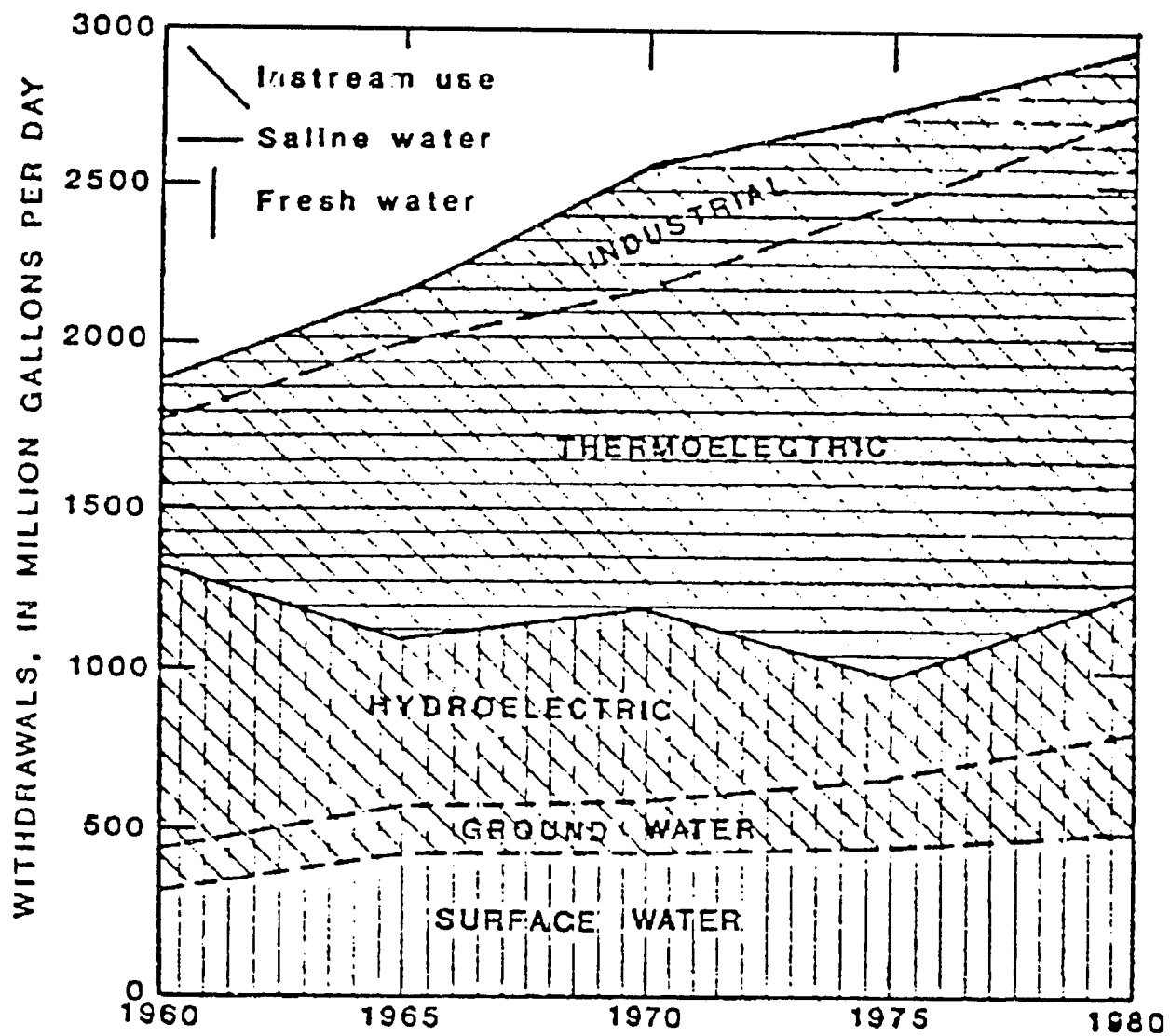


Figure 9. Typical information obtained by water use programs.

EL MANEJO Y DESARROLLO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

Por Ferdinand Quinones Marquez

El manejo y desarrollo de los recursos de agua en cualquier país requiere una serie de elementos. La integración de estos elementos en un plan de acción requiere la creación de organizaciones e infraestructuras relacionadas con los recursos de agua. La organización del plan depende a su vez de la fuente de los recursos: esto es, si la preponderancia son aguas superficiales o subterráneas. Los problemas de calidad de agua también dependen de la fuente a usarse.

El principal elemento para el manejo y desarrollo óptimo de los recursos de agua lo constituye la existencia o creación de una entidad central responsable para la determinación de la cantidad, calidad, y ocurrencia de los recursos de agua. En muchos países estas responsabilidades están desafortunadamente divididas en una serie de entidades regionales y nacionales. La necesidad de una sola entidad se fundamenta en las siguientes razones:

1. Factores económicos: Evita la duplicación de personal y esfuerzos, optimizando el uso de los recursos disponibles.
2. Control de metodología y calidad: Establece métodos y procedimientos uniformes para la colección de información, procesamiento y análisis de los datos.
3. Establece un depósito central para la información hidrológica así como para su disseminación a través de publicaciones.

Existen varios modelos para la organización central responsable por las investigaciones hidrológicas. En algunos países se dividen las funciones en las dos grandes ramas de la hidrología: aguas superficiales y aguas subterráneas. Aunque el área de calidad de agua a veces aparece como una función separada, esta práctica no es deseable. La calidad de las aguas está estrechamente ligada a la procedencia de las mismas.

El modelo organizacional utilizado por el U.S. Geological Survey (USGS), Division de Recursos de Agua, se fundamenta en una estructura central donde se combinan las investigaciones de aguas subterráneas y superficiales a su vez integrando la determinación divisiones fundamentales giran en torno a la colección de los llamados "datos básicos" e investigaciones hidrológicas

(fig. 1). Una unidad semi-independiente es responsable de la operación de todas las redes hidrológicas, incluyendo determinación de flujos de cauces, niveles de agua superficial y subterráneos, datos meteorológicos, así como la calidad de las aguas. El personal de esta unidad también es responsable del procesamiento y análisis de la información de las redes hidrológicas, incluyendo su preparación para publicación. La publicación de volúmenes anuales es el clímax de las funciones de la "unidad de datos básicos", ya que es la fuente para muchas aplicaciones prácticas y futuras investigaciones (fig. 2).

En adición a la unidad de datos básicos, el modelo organizador del USGS incluye una unidad de "investigaciones hidrológicas". Esta unidad es responsable del diseño, planificación y ejecución de proyectos de investigación especiales en disciplinas específicas o en áreas regionales. El personal de esta unidad, generalmente equipos de hidrólogos, geólogos, ingenieros y técnicos de hidrología, es responsable por las investigaciones desde su diseño hasta la publicación de los informes finales. Debido a que las investigaciones especiales conllevan la adquisición de información de campo, existe una coordinación íntima entre esta unidad y la de "Datos Básicos". La unidad administrativa, a través del Director, provee el enlace necesario.

En los países montañosos similares a Centro América, las aguas superficiales constituyen la mayor parte de las veces el recurso de agua principal. El manejo óptimo de los recursos de agua superficiales requiere un plan de investigaciones y desarrollo que envuelva los siguientes elementos:

1. Diseño e instalación de redes óptimas para determinar el flujo o caudal disponible en el área de interés. El diseño de una red hidrológica incluye generalmente tres tipos de estaciones fluviométricas:
 - a. Estaciones a corto plazo diseñadas para obtener datos de diseño para estructuras y facilidades de agua. Este tipo de estaciones pueden ser automáticas (instrumentos para medir indirectamente el flujo continuo de agua) o manuales (un

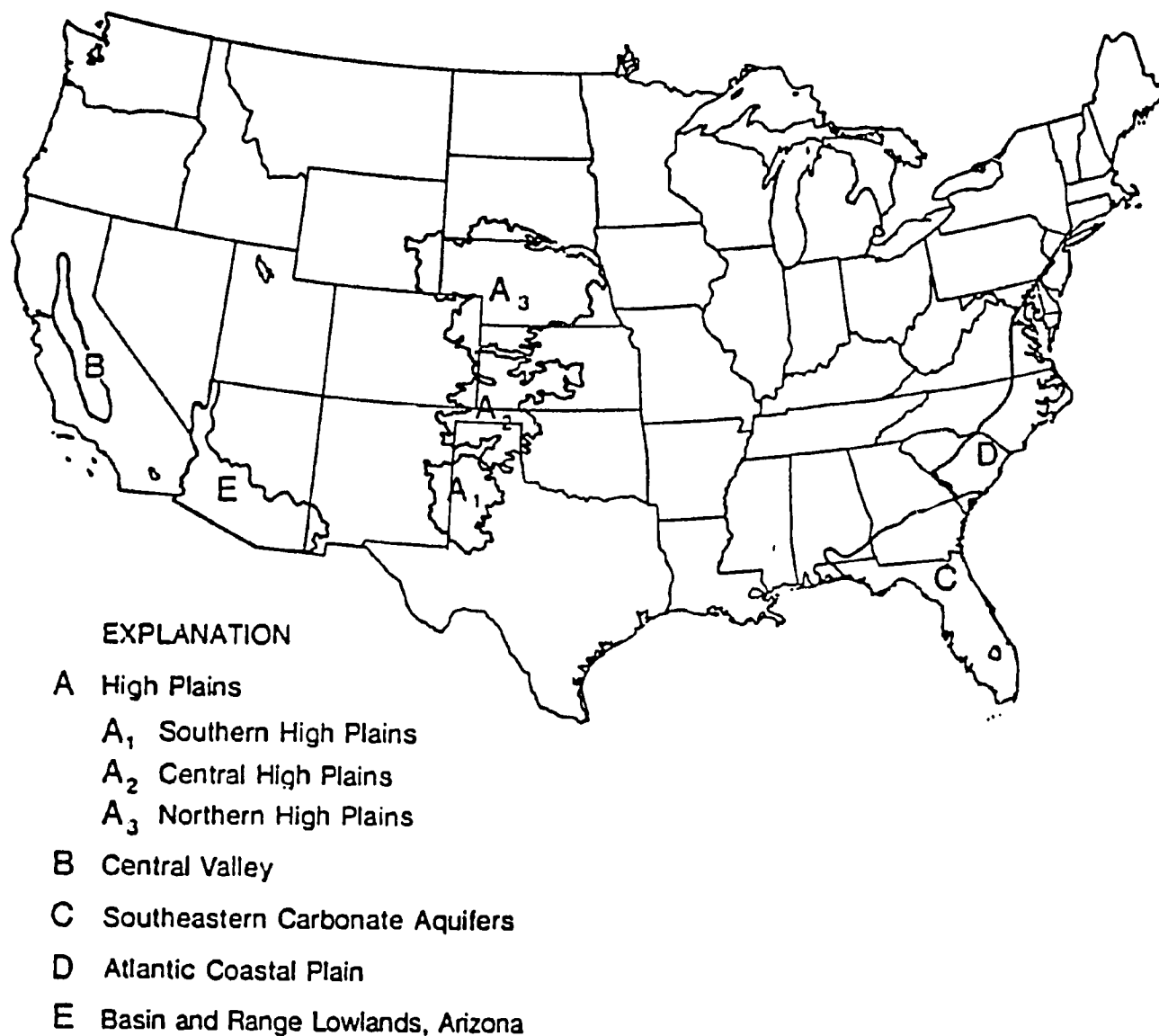


Figura 1. Áreas adversamente afectadas por extracciones excesivas de agua subterránea en el centro de los Estados Unidos de América.

observador anota la elevación relativa del agua varias veces al día). Las estaciones a corto plazo usualmente están diseñadas con propósitos específicos y para una duración de 2-5 años. Uno de los problemas clásicos de este tipo de estación es la tendencia a mantenerlas en operación luego de cumplido su cometido a corto plazo.

- b. Estaciones a largo plazo con propósitos estadísticos. El componente más importante de una red hidrológica de aguas superficiales lo constituyen las estaciones a largo plazo. La red de estaciones a largo plazo provee la información necesaria para análisis estadísticos que proveen la base para estudios de frecuencia de inundaciones,

flujos promedios, flujos máximos y mínimos, diseño de represas y plantas de filtración, etc.

El problema principal en la red de estaciones a largo plazo es usualmente un exceso de estaciones. Nuevamente la renuencia a discontinuar estaciones se refleja en esta actividad. Existen metodologías estadísticas, inclusive aplicando componentes económicos, para optimizar las redes a largo plazo.

- c. Estaciones de usos especiales. Este tipo de estaciones responde a demandas únicas para obtención de datos de flujo, tales como la necesidad de una empresa o industria de conocer el flujo en un punto para cumplir requisitos ambientales o legales.

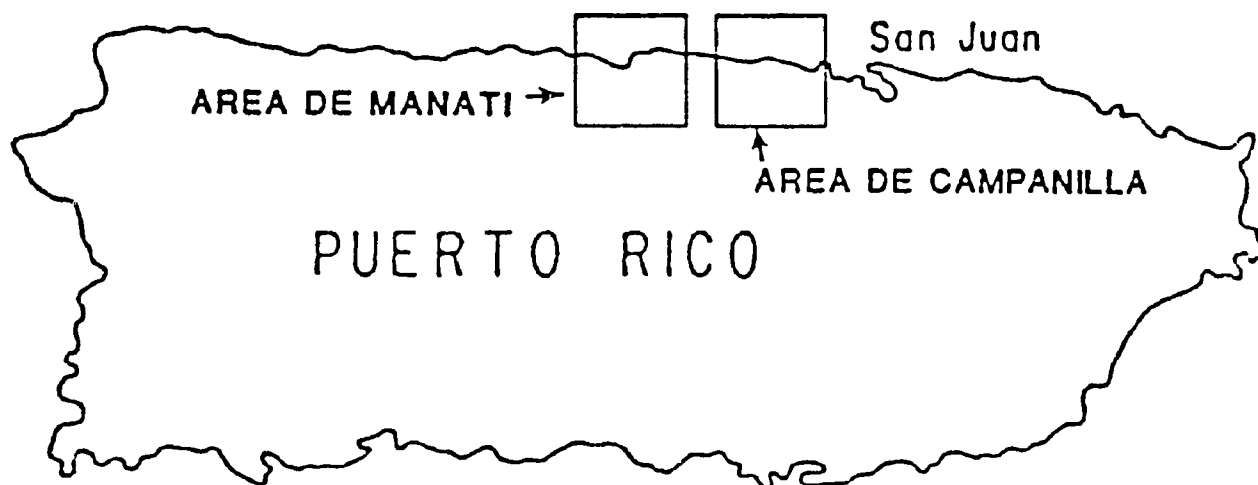


Figura 2. Areas adversamente afectadas por intrusión salina en la costa norte de Puerto Rico.

2. El segundo componente consiste en el procesamiento, análisis y divulgación de la información. Esto requiere:
 - a. Métodos técnicamente correctos para el procesamiento y análisis de los datos. El problema básico en esta área lo constituye la diversidad de metodologías utilizadas por diversas entidades aún dentro de un mismo país. Es necesario preparar manuales y guías uniformes a este respecto, y llevar a cabo talleres de entrenamiento práctico para implementar los métodos.
 - b. Equipo y facilidades modernas para el procesamiento, almacenaje, manejo y retiro de los datos. Normalmente el volumen de datos hidrológicos alcanza capacidades que exceden la habilidad de las instituciones para su procesamiento y almacenaje. El problema clásico en esta área lo constituye el almacenaje de datos que luego resulta difícil o imposible retirar para su uso. Los sistemas de computadoras proveen las herramientas necesarias para llevar a cabo esta función (fig. 3). El avance tecnológico en los microprocesadores permite la instalación de sistemas de procesamiento y análisis con una inversión capital mínima.
 - c. Mecanismos para publicar y divulgar la información. En muchos países se almacena gran cantidad de datos hidrológicos en los archivos de las organizaciones que los recogen. La información es desconocida a investigadores e ingenieros por la ausencia de publicaciones. Es necesario publicar los datos básicos con prontitud y frecuencia en volúmenes anuales (figs. 4-9).
3. El tercer componente para el manejo de las aguas superficiales constituye la implementación de reglamentos para su uso, extracción y mantenimiento de la calidad de estas. Tradicionalmente en los países

donde las aguas superficiales abundan, esta fase del manejo del recurso no se considera importante. Sin embargo, la experiencia internacional señala que es imperante establecer mecanismos para optimizar el uso y preservar los recursos de agua aún en condiciones de abastos abundantes. Con este propósito, es necesario establecer mecanismos de:

- a. Reglamentación del volumen de extracciones en cada cuenca para garantizar los derechos existentes y necesidades futuras.
- b. Reglamentar la calidad de las descargas a los cuerpos de aguas superficiales para minimizar la contaminación de estas.
- c. Reglamentar el uso de terrenos en las cuencas para minimizar cambios en los patrones de escorrentía y producción de sedimento.

El manejo óptimo de los recursos de agua subterráneos requiere una serie de medidas similares a las utilizadas para las aguas superficiales:

1. El establecimiento de redes de estaciones a corto y largo plazo para determinar los niveles del manto freático así como la calidad de las aguas. El diseño de las redes debe observar un proceso lógico que se fundamente en el conocimiento de la hidráulica de las aguas subterráneas y los acuíferos envueltos. En forma similar a las estaciones superficiales existe la tendencia a operar estaciones en exceso y por largos períodos de tiempo. Esto es más común en la toma de muestras de pozos para análisis químicos y físicos. El análisis estadístico provee un mecanismo para optimizar las redes de niveles freáticos y minimizar la colección de datos de calidad de agua de pozos.
2. Determinación de la cantidad, ocurrencia y movimiento de las aguas subterráneas. En el sistema del USGS esta función corresponde a la unidad de Investigaciones Hidrológicas, donde se desarrollan los proyectos con este propósito. La definición de los

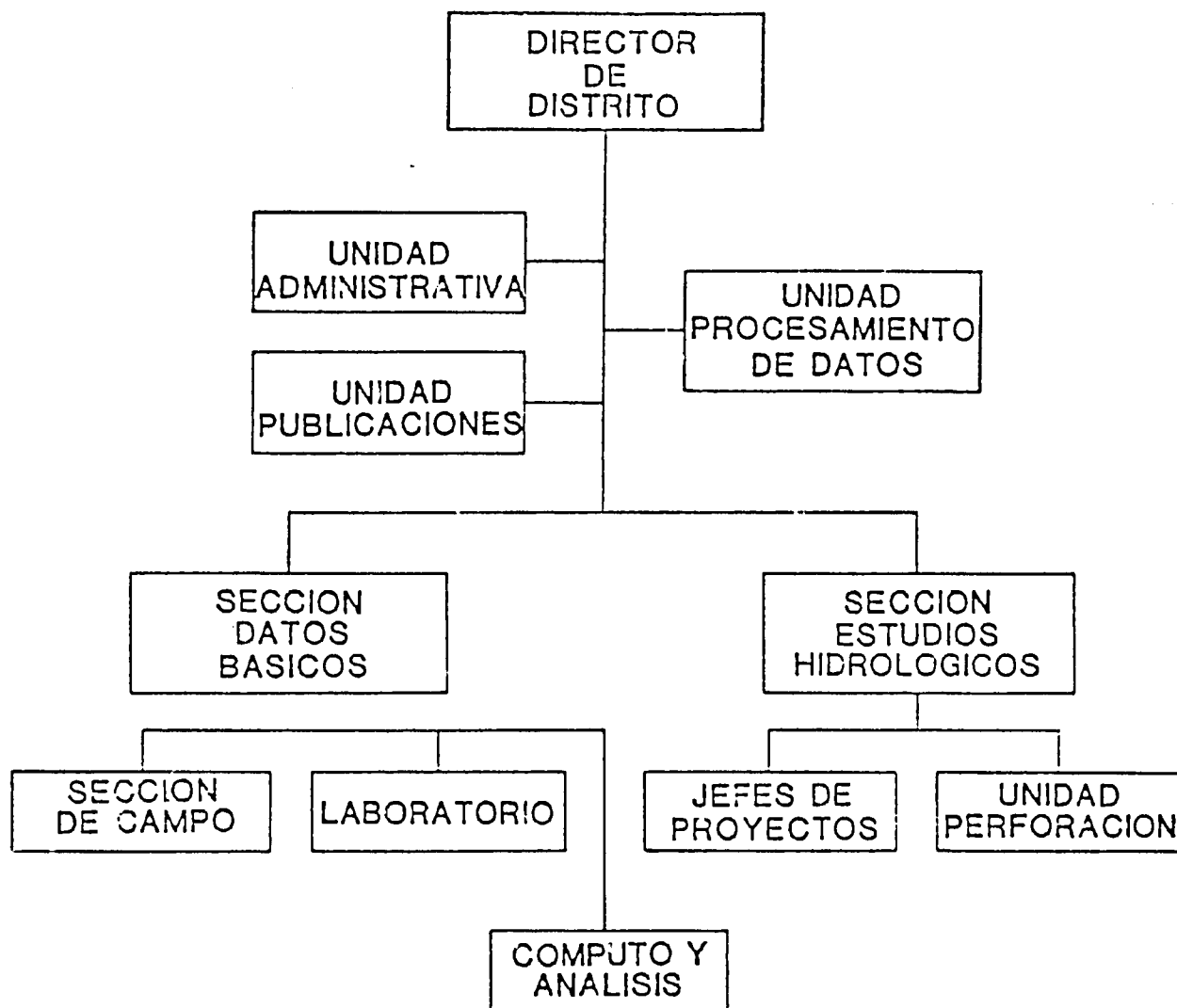


Figura 3. Organigrama típico de una oficina de distrito de la División de Recursos de Agua del U.S. Geological Survey.

recursos de agua subterráneos en una cuenca área a través de investigaciones especiales requiere inversiones significativas de recursos y tiempo. Con este propósito es necesario que las entidades envueltas en las investigaciones cuenten con:

- a. Personal altamente capacitado en las áreas de hidrogeología, geoquímica, hidráulica de aguas subterráneas, simulación de sistemas de acuíferos, y otras ciencias afines de hidrología.
- b. Equipo de campo y facilidades de laboratorio y oficina para la colección y procesamiento de los datos de campo. Normalmente se requiere equipo para perforaciones de prueba, equipo para pruebas de acuífero, de pozos, y geofísicas, y computadoras para el procesamiento de datos y simulación del flujo de agua subterránea.
- c. Facilidades y personal para la preparación, publicación y divulgación de los datos básicos y

resultados de investigaciones especiales en el área de agua subterránea. La publicación de los datos básicos puede consolidarse con los de aguas superficiales en un solo volumen anual que también comprenda la calidad de ambos tipos de aguas. Los proyectos especiales requieren volúmenes separados al finalizar la investigación.

3. Desarrollo e implementación de estructuras, mecanismos y reglamentaciones para optimizar el uso de los recursos de agua subterráneos. Este elemento debe contener:

- a. Mecanismos legales para la apropiación de las aguas subterráneas conforme a derechos existentes y el uso y beneficio razonable. En muchos países se han creado "leyes de agua" que incluyen sistemas de permisos de diseño e hincado de pozos, extracción de agua, así como sistemas de tarifas para distintos tipos de usos.

Water Resources Data Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands Water Year 1983

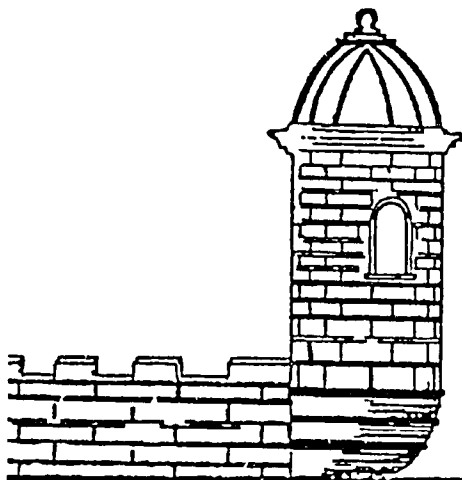
by Russell E. Curtis, Senén Guzmán-Ríos, and Pedro L. Díaz



U.S. GEOLOGICAL SURVEY WATER DATA REPORT PR-83-1

Prepared in cooperation with the Commonwealth of Puerto Rico,
the Government of the U.S. Virgin Islands, and other agencies

Figura 4. Publicación típica del U.S. Geological Survey que recopila datos básicos de caudal, calidad de agua y niveles freáticos.



WATER RESOURCES IN PUERTO RICO AND THE U.S. VIRGIN ISLANDS: A REVIEW

VOLUME 4 NUMBER 2

JANUARY 1985

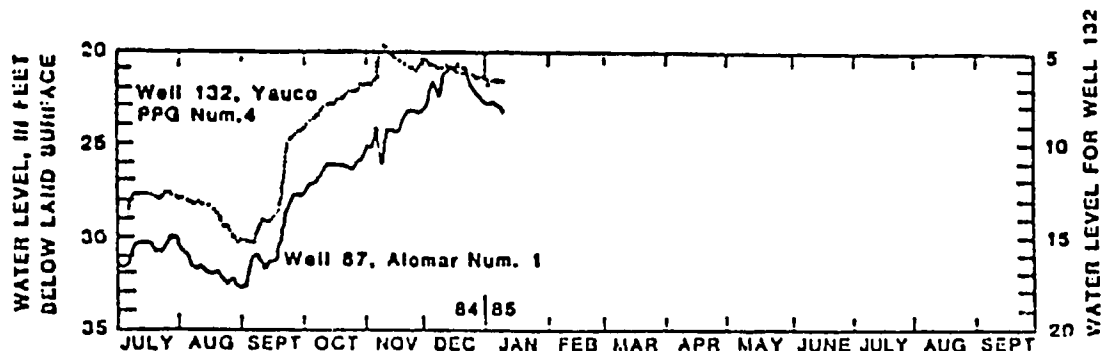
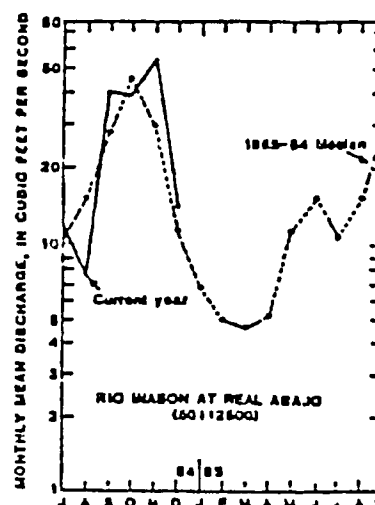
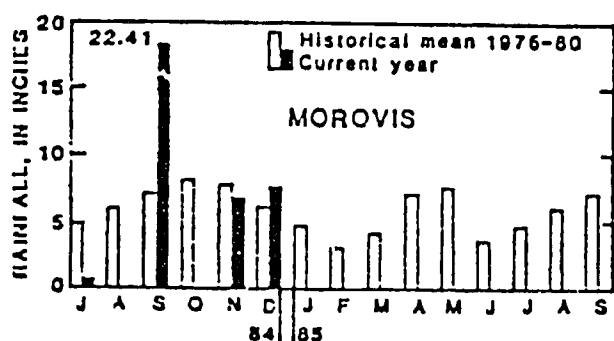


Figura 5. Boletín informativo del U.S. Geological Survey en Puerto Rico resumiendo condiciones hidrometeorológicas.

- Reglamentos para la protección de las aguas subterráneas, especialmente aquellos acuíferos que son utilizados principalmente para agua potable. Estos reglamentos controlan las descargas domésticas, agrícolas e industriales a los acuíferos, minimizando su contaminación.
- Diseño e implementación de sistemas tales como modelos matemáticos para optimizar el uso de las aguas subterráneas. La tecnología moderna permite la implementación de dichos modelos a un costo mínimo.

**WATER RESOURCES OF THE SABANA SECA
TO VEGA BAJA AREA, PUERTO RICO**
By Arturo Torres-González and José R. Díaz

U.S. Geological Survey
Water-Resources Investigations Report 82-4115

Prepared in cooperation with the
Puerto Rico Department of Agriculture

San Juan, Puerto Rico
1984




**RESTORATION OF FRESHWATER IN THE
CAÑO TIBURONES AREA, PUERTO RICO**
By Allen L. Zack and Angel Class-Cacho

U.S. Geological Survey
Water Resources Investigations Report 83-4071

Prepared in cooperation with the
Puerto Rico Department of Agriculture

San Juan, Puerto Rico
1984




**WATER RESOURCES OF THE LOWER RIO GRANDE
DE MANATI VALLEY, PUERTO RICO**
By Fernando Gómez-Gómez

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
Water Resources Investigations Report 83-4199

Prepared in cooperation with the
PUERTO RICO DEPARTMENT OF AGRICULTURE

San Juan, Puerto Rico
1984




Figura 6. Publicaciones típicas del U.S. Geological Survey en Puerto Rico resumiendo las investigaciones hidrológicas en áreas del país.

Caribbean District
Open-File Report:

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
Geological Survey

A PROPOSED STREAMFLOW-DATA PROGRAM
FOR PUERTO RICO

by
Miquel A. López and Fred K. Fields
U. S. Geological Survey

Prepared in cooperation with
COMMONWEALTH OF PUERTO RICO

August 1970

SURFACE WATER DATA NETWORK
ANALYSIS FOR PUERTO RICO

By Patrick W. McKinley

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
WATER-RESOURCES INVESTIGATIONS
REPORT 83-405E

Prepared in cooperation with the
PUERTO RICO DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES

San Juan, Puerto Rico
1985

Cost Effectiveness of the
Stream-Gaging Program in Maine—
A Prototype for
Nationwide Implementation

By R. A. Fontaine, M. E. Moss, J. A. Smath,
and W. O. Thomas, Jr.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 2244

Figura 7. Resumen de publicaciones sobre técnicas para optimizar redes de estaciones de aguas superficiales a largo plazo.

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

REGLAMENTO

Para El

APPROVECHAMIENTO, USO,
CONSERVACION Y
ADMINISTRACION DE LAS
AGUAS DE PUERTO RICO

Septiembre, 1984



Figura 8. Reglamento para el uso y aprovechamiento de las aguas en Puerto Rico.

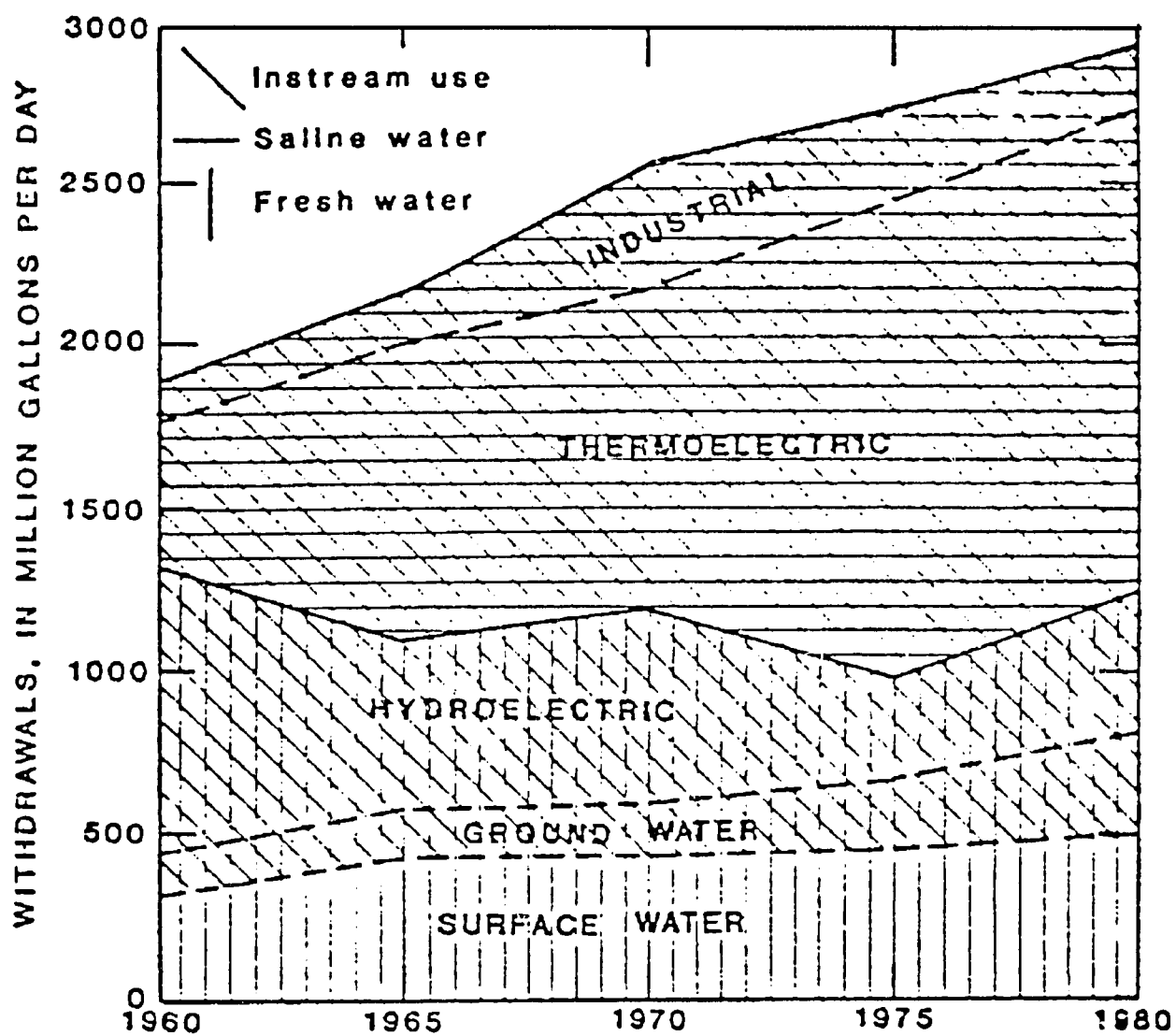


Figura 9. Información típica obtenida en programas de uso de agua.

WATER RESOURCES DEVELOPMENT—THE EXPERIENCE OF THE U.S. BUREAU OF RECLAMATION

By Richard H. Ives¹

The original title of this presentation, "Hydrologic Resources in Hydroelectric Power Assessment," reflected a topic that would be extremely limited when compared to the overall water-resources development program of the U.S. Bureau of Reclamation (hereafter referred to as Reclamation). Thus, the topic has been expanded to discuss a range of topics related to Reclamation's domestic and international programs.

BACKGROUND

When many people think of the opening of the arid lands of the American West, they frequently think of the U.S. Bureau of Reclamation. At the turn of the century, private water-resources development projects in the arid western United States were struggling and frequently failing. Thus, Reclamation was formed in 1902 to provide a Federal program to assist farmers in the 17 western states in developing irrigated agriculture. The original intent of Reclamation was to provide water to irrigate family farms, and it is still the central focus of the Reclamation program.

It was recognized that substantial regulation of western rivers was required to store the melting snowpack that became the spring runoff. In many areas of the western states, the spring snowmelt is a substantial amount of the annual streamflow. Thus, at its outset, the role of Reclamation was to evaluate opportunities to develop water-resources projects and then to design, construct, and ultimately operate and maintain the most promising projects to provide irrigation water to thirsty lands. The initial Reclamation projects were primarily designed solely to provide for irrigation, but the concept evolved to multipurpose as power, flood control, municipal and industrial water supply, and recreation became recognized as project functions.

The Boulder Canyon Project on the Colorado River, which includes Hoover Dam, was Reclamation's first and probably most notable multipurpose project. The completion of Hoover Dam in 1936 did much to change the unruly Colorado River into a natural resource and the Boulder Canyon Project became the model for later multipurpose projects.

While Reclamation was developing a reputation as the major developer of multipurpose projects in the western United States, it continued to produce innovative designs for smaller, mostly agricultural projects. Some projects were designed to store streamflow and then permit diversion of water to irrigate relatively small service areas. Other projects have been developed which rely totally on available ground water supplies to provide water for irrigation as well as for municipal needs.

Unlike other public works programs, the Reclamation program has from the beginning been based upon the principal of repayment by direct beneficiaries (irrigation districts, municipalities, and power customers). Repayment of the public investment is designed to recover all statutory reimbursable costs. Some of the project costs assigned to specific functions such as flood control, recreation, and environmental enhancement are nonreimbursable.

Reclamation deals with all phases of the planning, design, construction, and operation and maintenance of water-resource projects. To respond to the diverse complex issues associated with the development of water and related land resources in arid lands, Reclamation employs a professional staff with broad-ranging talents. Reclamation has civil, mechanical, electrical, and chemical engineers, scientists in various disciplines, technicians, cultural and environmental specialists, and economists to cover all facets of project development and operations.

Reclamation has actively sought to use new cost-effective techniques, materials, and equipment in project planning and construction. The Reclamation planning process has been used as a model for planning multipur-

¹ U.S. Bureau of Reclamation, Department of the Interior, Washington, D.C.

pose water projects worldwide. The planning process, involving appraisal, reconnaissance, and feasibility levels of study, requires greater levels of detail in each subsequent stage of the investigation. The most detailed information is contained in the feasibility stage which provides the basis for the decision on proceeding into the construction phase.

Over the years, Reclamation has been involved in much innovative research such as the use of new concrete mixes with fly-ash waste products, sterilized carp to eat aquatic weeds, power-system stabilizers now used worldwide, and plastic pipe used in varying climatic conditions. Several new processes or techniques have been recently utilized in construction of water-project facilities which show great promise for other applications. These include roller-compacted concrete as a less costly method of construction, reinforced earth technology on a dam to alleviate a safety concern by raising the height of the dam to surcharge the spillway and accommodate possible larger floods, and using a labyrinth spillway on a dam which increased the spillway capacity without costly expansion of the existing structure.

Reclamation is using a considerable amount of resources to rehabilitate projects constructed in an earlier era and is attempting to use state-of-the-art materials and equipment both to reduce the cost of rehabilitation and to ensure their long-term productive life. On some water projects, radio- or satellite-linked data-collection platforms collect meteorological and hydrological data in remote areas. The ability to monitor watershed conditions on a real-time basis has greatly improved project operations. Other techniques such as remote sensing have proved useful in a variety of ways including monitoring snowpack conditions and agricultural production. In the area of total water management, Reclamation has investigated evaporation suppression and weather modification techniques.

EXPERIENCE IN CENTRAL AMERICA

The Central American region has a vastly different climatic regime than the American West where precipitation is perhaps one-tenth of that received in the tropics. The seasonal nature of precipitation in the tropics requires some carryover storage of streamflow although not the extent that the arid American West has required. Although water in Central America is generally abundant, there can be problems due to the location of water in relation to population and economic activity.

In many areas of the western United States, the water provided from Reclamation storage reservoirs is the

primary source for irrigation and in some cases is merely a supplemental water supply enabling farmers to have more than one growing season. However, the common denominator between the Reclamation and the Central American water-resource development programs is the need to design and implement a program that adequately manages the available water resources. The successful development of a nation's water resources can contribute to its economic self-sufficiency. The two principal responses to water-management problems are either (1) to design and construct engineering solutions or (2) to achieve more efficient use of water with existing facilities. Engineering solutions are oftentimes selected because programs designed to provide for better water management with existing facilities seem to be more difficult to conceive and can require changing water user habits. Water-management problems are worldwide, and they challenge us to find innovative solutions to meet our needs.

In general, the Central American region has been blessed with an abundance of hydropower potential that has been barely tapped. The development of this resource requires careful evaluation of the energy-generation alternatives, country load growth forecasts, power-transmission opportunities, site-development costs, and of course, the hydrologic regime at the proposed damsite. The review of these requirements will ultimately determine the viability of developing the resource on a site-by-site basis.

TECHNICAL ASSISTANCE AND TRAINING

Since its inception, Reclamation has had a program to assist others in developing their water resources in a variety of ways. The international reputation of Reclamation in the field of water-resource development has resulted in many requests for technical assistance to other nations both directly and through such organizations as the Agency for International Development, the Inter-american Development Bank, and the World Bank. Assistance can include sending individuals or teams abroad on various engineering or resource-development assignments, or training visitors from other nations in pertinent water-resource development techniques and procedures. Reclamation is not authorized to fund any technical assistance or training programs, and reimbursement must be provided. The training program offered by Reclamation is extremely extensive and covers the following facets of water-resource development: planning, design, operation and maintenance, geology, and construction.

DESARROLLO DE LOS RECURSOS HIDRICOS—LA EXPERIENCIA DE LA OFICINA DE RECUPERACION DE LOS ESTADOS UNIDOS

Por Richard H. Ives¹

Mientras que el título original para la presentación de esta oficina de Recuperación era "Recursos hidrológicos en la evaluación de distribución de la energía hidroeléctrica," podría reflejar un tema que podría ser extremadamente limitado cuando se compara con los recursos hídricos que abarcan el desarrollo del programa de Recuperación. De este modo, el tema se ha ampliado para abarcar una variedad de temas relacionados con los programas de Recuperación internacionales y nacionales.

ANTECEDENTES

Cuando mucha gente piensa en orificios de tierras áridas del oeste americano, frecuentemente piensan en la Oficina de Recuperación. En el curso del siglo, se hacían esfuerzos para realizar proyectos privados de desarrollo de recursos hídricos en el oeste americano de los Estados Unidos y estos frecuentemente fracasaban. De este modo, la Oficina de Recuperación se formó en 1902 para proveer un programa Federal para asistir a los granjeros en los 17 estados del oeste para desarrollar agricultura por regadío. El propósito original de la Oficina de Recuperación fue proveer agua para regadíos a las familias de granjeros y es todavía el foco principal del programa de Recuperación.

Se reconoció que se necesita un régimen substancial de los ríos del oeste para almacenar las grandes masas de hielo que se derriten y se convierten en escorrentía en la primavera. En muchas áreas de los estados del oeste, la nieve que se derrite en primavera es una cantidad anual substancial de escorrentía. De este modo, a su salida, el papel de la Oficina de Recuperación fue evaluar las oportunidades para desarrollar proyectos de recursos hídricos y luego diseñar, construir y por último operar y mantener los mejores proyectos prometedores para pro-

veer agua para regadíos a las tierras áridas. Los proyectos iniciales de la Oficina de Recuperación fueron diseñados primera y únicamente para proveer regadío, pero el concepto desarrollado para múltiples usos como la energía, el control de los ríos, el abastecimiento del agua municipal e industrial, fue reconocida como una función de proyecto.

El proyecto del Canon Boulder en el río Colorado, que incluye la presa Hoover, fue el primero y probablemente el más notable proyecto de múltiples propósitos de la Oficina de Recuperación. La finalización de la presa Hoover en 1936 hizo mucho para cambiar el caudaloso río Colorado en una fuente natural, y el proyecto del Canon Boulder se convirtió en un modelo para proyectos de múltiples propósitos después.

Mientras que la Oficina de Recuperación se granjeaba una reputación como el mejor realizador de proyectos de múltiples propósitos en el oeste de los Estados Unidos, continuó produciendo diseños innovativos para pequeños proyectos, especialmente de agricultura. Algunos proyectos fueron diseñados para almacenar caudales de agua y luego permitir su desviación para regar relativamente pequeñas áreas de servicio. Se han desarrollado otros proyectos que cuentan totalmente con suministros de agua subterránea para proveer agua para regadíos, así como para satisfacer necesidades municipales.

A diferencia de otros programas de trabajo públicos, el programa de la Oficina de Recuperación se fundamentó desde el principio en el retorno de costo para los beneficiarios directos (distritos de regadío, municipalidades, y clientes de energía). El retorno de la inversión pública está diseñado para recobrar todos los costos reembolsables establecidos por la ley. Algunos de los costos del proyecto asignados para funciones específicas tales como control de crecientes, recreación, y mejoramiento de ambiente, no son reembolsables.

La Oficina de Recuperación se ocupa de todos las fases de planeamiento, diseño, construcción, manteni-

¹ U.S. Bureau of Reclamation, Department of the Interior, Washington, D.C.

miento y operación de los proyectos de recursos hídricos. Para responder a los resultados complejos asociados con el desarrollo de agua y recursos de la tierra relacionados en tierras áridas, la Oficina de Recuperación emplea a personal profesional con una amplia variedad de talento. La Oficina de Recuperación tiene ingenieros civiles, mecánicos, eléctricos y químicos, científicos de varias disciplinas, técnicos, y especialistas en el ambiente y culturas, y economistas para cubrir todas las fases del desarrollo y operación del proyecto.

La Oficina de Recuperación ha visto activamente el uso de nuevas técnicas de costo efectivas, materiales y equipo en el planeamiento y construcción del proyecto. El proceso de planeamiento de la Oficina de Recuperación ha sido usado como modelo para planear proyectos hídricos de multiuso de alcance mundial. El proceso de planeamiento que implican avalúo, exploración y posibilidad de niveles de estudios, requiere grandes niveles de detalle en cada subsecuente grado de investigación. La información más detallada está contenida en el grado de posibilidad que proveen las bases para la decisión para un procedimiento dentro de la fase de construcción.

A través de los años, la Oficina de Recuperación ha sido involucrada en muchas investigaciones innovativas tales como el uso de nuevas mezclas de concreto con productos de desechos de cenizas, carpas esterilizadas para atrapar hierbas acuáticas, sistemas estabilizadores de energía que se usan en todo el mundo, y tubería plástica que se emplean condiciones de clima variables. Varios procesos o técnicas nuevas han sido recientemente utilizadas en construcción de facilidades de proyectos hídricos los cuales deparan una gran esperanza para otras aplicaciones. Estas incluyen: cilindro compactado de concreto como un método de bajo costo para la construcción, tecnología de tierra reforzada en una presa para reducir los riesgos levantando el alto de la presa para sobrecargar el vertedero y acomodar posibles grandes efluentes, y usar un laberinto de vertedero en una presa que aumenta la capacidad del vertedero sin aumentar el costo en la estructura existente.

La Oficina de Recuperación está usando una considerable cantidad de recursos para rehabilitar proyectos construidos anteriormente y está intentando el uso de materiales y equipo modernos, ambos para reducir el costo de rehabilitación y asegurar su vida útil a largo plazo. En algunos proyectos hídricos, el uso de radio - o plataformas de datos vinculados vía satélite se usan para reunir datos meteorológicos e hidrológicos en áreas remotas. La habilidad de escuchar en un receptor las condiciones de una cuenca en una base real de tiempo ha mejorado grandemente las operaciones del proyecto. Otras técnicas tales como la percepción a distancia ha probado ser útil en una variedad de maneras, incluso condiciones de percepción de nieve apretada y producción agrícola. En el área de manejo total de agua, la

Oficina de Recuperación ha investigado supresión de la evaporación y técnicas para modificación del tiempo.

EXPERIENCIA EN CENTROAMERICA

Se reconoce que Centroamérica tiene un amplio y diferente régimen de condiciones climáticas que el oeste de los Estados Unidos en donde la precipitación es tal vez de uno a diez de la que recibe el trópico. La naturaleza de las estaciones de precipitación en el trópico requiere algunos almacenamientos continuados de una corriente de agua, si bien no como ha requerido las extensiones del oeste estadounidense. Mientras que el agua en América Central es generalmente abundante, pueden haber problemas debido a la localización del agua en relación a la población y la actividad económica.

En muchas áreas del oeste de los Estados Unidos, el agua almacenada de los depósitos de la Oficina de Recuperación es una fuente primaria para regadíos y en algunos casos es simplemente un abastecimiento de agua suplementaria que permite a los finqueros tener más que de una estación de crecimiento. De cualquier modo, el común denominador entre la Oficina de Recuperación y los programas de desarrollo de recursos de agua centroamericanos es que necesitan diseñar y efectuar un programa que maneje adecuadamente las fuentes de agua disponibles. El desarrollo satisfactorio de los recursos de agua de una nación puede contribuir a su suficiencia económica. Cabe hacer hincapié en que hay dos repuestas principales a los problemas del manejo del agua, uno u otro (1) diseñar y construir soluciones de ingeniería, o (2) efectuar más eficientemente el uso del agua con facilidades existentes. Las soluciones de ingeniería son muchas veces seleccionadas porque los programas diseñados para proveer el mejor manejo del agua con facilidades existentes parecen ser más difíciles de concebir y pueden requerir cambios en los hábitos del uso del agua. Los problemas del manejo del agua son mundiales y no exigen encontrar soluciones innovativas para satisfacer nuestras necesidades.

En general, la región centroamericana ha sido dotada de un potencial abundante hidroenergético que ha sido escasamente aprovechado. El desarrollo de este recurso requiere evaluación cuidadosa de opciones de generación de energía, plan de crecimiento de carga eléctrica de un país, oportunidades de transmisión eléctrica, situación del desarrollo de costos y, por supuesto, el régimen hidrológico en el sitio de la cuenca propuesta. La revisión de estos requisitos determinará la viabilidad del desarrollo del recurso en un lugar por bases de localización.

ASISTENCIA TECNICA Y ENTRENAMIENTO

Desde su comienzo, la Oficina de Recuperación ha tenido un programa para ayudar a otros en el desarrollo de sus recursos hídricos, en forma variada. La reputación internacional de la oficina de recuperación en el campo del desarrollo de recursos hídricos ha resultado en muchas peticiones de asistencia técnica para otras naciones, ambas directamente y a través de tales organizaciones como la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, el Banco Interamericano de Desarrollo, y el

Banco Mundial. La asistencia puede incluir envíos individuales o equipos por todas partes para varias asignaciones de desarrollo de recursos de ingeniería, o entrenamiento para visitantes de otras naciones en técnicas de desarrollo pertinentes a los recursos hídricos y procedimientos. La Oficina de Recuperación no está autorizada para financiar asistencia técnica o programas de entrenamiento y los beneficiarios deben sufragar los gastos. El programa de entrenamiento ofrecido por la Oficina de Recuperación es extremadamente extensa y cubre las siguientes fases del desarrollo de recursos hídricos: planeamiento, diseño, operación y mantenimiento, geología y construcción.

REGIONAL GEOLOGICAL FRAMEWORK STUDIES—A NECESSARY FOUNDATION FOR RESOURCE DEVELOPMENT PROGRAMS

By Robert C. McDowell

Effective planning for the development of natural resources and for reducing the ill effects of geologic hazards depends on the availability of basic geological information. Establishment of the geologic framework of a region and determination of the processes that shaped it provide the fundamental data on which to base programs directed toward the discovery and assessment of mineral resources, analysis of environmental problems, and avoidance of geologic hazards.

The geologic framework of a region is the arrangement in space and time of the geologic materials; their distribution, nature, origin, and interrelationships. Framework studies involve field and laboratory investigations of the geology, geochemistry, and geophysics of the region. Careful and thorough research, leading to a broad understanding of the regional geologic framework, provides various direct and indirect benefits. In addition to furnishing a data base for resource and hazards evaluations by various governmental agencies, academic institutions, or private industry, such studies can increase scientific expertise in the local scientific community. They also may stimulate continuing research projects within the community by revealing challenging new geological problems. Initial findings always pose new questions, the investigation of which leads to further research. Many important geologic discoveries have had their roots in basic framework investigations.

Geologic framework studies involve three main areas of research: 1) geologic mapping, 2) age determinations, and 3) study of geologic processes. These areas are commonly interrelated. For example, compilation of a geologic map generally requires knowledge of the relative ages of the map units, and information on ages may provide clues to rates or sequences of rock-forming processes. Such research thus requires expertise in a variety of fields: stratigraphy, structural geology, paleontology, isotope geology, petrology, geochemistry, geophysics, and others.

Geologic mapping is basic to framework studies. A

carefully prepared geologic map is a powerful tool for the solution of many geologic problems. It constitutes the foundation for most of the research carried out in framework studies. Detailed geologic maps show the structure and distribution of rock types at the Earth's surface. Knowledge about the temporal relationships of these units, combined with an understanding of geologic processes, makes it possible to project what lies below the surface. The preparation of geologic maps, especially in unexplored areas, although time-consuming and laborious, is a critical step in providing fundamental geologic data for the region.

Preparation of a good geologic map is not simple. Unlike a topographic map, which is generally a routine compilation of mechanically acquired data, a geologic map requires a skillful combination of observation and interpretation; it is somewhat subjective. The best and most useful geologic maps are products of high-level research.

In planning a program of geologic mapping, several factors must be considered: the complexity of the geology and degree of exposure of the map units; supplementary information available from drill holes, mines, geophysical surveys, and the like; amount and quality of previous work; type of base map available; time and manpower available; and in some cases, the specific purposes of the map. This combination of factors determines the scale of the map. At a large scale, more information can be presented, but less area can be covered with a given amount of effort. Most detailed general-purpose geologic mapping in the United States is done today at a publication scale of 1:24,000. Intermediate-scale maps are now produced by the U.S. Geological Survey at 1:62,500 and 1:100,000. Reconnaissance maps at 1:125,000 and especially 1:250,000 are common. The latter represent about the smallest scale at which the relationship between map units and topography can be shown. Maps at scales smaller than 1:250,000 are best adapted for broad regional planning, or for depicting interregional to global

relationships in dealing with such subjects as the composition and evolution of continental plates and ocean basins.

Knowledge of the age of rock units and the timing and sequence of geologic events is fundamentally important in establishing the geologic framework of an area. Determination of numerical age (sometimes referred to as absolute age) is based on the rate of decay of radioactive elements in rocks and minerals, or much less commonly upon amino acid racemization or upon counting such features as varves and tree rings. Relative age is determined from the interrelationship of geologic units, which in some cases is revealed only by detailed mapping, or from the fossils in the strata, which can be related to established evolutionary sequences of plant and animal life. Age determinations and the associated correlation of rock units or geologic events lead to many useful applications. Among these are the determination of rates of accumulation of sediments, the frequency of earthquakes or volcanic eruptions, and rates of change of geologic processes and of environmental factors such as climate or sea level. An important benefit of age dating is a fuller understanding of the geologic history of the region.

An understanding of the processes by which geologic units and structures have been produced and modified is also important in determining the geologic framework of a region. This area of research includes determination of depositional environments, provenance, and paleogeography of sedimentary strata; of the processes of formation of igneous and metamorphic rocks; and of the way in which chemical reactions between various rock units take place and are affected by heat and pressure.

There are many examples of the successful application of geologic framework studies. Geologic exploration of the western United States in the 1870's by several small scientific parties, later consolidated to form the U.S. Geological Survey, led to many important discoveries and to the development of new principles of geology, as well as to the cataloguing of the natural resources of a vast, largely unknown area. Much of the stratigraphic and

structural framework of the United States was established by mapping at 1:62,500 in the early 1900's.

Recent work by the U.S. Geological Survey has included extensive detailed mapping in many areas of the country. For example, the entire State of Kentucky, an area in east-central United States of 104,636 km², about the size of Guatemala, was mapped in detail between 1960 and 1978. This program required 661 professional man-years and resulted in the production of 707 geologic quadrangle maps at 1:24,000. The total cost of the program was 21 million dollars. Rough estimates of the benefits of the mapping program have suggested a return of about a billion dollars, based on the value of mineral deposits discovered and savings realized by engineering and environmental planners. This is about 50 times the total cost of the program. The maps are widely used in exploration for coal, oil, gas, fluorspar, limestone, and clay, and for planning highways and dams, in evaluating foundation and excavation conditions, and in land-use planning.

Another significant example is the geologic map of the Wenatchee quadrangle in the western State of Washington, published in 1982 at 1:100,000. The map shows 131 map units with an exceptionally complex history, including 60 Quaternary units. This map, which forms the basis for engineering studies as well as for development of sand and gravel resources, has been in great demand by the minerals-exploration industry. Other geologic mapping, together with geochemical sampling, in the States of Washington and Idaho, has established an association between tungsten-molybdenum-gold-silver mineralization and several plutons of a particular granitic rock type.

A review of framework-type studies conducted by the U.S. Geological Survey clearly shows that such studies provide the basic data that are needed by both governmental agencies and the private sector. These data are necessary for the efficient application of geological principles to the location and use of natural resources, as well as to various scientific problems and thus are a necessary foundation for resource development programs.

ESTUDIOS REGIONALES DE LA ESTRUCTURA GEOLOGICA—UNA BASE NECESARIA PARA LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO DE RECURSOS

Por Robert C. McDowell

La planificación efectiva para el desarrollo de los recursos naturales y para la reducción de los efectos dañinos de los riesgos geológicos depende de la disponibilidad de la información geológica básica. El establecimiento de la estructura geológica de una región y la determinación de los procesos que le dieron forma proveen los datos fundamentales sobre los cuales se basan los programas dirigidos hacia el descubrimiento y la evaluación de los recursos minerales, el análisis de los problemas ambientales y la prevención de los riesgos geológicos.

La estructura geológica de una región es la disposición en el espacio y en el tiempo, de los materiales geológicos, su distribución, naturaleza, origen e interrelaciones. Los estudios de la estructura involucran investigaciones de campo y de laboratorio de la geología, la geoquímica y la geofísica de la región. La investigación cuidadosa y concienzuda, dirigida hacia un amplio entendimiento de la estructura geológica regional, provee diversos beneficios directos e indirectos. Además de proporcionar una base de datos para las evaluaciones de los recursos y de los riesgos, realizadas por diferentes agencias gubernamentales, instituciones académicas, o por la iniciativa privada, estos estudios pueden incrementar la experiencia científica en la comunidad científica local. También pueden estimular la continuación de proyectos de investigación dentro de la comunidad, al revelar nuevos problemas geológicos que constituyen un reto. Los descubrimientos iniciales siempre plantean nuevas preguntas, cuya investigación lleva a una mayor investigación. Muchos descubrimientos geológicos importantes han tenido sus raíces en las investigaciones de las estructuras básicas.

Los estudios geológicos de las estructuras involucran tres áreas principales de investigación: 1) levantamiento de mapas geológicos, 2) determinación de edades geológicas y 3) estudio de los procesos geológicos. Estas áreas están usualmente interrelacionadas. Por ejemplo, para lograr la recopilación de un mapa geológico, general-

mente se requiere el conocimiento de las edades geológicas relativas de las unidades del mapa y la información sobre las edades geológicas puede proveer claves sobre los grados o secuencias de los procesos de formación de rocas. Por lo tanto, tal investigación requiere experiencia en una variedad de campos: estratigrafía, geología estructural, paleontología, geología isotópica, petrología, geoquímica, geofísica y otras.

El levantamiento de mapas geológicos es básico para los estudios de las estructuras. Un mapa geológico cuidadosamente preparado es un instrumento poderoso para la solución de muchos problemas geológicos. Constituye la base para la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo dentro de los estudios de las estructuras. Los mapas geológicos detallados muestran la estructura y la distribución de los tipos de roca en la superficie de la tierra. El conocimiento de las relaciones temporales de estas unidades, hace posible la proyección de lo que yace debajo de la superficie. La preparación de mapas geológicos, especialmente en áreas no exploradas, a pesar de que requiere mucho tiempo y esfuerzo, es un paso importante para la obtención de datos geológicos fundamentales de la región.

La preparación de un buen mapa geológico no es simple. A diferencia de un mapa topográfico, el cual es generalmente una recopilación rutinaria de datos adquiridos mecánicamente, un mapa geológico requiere una combinación habil de la observación y la interpretación; es en cierta forma algo subjetivo. Los mejores y más útiles mapas geológicos son producto de un alto nivel de investigación.

Para la planificación de un programa de levantamiento de mapas geológicos, diversos factores deben ser considerados: la complejidad de la geología y el grado de exposición de las unidades del mapa; la información suplementaria disponible, obtenida de las perforaciones, minas, investigaciones geofísicas, etc.; la cantidad y calidad del trabajo previo; el tipo de mapa base disponible; el tiempo y la fuerza humana disponibles; y en algunos

casos, los propósitos específicos del mapa. Esta combinación de factores determina la escala del mapa. Una gran escala, puede mostrar mayor información, pero cubrir un área menor con una cantidad dada de esfuerzo. En los Estados Unidos, la mayoría de los mapas geológicos detallados para propósitos generales son hechos hoy en una escala de publicación de 1:24.000. Los mapas a escala intermedia son producidos ahora por el Servicio Geológico de los Estados Unidos a 1:62.500 y 1:100.000. Son comunes los mapas de reconocimiento a una escala de 1:125.000, y principalmente de 1:250.000. Este último representa aproximadamente la escala mas pequeña en la que puede mostrarse la relación entre las unidades de los mapas y la topografía. Los mapas a escalas menores de 1:250.000 se adaptan mejor a una amplia planificación regional o a una representación de las relaciones inter-regionales y globales con respecto a materias tales como la composición y evolución de las placas continentales y de las cuencas oceánicas.

El conocimiento de la edad geológica de las unidades de roca y la cronología y secuencia de los eventos geológicos es fundamentalmente importante para establecer la estructura geológica de un área. La determinación de una edad numérica (algunas veces denominada edad absoluta) está basada en la tasa de deterioro de los elementos radioactivos en las rocas y los minerales, o, en forma menos común, en la racemización aminoácida y en la consideración de características tales como varves y anillos de árboles. La edad relativa es determinada por la interrelación de las unidades geológicas, la cual es en algunos casos revelada solo por un levantamiento detallado de mapas, o por los fósiles en los estratos, que pueden ser relacionados para establecer secuencias evolutivas de la vida de las plantas y de los animales. La determinación de la edad geológica y la correlación resultante de las unidades de roca o de los eventos geológicos conducen a muchas aplicaciones útiles. Entre estas está la determinación de las tasas de acumulación de sedimentos, de la frecuencia de los terremotos o de las erupciones volcánicas y de las relaciones de cambio tanto de los procesos geológicos como de los factores ambientales, como el clima o el nivel del mar. Un importante beneficio logrado a través de la determinación de la edad geológica es un conocimiento más completo de la historia geológica de la región.

Una comprensión de los procesos a través de los cuales las unidades geológicas y las estructuras han sido producidas y modificadas es también importante para determinar la estructura geológica de la región. Esta área de investigación incluye la determinación de los ambientes propicios para la formación de sedimentos, del origen de la paleogeografía de los estratos sedimentarios; de los procesos de formación de rocas ígneas y metamórficas, y de la forma en la cual ocurren las reacciones químicas entre varias unidades de roca, así como de la manera en

que estas reacciones son afectadas por el calor y la presión.

Hay muchos ejemplos de aplicación exitosa de los estudios geológicos de las estructuras. La exploración geológica del oeste de los Estados Unidos en la década de 1870, realizada por varios pequeños grupos científicos, más tarde consolidados para formar el Servicio Geológico de los Estados Unidos, condujo a muchos descubrimientos importantes y al desarrollo de nuevos principios de geología, así como a la catalogación de los recursos naturales de una vasta área desconocida en su mayor parte. Mucho de la estratigrafía y del sistema estructural de los Estados Unidos fué establecido a través del levantamiento de mapas a una escala de 1:62.500, a principios de la década de los 1900.

El trabajo reciente del Servicio Geológico de los Estados Unidos ha incluido el levantamiento ampliamente detallado de mapas en muchas áreas del país. Por ejemplo, todo el Estado de Kentucky, una área del centro-oeste de los Estados Unidos con 104.636 km², aproximadamente del tamaño de Guatemala, fué presentada en mapas detallados entre 1960 y 1978. Este programa requirió de 661 años-hombre profesional y dió como resultado la producción de 707 mapas geológicos cuadrangulares a una escala de 1:24.000. El costo total del programa fue de 21 millones de dólares. Un cálculo aproximado de los beneficios del programa de levantamiento de mapas ha sugerido una utilidad de más o menos un billón de dólares, basado en el valor de los depósitos minerales descubiertos y en los ahorros obtenidos por los planificadores ambientales y de ingeniería. Esto representa aproximadamente 50 veces el costo total del programa. Los mapas son ampliamente usados para la exploración de carbón, petróleo, gas, fluorita, piedra caliza y arcilla, y para la planificación de carreteras y presas (evaluando las condiciones de cimentación y excavación), así como para la planificación del uso de las tierras.

Otro ejemplo significativo es el mapa geológico del cuadrángulo Wenatchee en el Estado occidental de Washington, publicado en 1982 a una escala de 1:100.000. El mapa muestra 131 unidades de mapa, con una historia excepcionalmente compleja, incluyendo 60 unidades cuaternarias. Este mapa, que constituye una base para los estudios de ingeniería, así como para el desarrollo de los recursos de arena y grava, ha tenido gran demanda de parte de la industria de la exploración de minerales. Otro levantamiento de mapas geológicos, a la par de un muestreo geoquímico, realizado en los Estados de Washington y Idaho, ha establecido una asociación entre la mineralización de tungsteno-molibdeno-oro-plata y varias rocas plutónicas de un particular tipo granítico.

Una revisión de los estudios de tipo estructural, llevados a cabo por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, muestra claramente que tales estudios propor-

cionan datos básicos que son requeridos, tanto por las agencias gubernamentales como por el sector privado. Estos datos son necesarios para la aplicación eficiente de los principios geológicos dirigidos hacia la localización y

uso de los recursos naturales, así como hacia la solución de varios problemas científicos, constituyendo así una base necesaria para los programas de desarrollo de recursos.

LIBRARY RESOURCES, INFORMATION MANAGEMENT, AND NATIONAL EARTH-SCIENCE PROGRAMS

By George Goodwin

Books, periodicals, maps, photographs, and field notes are among the principal assets of an earth-science library. Information managers or librarians, skilled in searching bibliographies, catalogs, online databases, and other reference works, are the key with which the scientist is able to unlock this storehouse of knowledge.

No national earth-science program is likely to meet the expectations of its sponsors, planners, and managers if the geoscientist is unable to transform his raw data into a report because library resources are unsatisfactory or information managers are ineffective. National program goals stand little chance of being fully realized if there is no clear and early recognition of the need to plan for, develop, and sustain a strong information base.

Assume that (1) a Central American country in this workshop has decided to embark upon a national earth-science program, (2) long-term goals and short-term objectives of such a program have been identified, (3) funding commitments have been received from government agencies, banks, or other financial institutions, (4) information and easy access to it has been deemed critical to the ultimate success of that national program, and (5) it has been determined that the available information base is inadequate and that remedial action is needed. What next?

The first requirement is to decide if the information base should be worldwide, regional, or national in scope. For an earth-science program in a participant country, a worldwide, in-depth collection would be too large, unnecessarily expensive, and require a large staff. A national collection - that is, one containing only material about a country's own geology - might be too small and extremely limited in its usefulness. It is upon a regional collection, one whose holdings would, at minimum, include the equivalent of several national collections, that attention should be focused.

How can the term regional be defined within the context of Central American geoscience information needs? Can regional be broadened to include all or part of

Mexico, all of Central America, Colombia, and the Caribbean area? Library resources which included retrospective and current materials covering such a large geographic area would provide a strong information base.

Further assume that each participant country has determined that its national program aspirations are best supported by a regional-size information base. What then?

To achieve responsive library service and effective information management, each of the following must be addressed: (1) physical facilities, (2) space, (3) trained staff, (4) collection development and acquisition, (5) cataloging and classification, and (6) user services. Successful resolution of those critical areas will enable the information center to achieve its ultimate objective of providing the geoscientist with what he wants, when he wants it.

How can participant countries develop or be assured of access to an information center which incorporates all or most of the criteria noted above? Four options are offered for consideration.

- First, each country could decide to build, staff, equip, stock, fund, and operate its own center without regard to what other participant countries do.
- Second, each participant country could contract independently for the full range of information services to be provided by established geoscience libraries or commercial vendors.
- Third, one facility could be identified as best qualified to function as the regional center of excellence for geoscience information throughout all of Central America.
- Fourth, participant countries could opt for some combination of the three choices just described.

Before evaluating these options, each participant country must determine how much of the funding available to carry out its national program is required to establish an effective geoscience information center and to provide for its continuing operation. Identifiable costs

include, but may not be limited to (1) facility planning, (2) space, (3) equipment, (4) retrospective acquisitions, (5) staff, (6) binding and collection preservation, (7) equipment maintenance, (8) staff training, (9) current acquisitions, and (10) recurring expenses. Having calculated the approximate level of funding required to establish and maintain an information center, participant countries should be better able to evaluate the options.

The first option, while providing the full range of services, would require substantial financial outlay for facilities, equipment, collections, and staff. The initial thrust of any national earth-science program could generate only modest use of in-depth library resources, and a national program could find it difficult to justify the expenditures to acquire such material given competing demands for funding. Establishment in any participant country of a regional-size information center intended to meet only that country's needs is not recommended.

The second option, establishment of contractual agreements with geoscience libraries or independent contractors outside Central America to provide a predetermined range of services, has much to recommend it. Participant countries might contract for online searching of specific databases, the acquisition, cataloging and processing of publications, the hiring of trained specialists, or the complete package of all functions necessary to successfully operate an information center.

The third option, selecting one Central American library to serve as the regional center of excellence for geoscience information, merits serious consideration. Any assessment of existing information centers must (1) evaluate each facility's strengths and weaknesses in the vital areas of collections, staff, and services, (2) calculate if significant growth in any or all of these areas is acceptable to and can be assimilated by the facility, its staff, and the parent organization, and (3) judge if the facility, given additional resources and an expanded mandate for service, can function successfully. Such evaluations would culminate in the identification of one facility to serve as the regional center and clearing-house for Central American geoscience information and to be funded and staffed accordingly.

The fourth option is a recommendation that participant countries use a dual approach in improving their information capability. In the first place, each country

should acquire a comprehensive collection of its own earth-science literature. Augmenting these holdings would be a core collection of international monographs, journals, and up-to-date textbooks intended to keep the geoscientist informed about current developments in his specialty. Collectively, such materials are the foundation of a country's geoscience information base.

In the second place, each participant country should support the concept of a center of excellence for geoscience information. Although the center undoubtedly would contain much of the information to be found in the library of any given participant country, the attractiveness and strength of a regional center would be the diversity and depth of its other holdings and the ability of a trained staff to promptly identify, locate, and deliver information which is not available within the requesting country.

Because its collections and acquisitions mandate would be limited by the definition applied to regional, a Central American regional information center cannot hope to satisfy all the demands placed upon it by participant countries. In such cases, access to library resources outside Central America, as a result of interlibrary cooperative programs and (or) contractual agreements with qualified vendors, would be the most effective, efficient, and economical resolution.

A consultant should be engaged to work with and assist participant countries and funding agencies interested in developing an information services system. A consultant could, for example (1) define and develop the requirements for a national information center, (2) identify and evaluate existing facilities to determine the best site for a regional center, (3) generate guidelines for collection building, (4) develop minimum qualification requirements for staffing, (5) devise plans for an interactive, microcomputer-supported, Central American geoscience information network, (6) contract for essential services to be provided by selected and qualified libraries and contractors, and (7) monitor all outstanding contracts to insure that appropriate services are being provided.

What has been proposed would provide Central America with library resources and information management sized to national and regional requirements and fully capable of supporting and complementing national and regional earth-science programs.

RECURSOS PARA BIBLIOTECA, MANEJO DE INFORMACION, Y PROGRAMAS NACIONALES DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Por George Goodwin

Libros, publicaciones, mapas, fotografías y archivos de notas están dentro de los principales elementos de una biblioteca de ciencias de la tierra. Gerentes de información o bibliotecarios, altamente calificados en la búsqueda de bibliografía, catálogos, datos de referencia en línea y otros trabajos de referencia, son la llave con la cual se les facilita a los científicos abrir esta bodega de conocimientos.

No se encuentran programas prometedores de la ciencia de la tierra que deparen esperanzas de sus patrocinadores, tracistas y gerentes, si el geocientífico no es capaz de transformar sus datos nuevos en un informe, porque los recursos bibliográficos son insatisfactorios o la información de los gerentes es inefectiva. Las metas del programa nacional tienen pocas probabilidades de realizarse a cabalidad si no hay un pronto y claro reconocimiento de la necesidad para planear, y desarrollar una base de información fuerte.

Suponiendo que (1) un país centroamericano en este seminario hubiera decidido embarcarse en un programa nacional de ciencias de la tierra, (2) metas a largo plazo y objetivos a corto plazo de tal programa han sido identificados, (3) compromisos de fondos se han recibido de las agencias de gobierno, bancos y otras instituciones financieras, (4) el fácil acceso e información se ha considerado decisivo para el buen resultado final de ese programa nacional, y (5) se ha determinado que la información base accesible es inadecuada y que son necesarias acciones para remediarlo. Que sigue?

El primer requisito es decidir si la información base debería ser de alcance mundial, regional o nacional. Para un programa de ciencia de la tierra en un país participante, una colección profunda y mundial sería muy grande, innecesariamente cara y requiere de mucho personal. Una colección nacional que contiene solamente material acerca de la geología del propio país, podría ser muy pequeña y extremadamente limitada en su uso. Es sobre una colección regional, cuya tenencia sería el

mínimo, incluyendo el equivalente de varias colecciones nacionales, en que esa atención debería ser enfocada.

Como podrían ser definidos los términos regionales dentro del contexto de la información de geociencia necesaria para Centroamérica? Puede ser ampliamente regional para incluir toda la parte de México, toda Centroamérica, Colombia y el área del Caribe? Los recursos de biblioteca incluyen retrospectivamente y materiales actuales que cubren esa gran área geográfica y que proveería una fuerte información base.

Suponiendo adicionalmente que cada país participante haya determinado que sus aspiraciones al programa nacional son bien amparadas por una base de información de tamaño regional. Después que?

Para llevar a cabo el servicio responsable de biblioteca e información y manejo efectivo, cada uno de los siguientes aspectos debe considerarse: (1) facilidades físicas, (2) espacio, (3) personal entrenado, (4) desarrollo de colección y adquisición, (5) clasificación y catalogación, y (6) servicios para el usuario. Resoluciones favorables para esas áreas críticas permitirán llevar a cabo al centro de información sus últimos objetivos de proveer al geocientífico con lo que el quiera, y cuando el lo quiera.

Como pueden los países participantes desarrollar o estar asegurados del acceso a un centro de información que incorpore todo o parte de todos los principios mencionados arriba?

- Primero, cada país puede decidir construir, proveer personal, equipo, abastecer, financiar y manejar su propio centro independientemente de lo que los otros países participantes hacen.
- Segundo, cada país participante podría contratar independientemente para la completa duración del servicio de información que serían proporcionados por bibliotecas de geociencia establecidas o vendedores comerciales.
- Tercero, una institución podría ser identificada como la mejor calificada para funcionar como centro

regional de excelencia de información geocientífica a través de toda Centroamérica.

- Cuarto, los países participantes podrían optar por alguna combinación de las tres opciones acabadas de mencionar.

Antes de evaluar estas opciones, cada país participante debe determinar cuanto hay de sus fondos aprovechables para llevar a cabo su programa nacional, para establecer un efectivo centro de información de geociencia y para mantener su operación continua. Los costos identificables incluyen, pero no pueden ser limitados a (1) facilidades de planeamiento, (2) espacio, (3) equipo, (4) adquisiciones retrospectivas, (5) personal, (6) encuadernado y preservación de las colecciones, (7) mantenimiento de equipo, (8) entrenamiento de personal, (9) adquisiciones actuales, y (10) gastos periódicos. Habiendo calculado el nivel aproximado de los fondos deseados para establecer y mantener un centro de información, los países participantes deberían ser más capaces de evaluar las opciones.

La primera opción mientras se provee la completa duración de los servicios requeriría financiamiento de desembolso substancial para facilidades, equipo, colecciones y personal. El paso inicial de cualquier programa nacional de ciencias de la tierra podría generar solamente un uso moderado de recursos bibliográficos en el fondo, y un programa nacional podría encontrarlo difícil de justificar los gastos de adquirir tal material, dando exigencias adecuadas para los fondos. No se recomienda el establecimiento en cualquier país participantes de un centro de información de tamaño regional, encaminado a encontrar solamente las necesidades de ese país.

La segunda opción, se recomienda el establecimiento de convenios contractuales con bibliotecas de geociencia o empresarios independientes fuera de América Central para proveer una predeterminada gama de servicios. Los países participantes deberían contratar para búsqueda en línea de antecedentes de publicaciones, la contratación de especialistas entrenados, o el paquete completo de todas las funciones necesarias para operar satisfactoriamente un centro de información.

La tercera opción, la selección de una biblioteca centroamericana que sirva como centro regional de excelencia para información geocientífica, merece una consideración seria. Cualquier distribución de un centro de información existente debe (1) evaluar cada facilidad de seguridad y debilidad en las áreas vitales de colecciones, personal y servicios, (2) calcular si el crecimiento significativo en cualquiera o en todas estas áreas es aceptable y puede ser asimilado por los medios, su personal y por la organización principal, y (3) juzgar si los medios, dando recursos adicionales y un mandato para servicio, puede funcionar satisfactoriamente. Tales evaluaciones deberían culminar en la identificación de un medio que sirva como

centro regional y bolsa de compensación para la información de geociencia Centroamericana y puede ser consolidado y en efecto proveído de personal.

La cuarta opción, es la recomendación de los países participantes a usar una doble vía de acceso para mejorar su capacidad de información. En primer lugar, cada país debería adquirir una amplia colección de su propia literatura de la ciencia de la tierra. Al aumentar estas posesiones habría una colección central de monografías internacionales, revistas y libros de texto actualizados encaminados a mantener informados a los geocientíficos acerca del actual desarrollo en su especialidad. Colectivamente tales materiales son la fundación de la base de información de geociencia de un país.

En segundo lugar, cada país participante debería mantener el concepto de un centro de excelencia de información de geociencia. Mientras que el centro indudablemente debería contener mucha de la información que debería ser encontrada en la biblioteca de cualquier país participante dado, el atractivo y la confianza de un centro regional debería ser la diversidad y la profundidad de sus otras posesiones, y la habilidad de un personal entrenado para identificar de inmediato, colocar y enviar información que no está al alcance dentro de los países solicitantes.

Debido a que el mandato de adquisición de colecciones debería ser limitado por el término regional, un centro de información centroamericano no puede esperar satisfacer todos los pedidos hechos por los países participantes. En tales casos, el acceso a las fuentes de biblioteca fuera de Centroamérica, como un resultado de programas cooperativos inter biblioteca y/o convenios contractuales con vendedores calificados, debería ser la solución más efectiva y económica.

Un consultor debería comprometerse a trabajar y asistir a los países participantes y agencias financieras interesadas en desarrollar sistemas de servicios de información. Un consultor podría, por ejemplo, (1) definir y desarrollar los requerimientos para un centro nacional de información, (2) identificar y evaluar facilidades existentes para determinar el mejor sitio para un centro regional, (3) establecer pautas para construir colecciones, (4) desarrollar requerimientos mínimos de calificación para personal, (5) proyectar planes para un sistema de información interactivo de asistencia microcomputarizada de geociencia en América Central, (6) contratar servicios vitales que serían proporcionados por bibliotecas seleccionadas y calificadas y contratistas, y (7) analizar todos los contratos principales para asegurar que se están dando los servicios apropiados.

Lo que ha sido propuesto proveería a Centro América con recursos de biblioteca y manejo de información con capacidad nacional y regional y completamente capaz de soportar y complementar programas de ciencia de la tierra nacionales y regionales.

PRECIOUS-METAL DEPOSITS IN VOLCANIC TERRANES

By Roger P. Ashley and Byron R. Berger

INTRODUCTION

Epithermal precious-metal deposits occur in continental volcanic terranes in arc and back-arc provinces throughout the world. Because these deposits are formed at shallow depths, most of those having significant production are found in the Cenozoic volcanic belts of the Circum-Pacific and Caribbean regions. The Tertiary volcanic terranes that occupy approximately 125,000 km² in Central America constitute a large prospective area for these deposits, and significant occurrences are presently known. The relatively small size and high grade of these deposits make them economically attractive to small and medium-sized mining operations.

This report presents conceptual descriptive and genetic models for the two main types of epithermal precious-metal deposits associated with volcanic rocks, here termed quartz-adularia type and quartz-alunite deposit types.

FEATURES COMMON TO ALL DEPOSITS

Volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits are associated with volcanic centers of all types, including stratovolcanoes, dome fields, calderas, and maars (Sillitoe and Bonham, 1984). Ore bodies occur in permeable zones including regional and local fault systems (such as caldera ring fractures), fragmental volcanic and volcanoclastic deposits, volcanic explosion breccias associated with both domes and maars, and hydrothermal explosion breccias. Volcanic host rocks range in composition from intermediate (andesite or rhyodacite) to silicic (rhyolite) and are rarely basaltic. Ore deposition occurs during waning volcanism or shortly after volcanism ceases in the host volcanic center. The vertical extent of the productive ore horizon, whether it is found in veins, stockworks, or breccia bodies, is most commonly between 200 and 600 m. Most districts show an abrupt bottoming

of ore shoots at a more or less constant elevation. Geologic considerations indicate that paleodepths to top of ore were less than 500 to 600 m for most deposits.

Quartz is always an important member of the gangue assemblage. Quartz and its contained fluid inclusions have yielded much of the fluid-composition, oxygen-isotope, and hydrogen-isotope data presently available for these deposits. Although this data base is still quite limited, it shows that the fluids that deposited both gangue and ore minerals had low salinities (typically 1 to 3 weight percent, maximum 14 weight percent NaCl equivalent), and were dominated by meteoric water (less than 10 percent magmatic water component). Sulfur isotope data for various sulfides show that sulfur is usually of magmatic origin. Fluid-inclusion temperatures during main-stage ore deposition show a range of several tens of degrees Centigrade between 290°C and 220°C, with median temperature most commonly around 250°C. Evidence of boiling has been observed in at least a dozen deposits.

FEATURES OF QUARTZ-ADULARIA DEPOSIT-TYPE

The distinction between the two major deposit-types described here is based on important differences in fluid chemistry, which are reflected in ore, gangue, and alteration mineral assemblages, and principal by-product base metals. In the quartz-adularia deposit-type, potassium feldspar (adularia) is present with quartz as a gangue mineral in the veins. Other gangue minerals include carbonate (calcite, ankerite, siderite, rhodochrosite), barite, fluorite, or manganese oxides. Altered rocks immediately adjacent to the veins often have the assemblage quartz-adularia. The quartz-adularia zone grades outward into a quartz-sericite (illite) zone, which grades in turn into an argillic zone that includes various combinations of kaolinite, illite, montmorillonite, and mixed layer illite-montmorillonite. The argillic alteration is superimposed on widespread propylitization.

Several subtypes of the quartz-adularia deposit-type may be defined based on ore mineralogy, which determines the dominant precious metal and the importance of by-product base metals. Silver-rich deposits ($\text{Ag}:\text{Au} > 30:1$) usually contain acanthite as a major silver mineral, and may contain silver sulfosalts or electrum. The accompanying base-metal sulfides are typically sphalerite, galena, chalcopyrite, sometimes tetrahedrite, and pyrite. In deposits that are relatively base-metal rich, these same base-metal sulfides are simply more abundant. In gold-rich deposits, native gold is important, and acanthite and electrum may also be present. The suite of base-metal sulfides remains the same, but these minerals are usually unimportant economically.

FEATURES OF QUARTZ-ALUNITE DEPOSIT-TYPE

In the quartz-alunite deposit-type, adularia is absent, and alteration adjacent to ore bodies is advanced argillic rather than potassic. The most intensely altered rocks, which always host the ore, contain quartz and any combination of the following: alunite, pyrophyllite, diaspore, kaolinite (dickite), or zunyite. The advanced argillic assemblages give way outward to argillic (quartz-kaolinite) or phyllic-argillic (quartz-sericite-kaolinite) assemblages. These kaolinite-bearing rocks grade into argillic rocks bearing montmorillonite or mixed layer illite-montmorillonite, or both. The argillic rocks give way to propylitized rocks that predate the main episode of alteration.

Unlike the quartz-adularia deposit-type, ore-mineral assemblages of the quartz-alunite deposit-type always include copper sulfosalts, the most prominent being enargite or luzonite-group minerals. Tetrahedrite and tennantite are also important, as are native gold, silver sulfosalts, covellite, bismuthinite, and occasionally tellurides. Pyrite is always abundant. Although this deposit-type includes distinct silver-rich ($\text{Ag}:\text{Au} > 3:1$) and gold-rich subgroups, copper is almost always a by-product. Gangue minerals other than quartz include alunite, kaolinite, and sometimes barite. Carbonates are absent. Limited fluid-inclusion data indicate that temperatures and salinities of fluids were generally in the same ranges as in the quartz-adularia type deposits, but maximum temperatures and salinities may have been somewhat higher. Evidence for boiling is common.

GENETIC MODELS

Berger and Eimon (1983) present three conceptual genetic models to encompass all variants of the quartz-

adularia deposit type, including the closed-cell convection model, the stacked-cell convection model, and the hot-springs deposition model. The closed-cell convection model (fig. 1) treats the relatively simple case of meteoric water heated at depth (most likely by a subvolcanic intrusion) and rising buoyantly in a large, open, moderately- to steeply dipping structure (usually a fault). In this situation hydrostatic pressures prevail over a large vertical range, but at shallow to intermediate depths silica deposition, owing to temperature decrease, produces episodic self-sealing and boiling. The changes in solution chemistry produced by boiling (mainly by loss of H_2S and CO_2) are important in causing deposition of precious metals, and, along with temperature decline and mixing, are also important in producing vertical zoning in veins. Implications of this model regarding wall-rock alteration have been considered in detail by Buchanan (1981). Quartz-adularia and quartz-sericite assemblages are associated with the vertical interval in which boiling occurs. Above this interval is a vapor-dominated zone characterized by illitic or argillic alteration, where condensation of steam and oxidation of H_2S to H_2SO_4 produce acid conditions. The most important aspect of this model is the unrestricted vertical flow of fluid, resulting in vertical zoning patterns that are much more prominent than lateral variations.

The stacked-cell convection model (fig. 2) treats a situation similar to the closed-cell model, but takes into account the possibility that relatively cold fresh meteoric water may cap the circulating cell of relatively hot, weakly to moderately saline metal-bearing fluid. As in the closed-cell model, chemical changes associated with boiling beneath the cap are important in precious-metal deposition. Here, however, fluid flow will not be predominantly vertical throughout the system, but will be predominantly lateral along the top of the ore-fluid cell. In this zone of lateral flow, fluid mixing and possibly spatially-associated boiling form complex high-grade base- and precious-metal ores with conspicuous lateral zonation.

Hydrothermal systems that develop conditions of rapid upflow and voluminous surface discharge may deposit precious metals very near the surface. The hot-springs deposition model (fig. 3) is an attempt to describe such systems. Here, rapid temperature decrease near the surface combined with rapid upflow causes dumping of silica at and near the surface. Fluid overpressures develop beneath the sealed cap, which, when broken, produces violent flash boiling and hydrothermal explosions. Repeated episodes of sealing and flash boiling result in complex brecciation and rebrecciation. Precious-metal deposition results mainly from changes in fluid chemistry produced by boiling. Ore bodies consist of fine-grained to microcrystalline quartz or chalcedony filling the explosion breccias or forming stockworks. Carbonate or adularia may accompany the silica, sulfide minerals (mostly pyrite

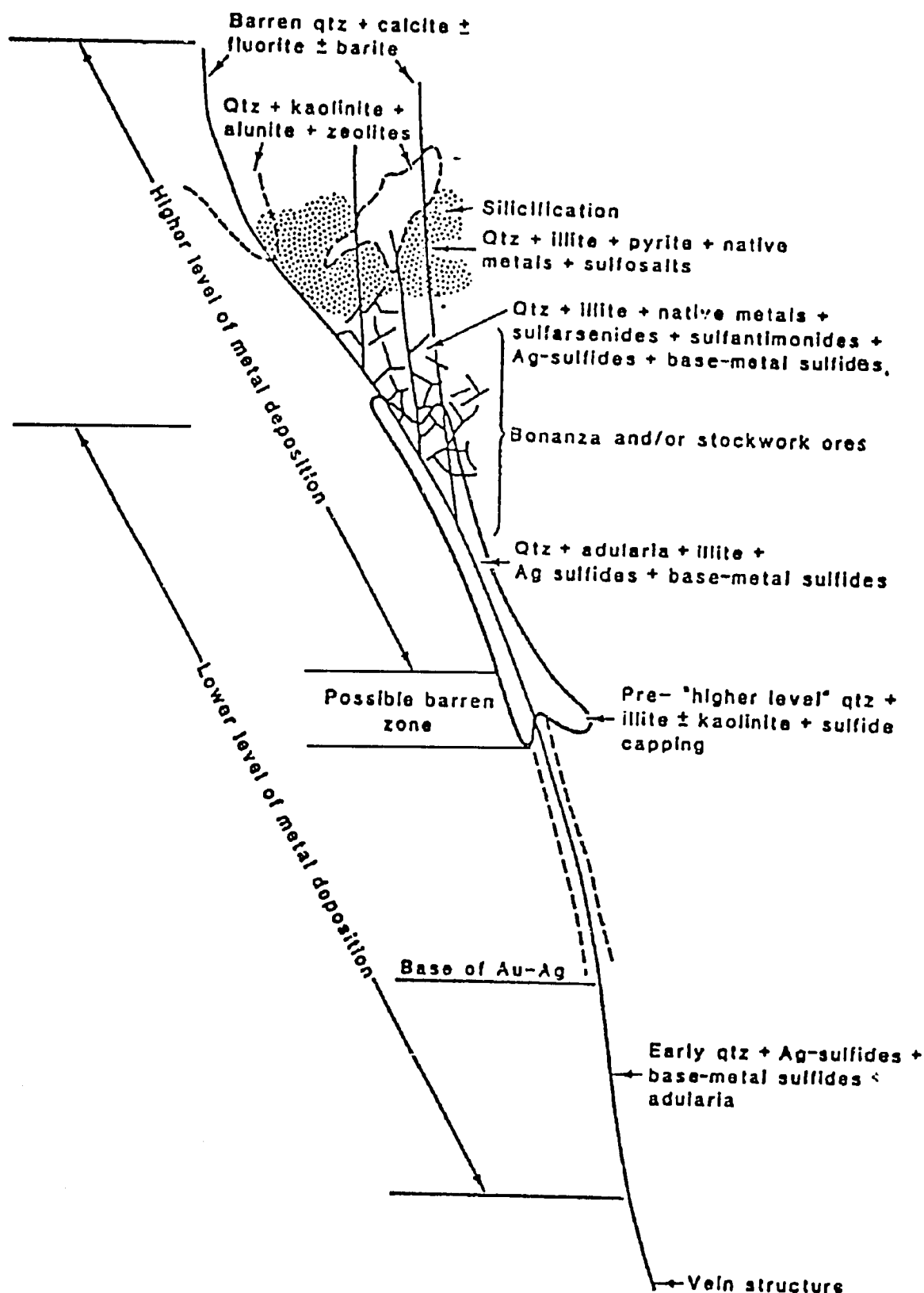


Figure 1. A schematic cross section of open-vein deposition in the closed-cell convection model including two levels of mineralization resulting in stacked ore bodies, in this case separated by a barren zone. From Berger and Eimon (1983).

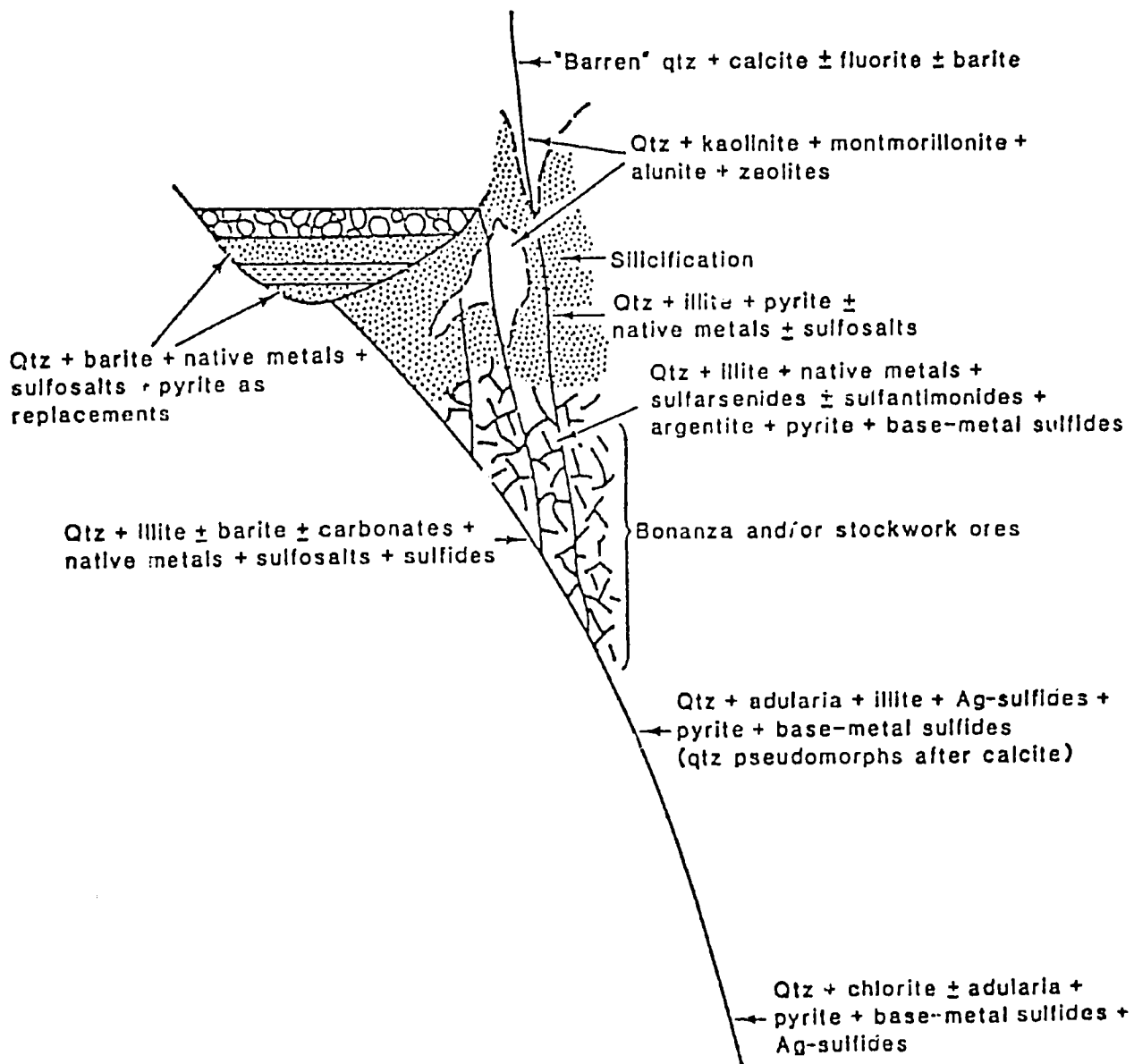


Figure 2. A schematic cross section of open-vein deposition in the zone of fluid mixing in the stacked-cell convection model including areas of stockwork fracturing and replacement-type deposits. From Berger and Eimon (1983).

or marcasite) are scarce, and precious metals are accounted for by extremely fine-grained native gold, electrum, and silver sulfosalts. The ore zone is always characterized by pervasive and intense silicification, zoned outward to quartz-illite alteration, montmorillonite-alteration, and finally pervasive propylitization. Zones of acid leaching marked by kaolinite, porous opaline silica, and alunite veins occur above, within, and laterally around ore zones, and are sometimes locally superimposed on the ore horizon.

A general picture of the environment of deposition of quartz-alunite-type deposits has been presented by Bethke (1984). Several important features of these depos-

its must be taken into account in modelling. First, the characteristic intense acid-sulfate alteration and the sulfosalt-bearing ore bodies are always closely related spatially and temporally to porphyritic domes or flow-dome complexes. The second important feature is the highly sulfidized character of both hydrothermally altered rocks and ores. Clearly, sulfur was abundant in the fluids, and a relatively large proportion of the sulfur was present as sulfate. The third important feature is common brecciation of advanced argillic alteration zones, which are sites for ore deposition (fig. 4).

Although not all features of these deposit-types and the processes that formed them are presently understood,

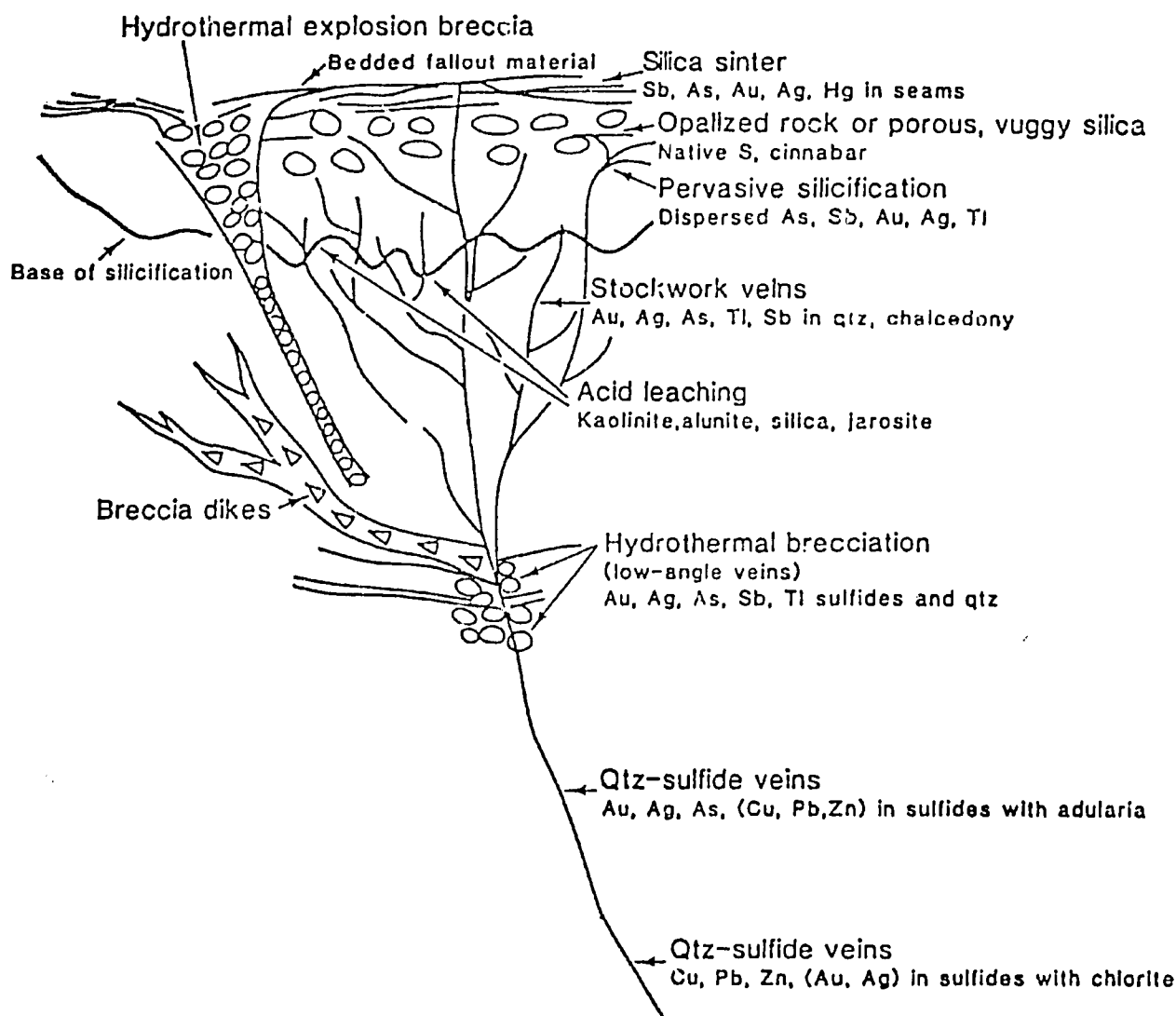


Figure 3. Schematic cross section of the hot-springs deposition model showing the spatial relationships of alteration and trace-element geochemistry and some of the more important structural features of this deposit type. From Berger and Eimon (1983).

the characteristics described above can be explained in a preliminary model. Igneous bodies intrude a volcanic center such as a dome field or stratovolcano at shallow levels, releasing plumes of SO_2 -rich magmatic gas which move upward and mix with ground water to establish a hydrothermal circulation system characterized by strong vertical temperature gradients and a high sulfur flux. With declining temperature, SO_2 disproportionates to yield SO_4 and with further temperature decrease, H_2SO_4 dissociates to produce the highly acid solutions responsible for hypogene leaching and advanced argillic alteration. Episodic sealing, hydrofracturing, and flash boiling are important in quartz-alunite type systems as well as quartz-adularia type systems (Ashley, 1982). The mode of evolution from the acid-sulfate-alteration stage to the ore-deposition stage is not well understood. Detailed studies

are needed to delineate the conditions of ore sulfosalt and sulfide deposition.

Advanced argillic alteration and associated copper sulfosalt veins and masses have been recognized in the upper parts of several porphyry copper systems, raising the possibility that some quartz-alunite-type deposits may be related to porphyry-copper mineralization at depth, as discussed by Wallace (1979) and Sillitoe (1973).

OCCURRENCE MODELS FOR EXPLORATION AND REGIONAL ASSESSMENT

Geological, geochemical, and some geophysical attributes of quartz-adularia-type deposits are given by Berger and Eimon (1983), Berger (1982), Barton (1982),

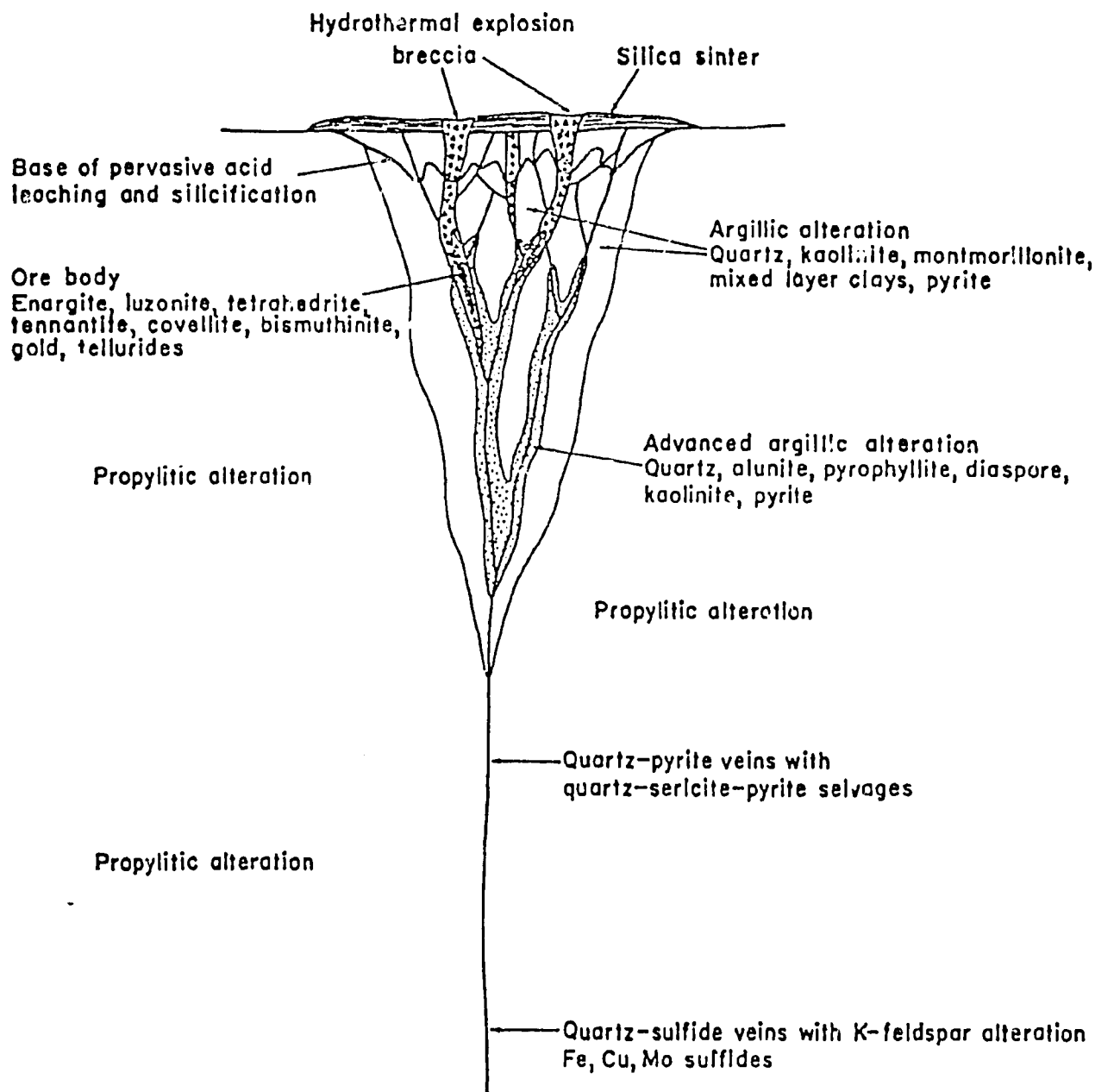


Figure 4. Schematic cross section of the quartz-alunite deposit model showing the spatial relationships between alteration zones, ore bodies, and other features.

Silberman (1982), and Giles and Nelson (1982). Attributes of quartz-alunite-type deposits are given by Ashley (1982). Useful summary lists of attributes are given by Berger for quartz-adularia-type (excluding hot-springs type deposits), quartz-alunite-type, and hot-springs-type deposits in Cox (1983), and are reproduced here (tables 1–3). In regional assessment, the geological environment attributes are most useful, along with evidence of hydrothermal alteration obtained through field or remote-sensing studies. Regional aeromagnetic and gravity data may be useful in recognizing volcanic centers, subvolcanic intrusions, and significant fracture systems;

silver, arsenic, antimony, and lead are the elements most likely to be seen in anomalous amounts in regional stream-sediment geochemical surveys where these deposits are present.

In exploration, the attributes listed in the deposit description sections of the summary lists are most useful. The first stage of exploration is to identify intermediate to silicic volcanic centers that have been slightly to no more than moderately eroded. Favorable features within volcanic centers include permeable volcanic and sedimentary units, ring-fracture zones, and fractures related to doming; exposures of hydrothermally altered rocks, veins, or

Table 1—Summary occurrence model for quartz-adularia-type deposits, from Cox (1983)

DEPOSIT TYPE: Epithermal Gold	SUBTYPE: Quartz-adularia
AUTHOR: Byron R. Berger	DATE: December 1982
APPROXIMATE SYNONYM: Precious metal, base-metal veins	OF (REFERENCE)
DESCRIPTION: Gold in vuggy quartz veins with abundant pyrite, arsenopyrite, sphalerite, and galena	
GENERAL REFERENCE:	
GEOLOGICAL ENVIRONMENT	
Rock Types: Areas of volcanism: andesite, dacite, quartz latite, rhyodacite, rhyolite	
Textures: Porphyritic	
Age Range: Mainly Tertiary for bonanza deposits, but may be any age	
Depositional Environment: Centers of volcanism and associated intrusive activity for bonanza deposits; batholiths	
Tectonic Setting(s): Through-going fracture systems; major normal faults, fractures related to doming, ring-fracture zones, joints	
Associated Deposit Types: Placer gold	
Metal Concentrations: Ag+Pb+Zn, Ag+W+Bi+Pb+Zn	
DEPOSIT DESCRIPTION	
Ore Minerals: Native gold+electrum+pyrite±arsenopyrite±galena±sphalerite in high Au:Ag deposits. Native gold+electrum+tetrahedrite+pyrite+galena+sphalerite±barite±rhodochrosite in high Ag:Au deposits. In hypogene oxidized areas or supergene zones gold+ruby silver+native silver	
Texture/Structure: Banded veins, open space filling, lamellar quartz, stockworks	
Alteration: Top to bottom of system: quartz+kaolinite+montmorillonite±zeolites±barite±calcite; quartz+illite; quartz+adularia±illite; quartz+chlorite. Presence of adularia is variable	
Ore Controls: Through-going, anastomosing fracture systems	
Weathering: Bleached country rock, goethite, jarosite, alunite. Supergene processes often important factor in increasing grade of deposit	
Geochemical Signature: Higher in system Au+As+Sb+Hg; Au+Ag+Pb+Zn+Cu; Ag+Pb+Zn, Cu+Pb+Zn. Base metals generally higher in deposits with silver	
Examples	References
Jarbridge, Nevada	
Comstock, Nevada	
Guanajuato, Mexico	

Table 2.—Summary occurrence model for quartz-alunite-type deposits, from Cox (1983)

DEPOSIT TYPE: Epithermal Gold	SUBTYPE: Quartz-alunite
AUTHOR: Byron R. Berger	DATE: December 1982
APPROXIMATE SYNONYM: Enargite gold	OF (REFERENCE)
DESCRIPTION: Gold, pyrite, and enargite in vuggy veins and breccias in zones of advanced argillic alteration related to felsic volcanism	
GENERAL REFERENCE:	
GEOLOGICAL ENVIRONMENT	
Rock Types: Volcanic: dacite, quartz latite, rhyodacite, rhyolite. Hypabyssal intrusion or domes	
Textures: Porphyritic	
Age Range: Generally Tertiary, but can be any age	
Depositional Environment: Within the volcanic edifice, ring-fracture zones of calderas, or areas of igneous activity with sedimentary evaporites in basement	
Tectonic Setting(s): Through-going fracture systems; keystone graben structures, ring-fracture zones, normal faults, fractures related to doming, joint sets	
Associated Deposit Types: Porphyry copper, active or fossil acid-sulfate hot springs, hydrothermal clay	
Metal Concentrations: Copper, arsenic, antimony	
DEPOSIT DESCRIPTION	
Ore Minerals: Native gold+enargite+pyrite+silver-bearing sulfosalts±chalcopyrites±bornite±precious-metal tellurides. May have hypogene oxidation phase with chalcocite+covellite±luzonite with late-stage native sulfur	
Texture/Structure: Veins; breccia pipes, pods, dikes; replacement veins often porous, vuggy	
Alteration: Highest temperature assemblage: quartz+alunite+pyrophyllite; may be early stage of quartz+alunite with pervasive alteration of host rock and veins of these minerals; zoned around quartz-alunite is quartz+alunite+kaolinite+montmorillonite; pervasive propylitic alteration	
Ore Controls: Through-going fractures, centers of intrusive activity	
Weathering: Abundant yellow jarosite and goethite, white argillization with kaolinite, fine-grained white alunite veins, hematite	
Geochemical Signature: Higher in system Au+As+Cu with increasing base metals at depth. Also Te	
Examples	References
Goldfield, Nevada	
Summitville, Colorado	
Kasuga mine, Japan	

Table 3—Summary occurrence model for hot-springs gold subtype of quartz-adularia-type deposits, from Cox (1983)

DEPOSIT TYPE: Epithermal Gold	SUBTYPE: Hot Springs gold
AUTHOR: Byron R. Berger	DATE: December 1982
APPROXIMATE SYNONYM:	OF (REFERENCE)
DESCRIPTION: Fine-grained silica and quartz in silicified breccia with gold pyrite, and Sb and As sulfides	
GENERAL REFERENCE:	
GEOLOGICAL ENVIRONMENT	
<u>Rock Types:</u> Areas of volcanic activity: rhyolite	
<u>Textures:</u> Porphyritic	
<u>Age Range:</u> Mainly Tertiary	
<u>Depositional Environment:</u> Rhyolitic volcanic centers, rhyolite domes	
<u>Tectonic Setting(s):</u> Through-going fracture systems	
<u>Associated Deposit Types:</u> Quartz veins, breccia pipes	
<u>Metal Concentrations:</u> Mo, W, Ag-sulfosalts, placer gold	
DEPOSIT DESCRIPTION	
<u>Ore Minerals:</u> Native gold + pyrite + stibnite + realgar or arsenopyrites ± sphalerite + chalcopyrite ± fluorite or native gold + Ag-selenide or tellurides + pyrite	
<u>Texture/Structure:</u> Banded veins, stockworks, breccias (uncemented or cemented with silica)	
<u>Alteration:</u> Top to bottom of systems: chalcedonic sinter, massive silicification, stockworks and veins of quartz + adularia and breccias cemented with quartz, quartz + chlorite. Veins generally chalcedonic	
<u>Ore Controls:</u> Through-going fracture systems, brecciated cores of intrusive domes; cemented breccias important carrier of ore	
<u>Weathering:</u> Bleached country rock, yellow jarosite and goethite, fine-grained alunite, hematite	
<u>Geochemical Signature:</u> Au + As + Sb + Hg + Tl higher in system, increasing Ag with depth, decreasing As + Sb + Tl + Hg with depth	
<u>Examples</u>	<u>References</u>
McLaughlin, California	
Round Mtn., Nevada	
Delamar, Idaho	

surface sinters; and shows of mineralization. Vein and altered rock exposures must be sampled in detail to confirm whether a geochemical signature typical of the higher parts of one of these deposits is present. If so, further detailed geological and geochemical surface investigations should be carried out to delineate permeable rock units and structures, alteration zoning, and geochemical zoning. Drill holes can then be located to intersect zones of maximum alteration intensity and enclosed veins or stockworks at a level where maximum concentration of precious metals is likely. Exploration geophysical methods may be of some use in tracing faults and veins and detecting alteration minerals and sulfides at depth.

REFERENCES CITED

- Ashley, R.P., 1982, Occurrence model for enargite-gold deposits, in Erickson, R.L., compiler, Characteristics of mineral-deposit occurrences: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-795, p. 144-147.
- Barton, Paul, 1982, Silver/base metal epithermal deposits, in Erickson, R.L., compiler, Characteristics of mineral-deposit occurrences: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-795, p. 127-130.
- Berger, B.R., 1982, The geological attributes of Au-Ag-base metal epithermal deposits, in Erickson, R.L., compiler, Characteristics of mineral-deposit occurrences: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-795, p. 119-126.
- Berger, B.R., and Eimon, P.I., 1983, Conceptual models of epithermal precious-metal deposits, Chapter 15, in Shanks, W.C., III, ed., Cameron volume on unconventional mineral deposits: Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., p. 191-205.
- Bethke, P.M., 1984, Controls on base and precious-metal mineralization in deeper epithermal environments: U.S. Geological Survey Open-File Report 84-890, 14 p.
- Buchanan, L.J., 1981, Precious-metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest: Arizona Geological Society Digest, v. 14, p. 237-262.
- Cox, D.P., editor, 1983, U.S. Geological Survey—INGEO-MINAS mineral resource assessment of Columbia, ore deposit-models: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-423, 49 p.
- Giles, D.L., and Nelson, C.E., 1982, Principal features of epithermal lode gold deposits of the Circum-Pacific rim: Presented at Circum-Pacific Energy and Minerals Resource Conference, Honolulu, Hawaii, August 22-28, 1982: Lakewood, Colorado, Cimarron Exploration, Inc., 12 p.
- Silberman, M.L., 1982, Hot-spring type, large tonnage, low-grade gold deposits, in Erickson, R.L., compiler, Characteristics of mineral deposit occurrences: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-795, p. 131-143.
- Sillitoe, R.H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits: Economic Geology, v. 68, p. 799-815.
- Sillitoe, R.H., and Bonham, H.F., Jr., 1984, Volcanic landforms and ore deposits: Economic Geology, v. 79, p. 1286-1298.

Wallace, A.B., 1979, Possible signatures of buried porphyry-copper deposits in middle to late Tertiary volcanic rocks of western Nevada, *in* International Association for the Gen-

esis of Ore Deposits (IAGOD), 5th Quadrennial Symposium Proceedings, Vol. II: Nevada Bureau of Mines and Geology Report 33, p. 69-76.

DEPOSITOS DE METALES PRECIOSOS EN TERRENOS VOLCANICOS

Por Roger P. Ashley y Byron R. Berger

INTRODUCCION

Los depósitos epitérmicos de metales preciosos se presentan en todo el mundo en los territorios continentales volcánicos de las áreas situadas en el arco y detrás del arco. Debido a que estos depósitos se forman a poca profundidad, la mayoría de ellos con una producción significativa se encuentran en las fajas volcánicas cenozoicas de la región en torno al Pacífico y de la región del Caribe. Los territorios volcánicos terciarios que ocupan aproximadamente 125.000 kilómetros cuadrados en Centroamérica, comprenden una extensa área con potencialidad para la presencia de estos depósitos, y en la actualidad se conoce la existencia de depósitos importantes. El tamaño relativamente pequeño y el alto grado de estos depósitos hacen que sean económicamente atractivos para las operaciones mineras pequeñas y medianas.

El propósito de este informe es presentar modelos descriptivos conceptuales y genéticos de los dos principales tipos de depósitos epitérmicos de metales preciosos, asociados con rocas volcánicas, los que aquí se denominan depósitos tipo cuarzo-adularia y tipo cuarzo-alunita.

CARACTERISTICAS COMUNES DE TODOS LOS DEPOSITOS

Los depósitos epitérmicos de metales preciosos de origen volcánico se asocian con centros volcánicos de todo tipo, incluyendo los estratovolcanes, campos de domos, calderas y diatremas (Sillitoe y Bonham, 1984). Los cuerpos minerales se presentan en zonas permeables, incluyendo los sistemas de fallas regionales y locales (como las fracturas anulares de calderas), los depósitos volcánicos fragmentarios y volcanoclásticos, las brechas de explosión volcánica asociadas tanto con domos como con diatremas y las brechas de explosión hidrotérmica. Las rocas volcánicas varían en su composición desde las

intermedias (andesita o riolacita) hasta las silíceas (riolita) y raras veces son basálticas. Las acumulaciones de mineral se realizan durante la disminución de la actividad volcánica, o poco después de que esta cesa en el centro volcánico de origen. La extensión vertical del horizonte mineral productivo, ya sea que se encuentre en forma de vetas, intrusiones o brechas, por lo general alcanza los 200 a 600 metros. La mayoría de los distritos muestran una sedimentación abrupta de columnas de mineral a una elevación más o menos constante. Los estudios geológicos determinaron que para la mayoría de depósitos la profundidad paleozoica hasta la parte superior del mineral era menor a los 500 a 600 metros.

El cuarzo es siempre un componente importante de la formación filoniana. El cuarzo y su contenido de inclusiones fluidas han proporcionado una gran parte de los datos de que se dispone en la actualidad para estos depósitos, con respecto a composición fluida, isótopo de oxígeno e isótopo de hidrógeno. A pesar de que esta base de datos es aún bastante limitada, muestra que los fluidos que depositaron tanto el material de ganga como el mineral contenían baja salinidad (generalmente de 1 a 3 en porcentaje de peso, máximo 14 por ciento en peso de equivalente de NaCl), y predominaba en ellos el agua meteórica (menos del 10 por ciento en componente magmático del agua). Los datos del isótopo de azufre de varios sulfuros muestran que el azufre es, usualmente, de origen magmático. Las temperaturas de la inclusión de fluida durante la etapa principal de acumulación de mineral muestran una variación de varias decenas de grados centígrados, oscilando entre los 200°C y los 220°C, con una temperatura media generalmente alrededor de los 250°C. Por lo menos en una docena de depósitos se ha observado evidencia de ebullición.

CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS DEL TIPO CUARZO-ADULARIA

La distinción entre los dos principales tipos de depósitos que se describen aquí está basada en impor-

tantes diferencias en la composición química del fluido, reflejadas en las formaciones de mineral, ganga y alteración, así como en los principales metales de subproducto. En el depósito del tipo cuarzo-adularia, el feldespato de potasio (adularia) está presente en las vetas como un mineral de ganga, junto con el cuarzo. Otros minerales de ganga incluyen el carbonato (calcita, ankerita, siderita, redocrusita), la baritina, la fluorita o los óxidos de manganeso. Las rocas alteradas, directamente adyacentes a las vetas, a menudo contienen la formación de cuarzo-adularia. La zona de cuarzo-adularia se torna gradualmente en una zona de cuarzo-sericita (ilita), la que a su vez se convierte gradualmente en una zona argilosa que incluye varias combinaciones de caolinita, ilita, montmorillonita y una capa mixta de ilita montmorillonita. La alteración argilosa aparece superpuesta sobre una propilitización propagada.

Varios subtipos del depósito de cuarzo-adularia pueden ser definidos con base en la mineralogía del material, que determina el metal precioso dominante y la importancia de los metales subproducto. Los depósitos ricos en plata ($\text{Ag:Au} > 30:1$) generalmente contienen acantita como un mineral argentífero principal, y pueden contener sulfosales argentíferas o electro. Los sulfuros metálicos básicos que aparecen en la composición usualmente son esfalerita, galena, calcopirita y a veces tetraedrita y pirita. En depósitos que son relativamente ricos en metales básicos, estos mismos sulfuros metálicos de base simplemente son más abundantes. En los depósitos ricos en oro, el oro nativo es importante y la acantita y el electro también pueden estar presentes. El conjunto de sulfuros metálicos básicos permanece igual, pero estos minerales por lo general carecen de importancia económica.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPOSITOS DEL TIPO CUARZO-ALUNITA

En los depósitos del tipo de cuarzo-alunita no existe la adularia y la alteración adyacente a los cuerpos de mineral es argilosa avanzada, en lugar de potásica. Las rocas más intensamente alteradas, que siempre dan origen al mineral, contienen cuarzo y cualquier combinación de lo siguiente: Alunita, pirofilita, diasporo, caolinita (dikita), o zunita. Las capas argilosas avanzadas hacen surgir las formaciones argilosas (cuarzo-caolinita) o filicoargilosas (cuarzo-sericita-caolinita). Estas rocas que contienen caolinita gradualmente se tornan en rocas argilosas, conteniendo montmorillonita o una capa mixta de ilita-montmorillonita, o ambos tipos de material. Las rocas argilosas dan lugar a la formación de rocas propilitizadas, que preceden la etapa principal de la alteración.

A diferencia de los depósitos del tipo cuarzo-adularia, las formaciones minerales de los depósitos del

tipo de cuarzo-alunita siempre incluyen sulfosales de cobre, de las cuales las más prominentes son la enargita o los minerales del grupo de la luzonita. La tetraedrita y la tenantita también son importantes, como lo son el oro natural, las sulfosales argentíferas, la covelita, la bismutinita y, ocasionalmente, los telururos. La pirita siempre es abundante. Aunque este tipo de depósito incluye subgrupos distintos ricos en plata ($\text{Ag:Au} > 3:1$) y en oro, el cobre casi siempre aparece como un subproducto. Los minerales de ganga, aparte del cuarzo, incluyen alunita, caolinita y a veces baritina. No existen carbonatos. Los datos de la inclusión limitada de fluido indican que las temperaturas y la salinidad de los fluidos tenían generalmente las mismas variaciones que los depósitos del tipo de cuarzo-adularia, pero las temperaturas y la salinidad máximas pueden haber sido un poco más altas. Es común la evidencia de ebullición.

MODELOS GENETICOS

Berger y Eimon (1983) presentan tres conceptos de modelos genéticos para encerrar las variantes del depósito del tipo cuarzo-adularia, incluyendo el modelo de convección de celda cerrada, el modelo de convección de celda abierta y el modelo de depósito de aguas termales. El modelo de convección de celda cerrada (fig. 1) se refiere al caso, relativamente simple, del agua meteórica que se calentó en la profundidad (seguramente por una intrusión subvolcánica) y surgió vigorosamente a través de una gran estructura abierta, con un declive desde moderado hasta empinado (usualmente una falla). Bajo estas circunstancias, las presiones hidrostáticas prevalecen a lo largo de una gran gama vertical; sin embargo, a poca profundidad o profundidad intermedia los depósitos de sílice, causados por la reducción de la temperatura, producen autosellado episódico y ebullición. Los cambios en la química de la solución, producidos por la ebullición (principalmente por la pérdida de H_2S y CO_2) tienen importancia en la provocación del depósito de metales preciosos y, junto con el descenso y la mezcla de la temperatura, tienen también importancia en la producción de zonificación vertical en las vetas. Las implicaciones de este modelo con respecto a la alteración de pared-roca han sido consideradas detalladamente por Buchanan (1981). Las formaciones de cuarzo-adularia y cuarzo-sericita están asociadas con el intervalo vertical en el cual ocurre la ebullición. Por encima de este intervalo existe una zona en la que predomina el vapor, caracterizada por una alteración íltica o argilosa, en la cual la condensación del vapor y la oxidación del H_2S al H_2SO_4 producen condiciones ácidas. El aspecto más importante de este modelo es el flujo vertical libre del líquido que da como resultado patrones de zonificación vertical, que son mucho más prominentes que las variaciones laterales.

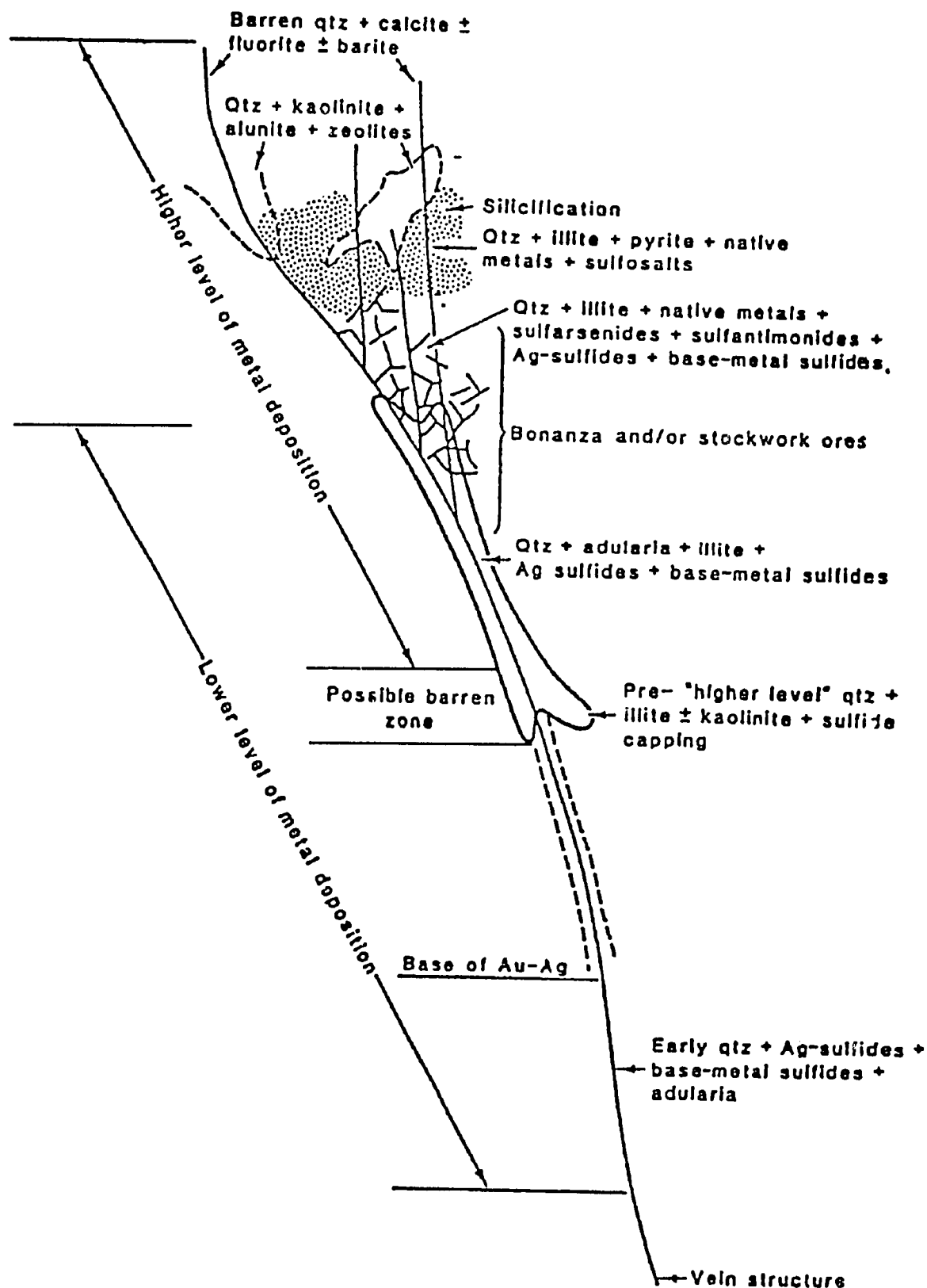


Figura 1. Un corte transversal esquemático de depósito de veta abierta en el modelo de convección de celda cerrada, incluyendo dos niveles de mineralización en forma de cuerpos minerales apilados, en este caso separados por una zona estéril. De Berger y Eimon (1983).

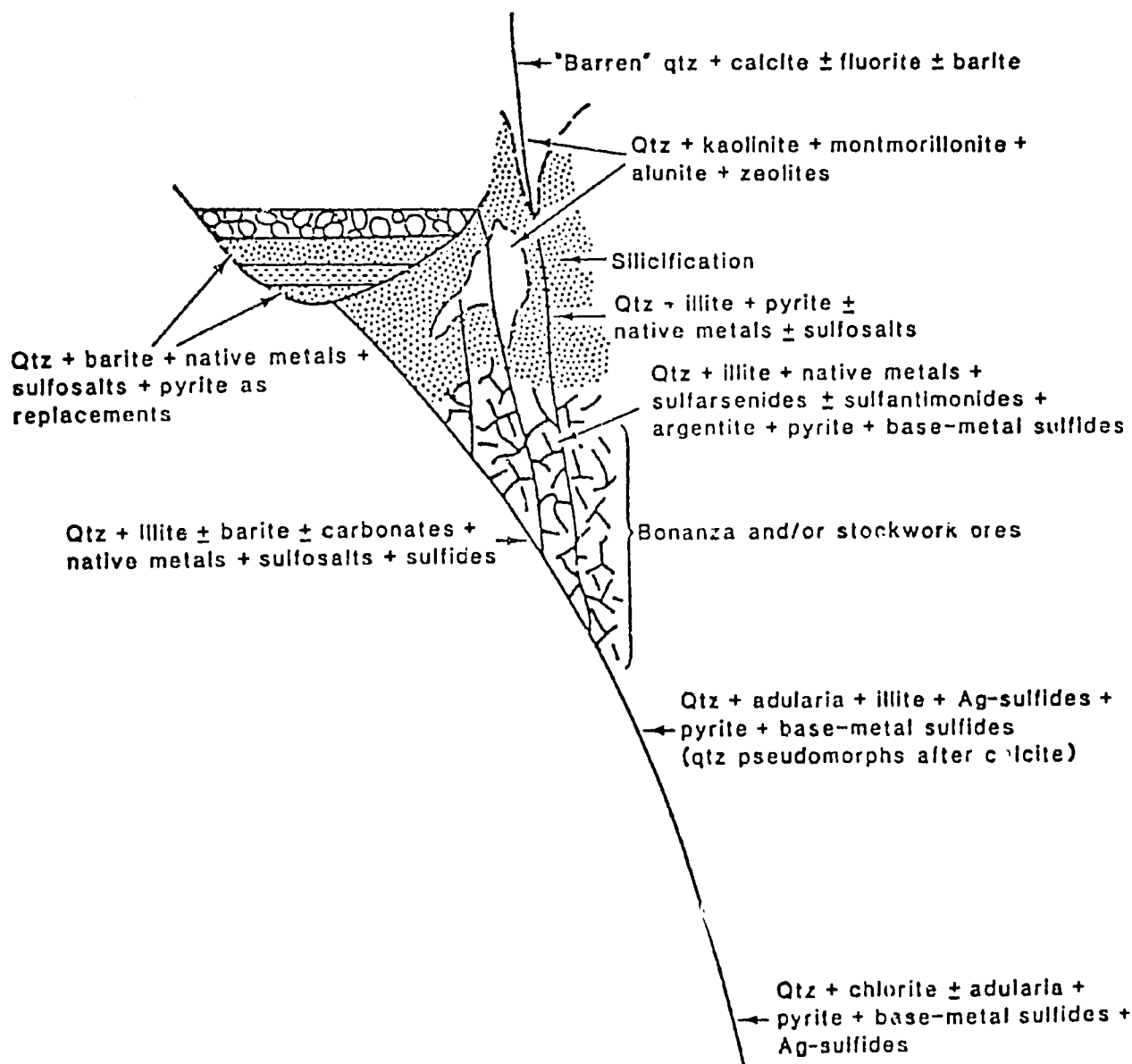


Figura 2. Un corte transversal esquemático de depósito de ve a abierta en la zona de mezcla de fluidos del modelo de convección de celda apilada, incluyendo áreas de fracturas de intrusión y depósitos del tipo de restitución. De Berger y Eimon (1983).

El modelo de convección de celda apilada (fig. 2) se refiere a una situación similar a la del modelo de celda cerrada, pero toma en consideración la posibilidad de que el agua meteórica fresca, relativamente fría, pueda cubrir la celda circulante de fluido metálico ligero a moderadamente salino, el cual está relativamente caliente. Al igual que en el modelo de celda cerrada, los cambios químicos asociados con la ebullición debajo de la capa de cubrimiento son importantes para el depósito del metal precioso. En este caso, sin embargo, el fluido no corre en forma predominantemente vertical a través del sistema, sino que lo hará en forma predominantemente lateral, a lo largo de la parte superior de la celda de mineral fluido.

En esta zona de flujo lateral, la mezcla del fluido y, posiblemente, la ebullición espacialmente asociada forman una base compleja de alto grado y mineral metálico precioso con conspicua zonificación lateral.

Los sistemas hidrotérmicos que desarrollan condiciones de raudal de flujo ascendente y la voluminosa descarga superficial pueden depositar metales preciosos muy cerca de la superficie. El modelo de depósito de aguas termales (fig. 3) intenta describir tales sistemas. En este caso, el descenso de la temperatura cerca de la superficie, combinado con el flujo ascendente del raudal, provoca la descarga de sílice en y cerca de la superficie del sistema. Debajo de la capa sellada de cubrimiento se

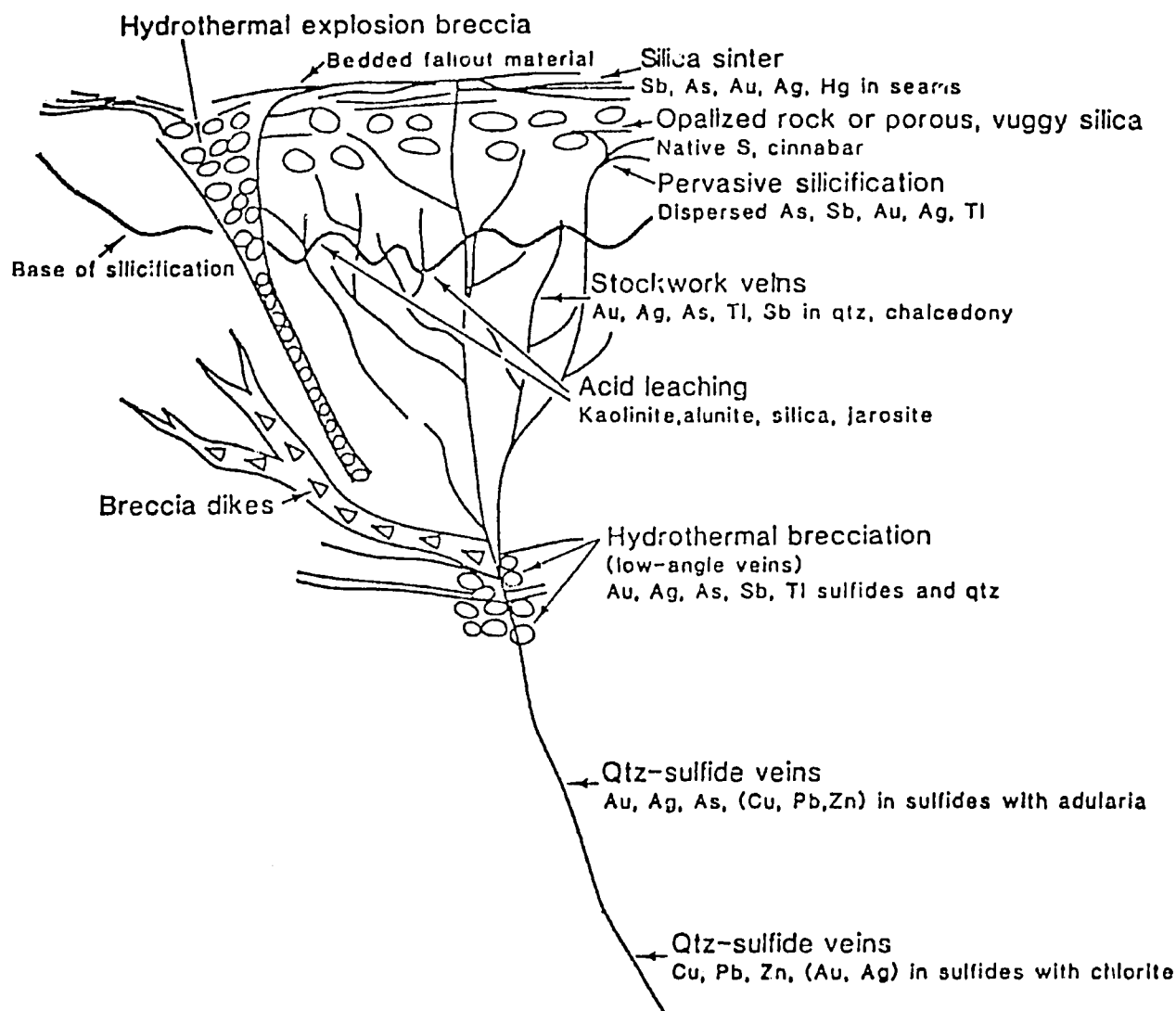


Figura 3. Corte transversal esquemático del modelo de depósito de aguas termales, mostrando las relaciones espaciales de la geoquímica de alteración y elementos-pista, y algunas de las características estructurales de mayor importancia de este tipo de depósito, De Berger y Eimon (1983).

desarrollan sobrepresiones de fluido, y al romperse la capa estas producen ebullición instantánea y violenta, así como explosiones hidrotérmicas. Los repetidos episodios de sellado y ebullición instantánea dan como resultado complejas brechaciones y rebrechaciones. La acumulación de metales preciosos proviene, principalmente, de los cambios en la química del fluido, producidos por la ebullición. Los cuerpos de mineral están formados por cuarzo desde fino hasta microcristalino, o por calcedonia que llena las brechas causadas por la explosión o forma intrusiones. La sílice puede estar acompañada por carbonato o adularia; los minerales sulfurados (en su mayoría pirita o marcassita) son escasos y los metales preciosos aparecen como oro natural de grano extremadamente fino, electro y sulfosales argentíferas. La zona mineral siempre se caracteriza por silicificación penetrante e intensa, que gradualmente surge a una

alteración de cuarzo-ilita, luego a una alteración de monmorillonita y, finalmente a una propilitización penetrante. Las zonas de lixiviación ácida, marcadas por caolinita, sílice opalina porosa y vetas de alunite, aparecen encima de las zonas de mineral, dentro de estas y alrededor de estas, en forma lateral, y a veces están superpuestas localmente sobre el horizonte de mineral.

Un cuadro general del ambiente de acumulación de los depósitos del tipo de cuarzo-alunite ha sido presentado por Bethke (1984). Varias características importantes de estos depósitos deben ser consideradas al hacer los modelos. En primer lugar, la característica alteración acidosulfática intensa y los cuerpos minerales con contenido de sulfosales siempre están muy relacionados, espacial y temporalmente, con los domos porfíricos o con complejos de flujo-domo. La siguiente característica a considerar como importante es la naturaleza altamente

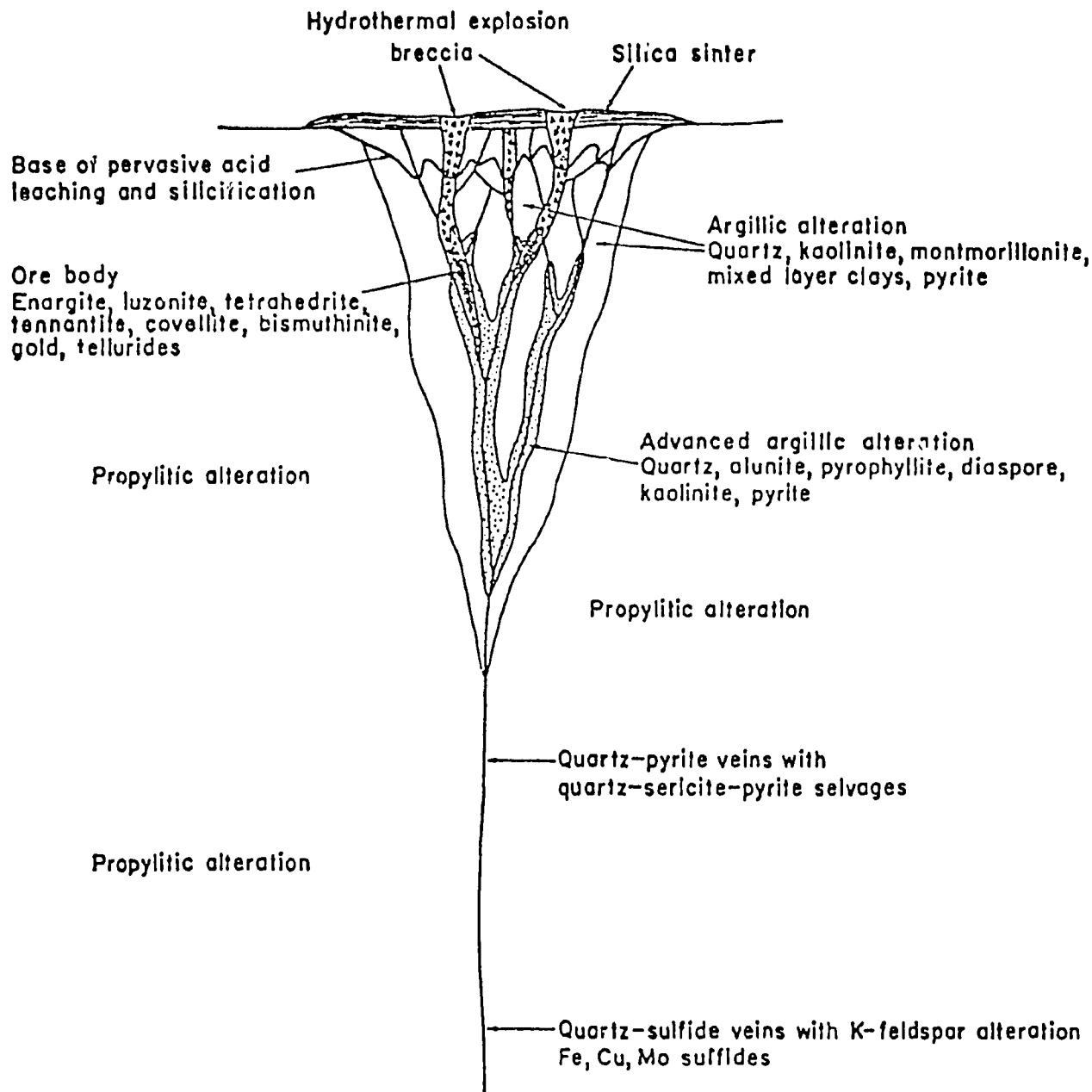


Figura 4. Corte transversal esquemático del modelo de depósito de cuarzo-alunita, mostrando las relaciones espaciales entre las zonas de alteración, los cuerpos de mineral y otras características.

sulfurosa tanto de las rocas como de los minerales alterados hidrotérmicamente. Se ve con claridad que el azufre era abundante en los fluidos y que una proporción relativamente grande de azufre estaba presente en forma de sulfato. La tercera característica importante a considerar es la brechación común de las zonas con alteración argilosa avanzada, las cuales son sitios para la acumulación de mineral (fig. 4).

A pesar de que no todas las características de estos depósitos ni los procesos que los formaron son comprendidos en la actualidad, las características descritas arriba pueden ser explicadas en un modelo preliminar. Los

cuerpos ígneos se introducen, a niveles de poca profundidad, en centros volcánicos como los campos de domos o los estratovolcanes, liberando fumarolas de gas magmático rico en SO_2 , el cual se mueve hacia arriba y se mezcla con el agua subterránea, estableciendo un sistema de circulación hidrotérmica caracterizado por fuertes graduaciones verticales de temperatura y alto flujo de azufre. Con el descenso de temperatura el SO_2 se desproporciona para producir SO_4 y, con una reducción adicional de temperatura, el H_2SO_4 se separa y produce las soluciones altamente ácidas que dan lugar a la lixiviación hipogénica y a la alteración argilosa avanzada.

Tabla 1 — Resumen del modelo de depósito tipo cuarzo-adularia, de Cox (1983).

TIPO DE DEPOSITO: Oro Epitermal AUTOR: Byron R. Berger SINONIMO APROXIMADO: Metal precioso, vetas de base metálica DESCRIPCION: Oro en vetas cristalizadas de cuarzo, con abundancia de pirita, arsenopirita, esfalerita y galena REFERENCIA GENERAL:		SUBTIPO: Cuarzo adularia RECHIA: Diciembre de 1982 DE (REFERENCIA)
AMBIENTE GEOLOGICO		
Tipos de Rocas: Areas de volcanismo: Andesita, dacita, latita de cuarzo, riolita, riolita Texturas: Porfíricas Clasificación de Era: Para los depósitos de veta valiosa, principalmente Terciaria, pero puede ser cualquier era Ambiente del Depósito: Para los depósitos de veta valiosa, centros de volcanismo y actividad de intrusión asociada; batolitos Marco(s) Tectónico(s): Sistemas de fracturas continuas; fallas mayores normales, fracturas relacionadas con domos, zonas de fracturas anulares, grietas Tipos de Depósito Asociados: Oro placerico Concentraciones Metálicas: Ag+Pb+Zn, Ag+W+Bi+Pb+Zn		
DESCRIPCION DEL DEPOSITO		
Minerales: Oro natural+electro+pirita±arsenopirita±galena±esfalerita en depósitos altos de Au:Ag. Oro natural+electro+tetradrita+pirita+galena+esfalerita±baritina±rodocrosita en depósitos altos de Ag:Au. En áreas hipogénicas oxidizadas o zonas supergénicas, oro+plata roja+plata natural Textura/Estructura: Vetas estratificadas, llenado de espacio abierto, cuarzo laminado, intrusiones Alteración: De la parte superior al fondo del sistema: Cuarzo+caolinita+montmorillonita±zeolitas±baritina±calcita; cuarzo+ilita; cuarzo+adularia±ilita; cuarzo+clorita. La presencia de adularia es variable Controles del Mineral: Sistemas de fracturas anastomizantes continuas Meteorización: Roca madre blanqueada, geotita, jarosita, alunita. Los procesos supergénicos son a menudo un factor importante para aumentar el grado del depósito Señal Geoquímica: Más alta en los sistemas Au+As+Sb+Hg; Au+Ag+Pb+Zn+Cu; Ag+Pb+Zn, Cu+Pb+Zn. Los metales básicos generalmente son más altos en los depósitos que contienen plata		
Ejemplos		Referencias
Jarbidge, Nevada		
Comstock Nevada		
Guanajuato, Mexico		

El sellado episódico, las hidrofracturas y la ebullición instantánea son importantes en los sistemas del tipo de cuarzo-alunita, así como en los del tipo de cuarzo-adularia (Ashley, 1982). Aún no se ha comprendido bien como se efectúa el desarrollo desde la etapa de alteración acidosulfática hasta la de acumulación del mineral. Se necesitan estudios detallados para delinear las condiciones de los depósitos de sulfosales minerales y sulfuro.

En las partes superiores de varios sistemas de cobre porfírico se han reconocido alteraciones argilosas avanzadas, asociadas con vetas y masas de sulfosales cúpricos, lo cual presenta la posibilidad de que algunos depósitos del tipo de cuarzo-alunita puedan estar relacionados con la mineralización porfirocúprica a niveles profundos, según discutido por Wallace (1979) y Sillitoe (1973).

MODELOS DE DEPOSITOS PARA EXPLORACION Y EVALUACION REGIONAL

Las características geológicas, geográficas y algunas geofísicas de los depósitos del tipo de cuarzo-adularia son proporcionadas por Berger y Eimon (1983),

Berger (1982), Barton (1982), Silberman (1982), y Giles y Nelson (1982). Las características de los depósitos del tipo de cuarzo-alunita son proporcionados por Ashley (1982). Útiles listas resumidas de características son proporcionadas por Berger para el tipo de cuarzo-adularia (excluyendo los depósitos del tipo de aguas termales); las características del tipo de cuarzo-alunita y del tipo de aguas termales se encuentran en Cox (1983) y aparecen reproducidas a continuación (tablas 1-3). En la evaluación regional, son muy útiles las características del ambiente geológico, junto con la evidencia de alteración hidrotermica obtenida a través de estudios de campo o de detección remota. Los datos regionales aeromagnéticos y de gravedad pueden ser útiles para reconocer centros volcánicos, intrusiones subvolcánicas y sistemas importantes de fracturas; plata, arsénico, antimonio y plomo son los elementos que con mayor seguridad pueden ser vistos en cantidades anómalas, al realizar estudios geoquímicos regionales de sedimento fluvial, en el cual estos depósitos están presentes.

Para la exploración son muy útiles las características detalladas en las secciones de descripción de depósitos de las listas resumidas. La primera etapa de exploración es la identificación de los centros volcánicos, de intermedios a silíceos, que han sufrido erosión de liviana a no más que

Tabla 2.—Resumen del modelo de depósito tipo cuarzo-alunita, de Cox (1983)

TIPO DE DEPOSITO: Oro Epitermal AUTOR: Byron R. Berger SINONIMO APROXIMADO: Oro enargítico DESCRIPCION: Oro, pirita y enargita en vetas y brechas cristalizadas en zonas de alteración argilosa avanzada, relacionada con volcanismo petrosilíceo REFERENCIA GENERAL:		SUBTIPO: Cuarzo-alunita FECAH: Diciembre 1982 DE (REFERENCIA)
AMBIENTE GEOLOGICO		
Tipos de Rocas: Volcánicas: Dacita, cuarzo latita, riolita, intrusor. "hypabyssal" o domos Texturas: Porfíricas Clasificación de Era: Generalmente Terciaria, pero puede ser cualquier era Ambiente del Depósito: Dentro de la estructura volcánica, zonas de fracturas anulares de calderas, o áreas de actividad ígnea con evaporitas sedimentarias en el basamento Marco(s) Tectónico(s): Sistemas de fracturas continuas, estructuras de clave de arco "graben", zonas de fracturas anulares, fallas normales, fracturas relacionadas con domos, series de grietas Tipos de Depósito Asociados: Cobre porfírico; aguas termales con contenido de sulfato ácido, activo o fósil; arcilla hidrotérmica Concentraciones Metálicas: Cobre, arsénico, antimonio		
DESCRIPCION DEL DEPOSITO		
Minerales: Oro natural+enargita+pirita+sulfosales conteniendo plata+calcopirita±bornita±telururos de metales preciosos. Puede haber fase de oxidación hipogénica, con calcocita+covelita±luzonita, con sulfuro natural de última etapa Textura/Estructura: Vetas; brechas cilíndricas, ranuras, diques; vetas de restitución a menudo porosas, cristalizadas Alteración: Formación de alta temperatura: cuarzo+alunita+pirofilita; puede haber etapa temprana de cuarzo+alunita, con alteración penetrante de roca encajante y vetas de estos minerales; la zonificación alrededor del cuarzo-alunita es cuarzo+alunita+caolinita+montomorillonita; alteración propilítica penetrante Controles de Mineral: Fracturas continuas, centros de actividad intrusiva Meteorización: Jarosita amarilla y geotita abundantes, argilización blanca con caolinita, vetas de alunita blanca de grano fino, hematita Señal Geoquímica: Más alta en el sistema Au+As+Cu con aumento de los metales básicos en la profundidad. También Te		
Ejemplos		Referencias
Goldfield, Nevada Summitville, Colorado Mina Kasuga, Japon		

moderada. Las características favorables dentro de los centros volcánicos incluyen unidades volcánicas permeables y sedimentarias, zonas de fracturas anulares y fracturas relacionadas con la formación de domos; exposición de rocas alteradas hidrotérmicamente, vetas o tobas superficiales, e indicios de mineralización. Las exposiciones de vetas y rocas alteradas deben ser sometidas a un muestreo detallado para confirmar la existencia de una señal geoquímica típica de las partes más altas de uno de estos depósitos. Si así fuera, se deben realizar detalladas investigaciones geológicas y geoquímicas adicionales de la superficie para delinear las unidades y estructuras de roca permeable, la alteración por zonas y la zonificación geoquímica. Se pueden localizar perforaciones para cortar transversalmente las zonas con máxima intensidad de alteración y las vetas o intrusiones encerradas, a un nivel en el cual es posible encontrar la máxima concentración de metales preciosos. Los métodos de exploración geofísica pueden ser de alguna utilidad para descubrir las fallas y vetas y determinar los minerales y sulfuros alterados, a niveles profundos.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

Ashley, R.P., 1982, Modelo de ocurrencia para depósitos de oro-enargita en Erickson, R.L., recopilador, Características

de ocurrencias de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 82-795, p. 144-147.

Barton, Paul, 1982, Depósitos epitermales de plata y metales bajos, en Erickson, R.L. recopilador, Características de ocurrencias de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 82-795, p. 127-130.

Berger, B.R., 1982, Los atributos geológicos de depósitos de Au-Ag y de metales bajos epitermales en Erickson, R.L. recopilador, Características de ocurrencias de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 82-795, p. 119-126.

Berger, B.R. y Eimon, P.L., 1983, Modelos conceptuales de depósitos de metales preciosos epitermales, Capítulo 15 en Shanks, W.C. III, ed., tomo de Cameron sobre depósitos minerales no convencionales: Sociedad de Ingenieros Mineros del Instituto Americano de Minería, Metalúrgica e Ingenieros de Petróleo, Inc. p. 191-205.

Bethke, P.M., 1984, Controles en la mineralización de yacimientos bajos y preciosos en ambientes epitermales profundos: Servicio Geológico de los Estados Unidos 84-890, 14 p.

Buchanan, L.J., 1981, Depósitos de metales preciosos asociados con ambientes volcánicos en el Sudoeste de los Estados Unidos: Compendio de la Sociedad Geológica de Arizona, t. 14, p. 237-262.

Tabla 3.—Resumen del modelo del subtipo aurífero hidrotérmico de depósito tipo cuarzo-adularia, de Cox (1983).

TIPO DE DEPOSITO: Oro Epitermal	SUBTIPO: Oro hidrotérmico
AUTOR: Byron R. Berger	FECHA: Diciembre de 1982
SINONIMO APROXIMADO:	DE (REFERENCIA)
DESCRIPCION: Silice y cuarzo de grano fino en brecha silicificada con oro, pirita y sulfuros de Sb y As	
REFERENCIA GENERAL:	

AMBIENTE GEOLOGICO

Tipos de Rocas: Areas de actividad volcánica: Riolita
Texturas: Porfíricas
Clasificación de Era: Principalmente Terciaria
Ambiente del Depósito: Centros volcánicos riolíticos, domos de riolita
Marco(s) Tectónico(s): Sistemas de fracturas continuas
Tipos de Depósito Asociados: Vetas de cuarzo, brechas cilíndricas
Concentraciones Metálicas: Mo, W, Sulfosales de Ag, oro placerico

DESCRIPCION DEL DEPOSITO

Minerales: Oro natural+pirita+estibnita+rejalgar, o arsenopirita±esfalerita+calcopirita±fluorita, u oro natural+Ag-seleniuro, o telururos+pirita
Textura/Estructura: Vetas estratificadas, intrusiones, brechas (cementadas o no con silice)
Alteración: De la parte superior al fondo del sistema: sinter calcedónica, silicificación fuerte, intrusiones y vetas de cuarzo+adularia y brechas cementadas con cuarzo, cuarzo+clorita. Las vetas son generalmente calcedónicas
Controles del Mineral: Sistemas de fracturas continuas, núcleos brechados de domos intrusivos; las brechas cementadas son importantes portadoras de oro
Meteorización: Roca madre blanqueada, jarosita amarilla y goetita, alunita de grano fino, y hematita
Señal Geoquímica: Au+As+Sb+Hg+Tl más altos en el sistema; con la profundidad aumenta el Ag y disminuye el contenido de As+ Sb+Tl+Hg

Ejemplos

McLaughlin, California
 Round Mtn., Nevada
 Delamar, Idaho

Referencias

- Cox, D.P., editor, 1983, Servicio Geológico de los Estados Unidos—Evaluación de recursos minerales de Colombia por INGEOMINAS, modelos de yacimientos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 83-423, 49 p.
- Giles, D.L., y Nelson, C.E., 1982, Características principales de depósitos veteados de oro epitermales del circum-pacífico: Presentado en la Conferencia de Recursos de Energía y Minerales, Honolulu, Hawaii, Agosto 22-28, 1982: Lake-wood, Colorado, Cimarron Exploracion, Inc., 12 p.
- Silberman, M.L., 1982, Tipo fuente de aguas termales, gran tonelaje, depósitos de oro de bajo ley en Erickson, R.L., recopilador, Características de ocurrencias de depósitos minerales: Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reporte de Archivo Abierto 82-795, p. 131-143.
- Sillitoe, R.H., 1973, Parte superior e inferior de los depósitos de cobre porfirio: Geología Económica, t. 68, p. 799-815.
- Sillitoe, R.H., y Bonham, H.F., Jr., 1984, Formas terrestres volcánicas y yacimientos minerales: Geología Económica, t. 68, p. 1286-1298.
- Wallace, A.B., 1979, Posibles indicaciones de depósitos de cobre porfirio subterráneos en rocas volcánicas de la Etapa Terciaria media a tardía de la zona oeste de Nevada, en la Asociación Internacional para el Génesis de Yacimientos Minerales (IAGOD), Quinto Simposio Cuadrienal de Procedimientos, Tom II: Oficina de Minas y Reporte Geológico 33, p. 69-76.

DEPOSIT MODELS IN RESOURCE ASSESSMENT AND MINERAL EXPLORATION

By Dennis P. Cox and Donald A. Singer

The data needed to carry out a mineral-resource assessment or to design a mineral-exploration program include geologic maps, mineral-occurrence data, geochemical and geophysical data, and a history of previous exploration efforts. Also needed is a detailed description of the deposit or deposits being assessed or explored for. This description, here referred to as a deposit model, consists of three interrelated parts: the attributes of the lithologic-tectonic-geochemical environment of the deposit; the attributes of the deposit itself, namely mineralogy, texture, alteration, ore controls, weathering characteristics, and geochemical and geophysical signature; and the tonnage and grade distributions of known deposits of the same type.

Deposit models are useful in all stages of resource assessment and mineral exploration. At the planning stage, preliminary geologic and tectonic information about the area being assessed can be matched with attributes of favorable environments for a number of deposit types. For example, if the region is known to contain ophiolitic rocks, then podiform chromite, placer platinum, and Cyprus-type massive sulfide deposits might be expected because ophiolites are favorable environments of these deposits. Advanced knowledge of possible deposits makes it possible to plan geochemical sampling methods and analytical procedures in such a way as to test for the presence of these deposits. For example, in an ophiolite terrane, one might wish to collect heavy-mineral concentrates from stream sediments and analyse them for platinum.

In planning mineral-exploration programs one may wish to compare tonnage and grade distribution for various deposit types in order to select deposits which could be mined to the greatest economic advantage. Then, having selected the deposits, one can use the model to provide data useful in selecting the most appropriate exploration methods and in narrowing the area of search to the most favorable host rocks and tectonic environments for the deposits.

During the course of a mineral-resource assessment program, deposit models are used as an aid in

interpretation of incomplete data from mineral occurrences enabling the user to classify some occurrences into probable deposit types. The models' greatest use is in delineating areas within the region being assessed that have the greatest likelihood of containing undiscovered deposits of a given type.

Finally, at the conclusion of a resource assessment, deposit models are used to describe the probable tonnage and grade of undiscovered deposits within the region being assessed. This enables the user to make a preliminary determination of the probable economic value of the undiscovered resources.

The following examples of manganese, tin, and copper deposits illustrate the manner in which deposit models have been used in understanding mineral resources. Of the various types of manganese deposits, sedimentary and volcanogenic deposits can be compared in terms of geologic environment and tonnage. Sedimentary deposits are associated with margins of euxinic shale basins, and volcanogenic deposits are associated with chert and marine volcanics in eugeosynclinal environments. Median tonnage of sedimentary manganese deposits is about 20 million tons and of volcanogenic deposits about 1 million tons. In the assessment of Colombian manganese deposits, it was concluded that, if employment of large numbers of miners was an important goal, volcanogenic deposits, which are abundant in the Western Cordillera, should be developed. If metal production for foreign trade was important, then exploration for sedimentary deposits should be carried out. Sedimentary deposits have not been discovered to date in Colombia but are believed to exist in the Cretaceous basins of the Eastern Cordillera.

In North America, rhyolite-hosted type of tin deposit is widespread and has attracted considerable attention as a future source of tin. Data on the tonnage of known deposits of this type show, however, that discovery of such deposits will not affect tin supply because the tonnage of the richest 10 percent of a sample of 131 deposits is only 4,000 to 10,000 tons of ore.

Analysis of gold and molybdenum grades of por-

phyry copper deposits has made it possible to divide this deposit-type into three subclasses having different geologic characteristics. Porphyry copper-molybdenum deposits have molybdenum values in percent that are less than one third of the gold grade in grams per ton (g/t). Porphyry copper-gold deposits have gold grades (in g/t) 30 times the molybdenum grade (in percent). Porphyry copper-molybdenum deposits are emplaced at deep levels

in granitic terrane whereas porphyry copper-gold deposits are emplaced at higher levels in the crust and are commonly associated with coeval volcanic rocks. High gold grades in porphyry copper deposits are also associated with high magnetite to pyrite ratio in the potassic alteration zone. Intermediate between these end-members is a subtype that contains important amounts of both gold and molybdenum.

MODELOS DE YACIMIENTOS EN DISTRIBUCION DE RECURSOS Y EXPLORACION MINERAL

Por Dennis P. Cox y Donald A. Singer

Los antecedentes requeridos para llevar a cabo la distribución de recurso mineral o para designar un programa de exploración mineral incluye mapas geológicos, antecedentes de ocurrencia mineral, antecedentes geoquímicos y geofísicos, y una historia de esfuerzos previos de exploración. También se necesita una descripción detallada de depósitos que necesitan ser evaluados o explorados. Esta descripción aquí se refiere a un modelo de depósito, que consiste de tres partes interrelacionadas: las características de la cercanía litológica-tectónica-geoquímica del depósito; las características del depósito en sí, es decir mineralogía, textura, alteración, controles minerales, características de desgaste, y signatura geofísica y geoquímica; y el tonelaje y grado de distribución de los depósitos conocidos del mismo tipo.

Los modelos de depósito son útiles en todas las etapas de distribución de recursos y exploración mineral. En la etapa de planeamiento, información geológica y tectónica preliminar acerca de áreas a ser evaluadas pueden ser igualadas con las características de ambientes favorables para un número y tipo de depósitos. Por ejemplo, si la región es conocida por contener rocas ofiolíticas por consiguiente cromita podiforme, se podrían prever depósitos sulfurosos de placeres de platino y Chipre porque las ofiolitas son favorables en los ambientes de este depósito. Un conocimiento adelantado de los posibles depósitos hace posible el planeamiento de métodos de muestreo geoquímicos y procedimientos analíticos en tal forma como para ensayar la presencia de estos depósitos. Por ejemplo, en una serie continua de rocas ofiolíticas, uno podría desear coleccionar concentrados minerales pesados de sedimentos de corrientes de agua y analizarlos para determinar si contienen platino.

En programas de planeamiento de exploración mineral uno podría desear comparar tonelaje y grado de distribución para varios tipos de depósito para seleccionar depósitos que podrían ser explotados con la mayor ventaja económica. Luego, habiendo seleccionado los depósitos, el modelo puede proveer antecedentes útiles en la selección de los más apropiados métodos de exploración y limitando el área de búsqueda para las más favorables

rocas hospederas y ambientes tectónicos para los depósitos.

Durante la marcha del programa de la distribución de recursos de un mineral, los modelos de depósito son usados como una ayuda en la interpretación de antecedentes incompletos de ocurrencias minerales, la que permite al usuario clasificar algunas ocurrencias en probables tipos de depósito. En adición, los modelos encuentran su máximo uso trazando áreas dentro de la región que está siendo evaluada que tienen el máximo de probabilidad de contener depósitos no descubiertos de un tipo dado.

Finalmente, a la conclusión de una distribución de recurso, los modelos de depósito son usados para describir el grado y tonelaje probable de depósitos no descubiertos dentro de la región que está siendo evaluada. Esto permite al usuario obtener una medida del valor económico probable de los recursos no descubiertos.

Ejemplos de cómo han sido usados los depósitos modelo para conocer los recursos minerales incluyen depósitos de manganeso, estaño y cobre. De los varios tipos de depósito de manganeso, depósitos vulcanológicos y sedimentarios pueden ser comparados en términos de ambiente geológico y tonelaje. Los depósitos sedimentarios se encuentran asociados con márgenes de pizarra euxinita de cuencas y los depósitos vulcanológicos están asociados con variedades de calcedonia y depósitos volcánicos marinos en ambientes eugeosinclinales. El tonelaje de los depósitos sedimentarios de manganeso promedia alrededor de 20 millones de toneladas y los depósitos vulcanológicos cerca de 1 millón de toneladas. En el avalúo Colombiano se concluyó que si empleaban un gran número de mineros era una importante meta, depósitos vulcanológicos, que son abundantes en la cordillera occidental, deberían ser desarrollados. Si la producción de metales para el comercio extranjero es importante, entonces la exploración para depósitos sedimentarios deberán ser llevados a cabo. Estos depósitos no han sido descubiertos a la fecha en Colombia, pero se cree que existen en las cuencas Cretáceas de la Cordillera oriental.

En medio de los depósitos de estaño, el tipo hospedero riolita está esparcido en Norte América y ha atraído considerablemente la atención como una futura fuente de estaño. Antecedentes sobre el tonelaje de los depósitos conocidos de este tipo muestran, de cualquier modo, que el descubrimiento de tales depósitos no afectara el suministro de estaño, porque el tonelaje del gran 10 por ciento de una muestra de 131 depósitos es solamente de 4.000 a 10.000 toneladas de mineral.

Los análisis de oro y grados de molibdeno de depósitos de cobre pórfido ha hecho posible que se pueda dividir este tipo en tres subclases que tienen características geológicas diferentes. Depósitos pórfidos de Cu-Mo tienen valores de molibdeno en un porcentaje que es

menor que una tercera parte del grado de oro en gramos por tonelada. Depósitos pórfidos de Cu-Au tienen grados de oro (en g/t) treinta veces más que el grado de Mo (en porcentaje). Los depósitos pórfidos de Cu-Mo están emplazados en niveles profundos de series de rocas graníticas en donde como depósitos de Cu-Au están emplazados a altos niveles en la capa y son comúnmente asociados con rocas volcánicas contemporáneas. Altos grados de Au en depósitos pórfidos de cobre también se asocian con alta magnetita para una porción de pirita en la zona de alteración de potásicas. Intermedio entre estos miembros finales hay un subtipo que contiene cantidades importantes de ambos Au y Mo.

THE APPLICATION OF ELECTRICAL GEOPHYSICAL METHODS TO RESOURCE ASSESSMENT IN THE TROPICS

By Donald B. Hoover

INTRODUCTION

Geophysical exploration techniques are unique in their ability to use measurements on the surface to characterize the properties of rocks at depth. Because most near-surface resources have now been found, this ability to directly measure physical properties of rocks at depth makes geophysics a necessary element in any modern resource assessment or exploration program.

A thorough understanding of the ways that different geophysical methods detect physical-property boundaries is a prerequisite to designing an effective program of surface and airborne geophysics for resource assessment. The sequence and mix of geophysical tools to be applied is determined by the geologic setting of an area, the expected physical property contrasts that may be found there, and by the technical capabilities of the different methods that are available.

Geophysical data typically are used to study the geometry of interfaces where physical properties change. Of course, not all lithologic changes in rock units lead to corresponding changes in a particular physical property. Classical potential field methods—gravity, magnetic, self-potential and some electrical techniques—derive this geometrical information from the variation of field strength along horizontal transects: specifically, from the spatial wavelengths of anomalies, which are the linear distances over which irregularities in the measured field are detected. Thus, the number of measuring sites must be sufficient to define the spatial wavelength of an anomaly before the depth to the source can be estimated. Measurements at a single site provide no depth information. Additionally, these methods cannot measure depths to horizontal interfaces in regions underlain entirely by uniform, flat-lying rock strata, regardless of how many sites are used.

Electrical sounding techniques and seismic methods, by contrast, can measure depths to horizontal inter-

faces. Electrical soundings that are made using two or more electrodes can provide depth information through a comparison of the electrical responses measured using different electrode spacings (geometric sounding) or different frequencies of electromagnetic energy (parametric sounding). In general, a greater separation between electrodes or a lower frequency reflects the influence of more deeply buried structures. However, the greater the depth of investigation, the more uncertain the interpretation of the readings becomes.

Seismic methods and radar techniques depend on the transit time of sonic or electromagnetic waves to map interfaces and are capable of providing the greatest resolution of all the geophysical methods. Their most common application is in defining horizontal, stratified rock units.

Seismic and classical potential methods are explained more thoroughly by Telford and others (1976) and radar is explained in Ulriksen (1982). This paper is primarily a review of electrical field methods, and it will emphasize techniques that (1) are used by the U.S. Geological Survey in resource assessment; (2) are used on a regional or semiregional scale, rather than for the identification and exploration of specific targets; and (3) are most applicable to the tropical environment of Central America.

ELECTRICAL GEOPHYSICAL TECHNIQUES

Electrical geophysical methods measure the ability of Earth materials to: 1) naturally create current flow, 2) transport electrical currents, and 3) store electrical charge. The development of currents by oxidation of metallic mineralization or through movement of fluids within rocks leads to a spatial variation in voltage (potential) that can be measured at the Earth's surface, using the self-potential (SP) method. Different types of rock have

different abilities to transport electric current, which may be measured as conductivity or as its reciprocal, resistivity. Resistivity is measured by galvanic and inductive methods. In galvanic methods, electrical current is transmitted into the ground, and the resulting voltage is measured at various distances and directions from the source electrode, revealing a spatial pattern of voltage variations. Inductive methods use currents which are induced to flow in the Earth. These induced currents can be created from naturally flowing currents in the Earth's ionosphere or by a controlled source, such as currents injected into a loop of wire just above and insulated from the ground surface. The ability of Earth materials to store electrical charge is measured by induced polarization (IP) methods, which measure the strength and duration of electrical currents that remain in the ground after the electrical source is switched off. These measurements are usually made galvanically, but inductive methods are applicable in some geologic environments.

Electrical geophysical surveys can be made from aircraft or on the ground. Only inductive electrical methods can be used in airborne surveys. Ground surveys can be used to estimate the vertical electrical structure of the Earth (sounding mode) or to detect lateral variations in resistivity (profiling mode). Combinations of sounding and profiling are possible. Sounding and profiling inductive electrical measurements can be made either in the frequency domain or the time domain. In frequency-domain techniques, changes in the amplitude and phase of the received signal relative to the source signal are measured as a function of frequency. Time-domain methods measure the amount of time taken for the transient decay of voltage at the end of a transmitted pulse.

Figure 1 lists some of the different types of electrical geophysical-survey methods. An explanation of each of these is beyond the scope of this brief discussion. The main point is not to understand each method but to illustrate that geophysicists have a wide selection of techniques to apply in mineral-resource appraisal programs. Keller and Frischknecht (1966) give the basic theory of electrical methods, and Telford and others (1976) illustrate many applications.

ELECTRICAL TECHNIQUES FOR TROPICAL ENVIRONMENTS

There are two principal problems in the application of electrical methods in a tropical environment. First is the problem of access, because of a lack of roads for transport of equipment and the presence of heavy vegetation that can make the deployment of electrodes, cables, and other equipment difficult. Second is the presence in many areas of a thick weathered surface layer that is electrically

conductive and acts like a short-circuit, masking the response from deeper horizons.

Access problems are best addressed by the use of airborne methods, which, by necessity, are all electromagnetic rather than just electrical. Airborne electromagnetic (AEM) techniques can be used with either fixed-wing or helicopter aircraft. This flexibility permits the collection of data in all but the most rugged terrain. Low-level (100 m) flying is required, and the sensors are often flown at a ground clearance of 50 m or less. Two distinct modes of operation are available: one is designed to detect narrow, conductive, vertical structures, and the other is used in a resistivity mapping mode. Magnetic data are normally obtained as an integral part of any airborne EM program.

The major disadvantages of AEM techniques are their high cost per line-mile (about \$50-\$150 U.S.) in comparison with aeromagnetic data (about \$12 U.S.) and their limited depth of exploration. Although the cost appears high, in comparison with ground-acquired data it is quite reasonable, particularly in tropical areas (for a breakdown of actual costs by area and method in a recent year, see Senti, 1984). The limited exploration depth of AEM techniques and the thick conductive cover in many tropical areas require the use of the deeper penetrating AEM methods such as DHEM, INPUT and TURAIR (see fig. 1), which explore to depths of 100 m or more beneath the surface. Airborne AFMAG, a method using natural fields, may have distinct advantages in the tropics where signal sources are stronger. AFMAG, although not now much used, is the deepest looking of all AEM methods and warrants further research.

Most ground-electrical methods are applied to deposit-scale exploration, after other geological, geophysical, and geochemical evidence has identified restricted target areas. Induced polarization (IP) can provide a direct measure of polarizable minerals in the subsurface (that is, minerals that retain an electric charge, such as clays, metallic luster sulfides, graphite, zeolite) and is probably the most important electrical method in defining drilling targets for metallic ore deposits, particularly of the disseminated type. IP is a promising tool for detailed assessment in areas of intermediate to acidic volcanism in Central America. IP and resistivity measurements have recently been applied by the USGS to identification and grade estimation of bauxite deposits in Hungary (Smith and others, in press). Additional research is needed in tropical areas on the geophysical signature of bauxite to determine if the results from Hungary may be extended to these regions. An example of IP work on deposits in the tropics is reported by Pelton and Smith (1976).

In the past, only gravity and magnetic methods were generally applied on a regional or semiregional scale; electrical methods were not, in part because of the cost and the limitations of the techniques. Recently, however,

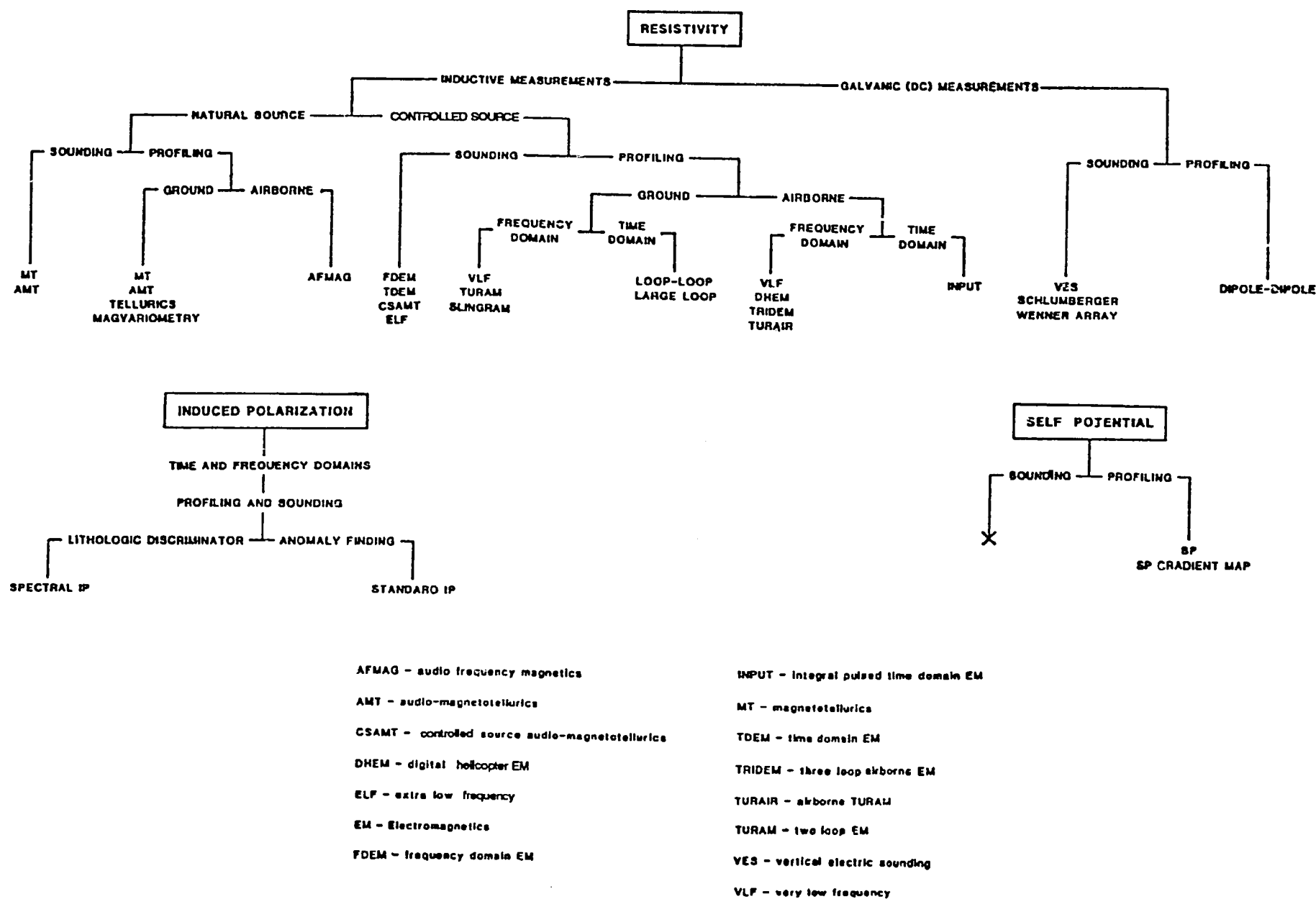


Figure 1. One classification of electrical geophysical methods. In some cases the division between sounding and profiling techniques is not clear-cut, so acronyms may be repeated.

regional-scale electromagnetic surveys have been conducted, particularly using natural-source methods. Magnetotelluric (MT) methods measure the natural magnetic and electrical fields of the Earth and compare the values obtained at different sites. These methods have become important in regional studies related to petroleum, geothermal, and broad structural investigations (Stanley, 1984, and Stanley and others, in press). Besides being capable of giving broad regional cover, MT soundings also measure to great depth, 20 km or more, providing information about the full thickness of the Earth's crust. Telluric and audio-magnetotelluric (AMT) techniques are variants of the basic MT method and also may be used for regional-scale studies. AMT exploration uses higher frequencies than MT methods and typically achieves exploration depths of 2 km or less. The USGS has used AMT surveys extensively in geothermal and mineral resource-assessment programs (Hoover and others, 1984). These natural-source methods have distinct advantages over other electromagnetic methods in that large artificial sources and great lengths of wire are not required for deep exploration. This advantage is very important in areas where vegetation and topography make most controlled-source methods impractical (Hoover and others, 1984). The principal disadvantage of the natural-source methods is the scattering of data due to the weak and random nature of the signal sources used. Tellurics, AMT, and MT methods are best used for reconnaissance investigations or where information about deep structure is required.

For site-specific resource assessment, one of several controlled-source electrical techniques may be selected. Here again, a demonstrated ability to accurately detect formations under the conductive overburden is of primary importance. Other factors—such as the availability of equipment and trained personnel, need for and experience of contracting groups, and availability of service and maintenance—will help determine which particular method should be used. In particular, some of the time-domain methods are important because they can function with shorter lengths of cable and produce higher resolution than conventional galvanic methods. Of course, where operational considerations allow, galvanic methods will continue to be used because of the simplicity of equipment and operations.

Problems and Opportunities

Besides the physical problems of exploration in tropical countries, technology transfer may be hampered by the scarcity of people trained in geophysical methods. Among the Central American countries, Panama, Guatemala, the Dominican Republic, and Costa Rica presently have one member each in the Society of Exploration

Geophysicists. A clear need exists for both university and practical training of personnel for exploration geophysics.

Airborne electrical methods should have particular importance in tropical regions because of the ease of data acquisition. The need for deeper looking AEM methods is an obvious area where added research is needed. Further development of airborne AFMAG may be warranted. The USGS is also currently working on an airborne system using signals from power lines. This method has the potential for deeper exploration and should be considered for application in tropical environments.

The electrical nature of the conductive overburden needs to be better understood. Both laboratory and in-situ studies are needed to better determine the mechanisms of conduction and the mineralogy of lateritic soils. In particular, we need to know how the characteristics of weathered overburden are affected by underlying rock type. These problems greatly affect the application of the various electrical methods and the interpretation of geophysical data. A multidisciplinary team is needed to study all aspects of lateritic soils in detail.

REFERENCES CITED

- Hoover, Donald, da Silva, Rodrigues, Pierce, Herbert, and Umaral, Roberto, 1984, The application of audio-magnetotelluric surveys on Sao Miguel Island, Azores, Portugal: *Geothermal Resources Council Transactions*, v. 8, p. 499–503.
- Keller, G.V., and Frischknecht, F.C., 1966, *Electrical methods in geophysical prospecting*: London, Pergamon Press, 523 p.
- Pelton, W.H., and Smith, P.K., 1976, Mapping porphyry copper deposits in the Philippines with IP: *Geophysics*, v. 41, no. 1, p. 106–122.
- Senti, R.J., 1984, Special report—Geophysical activity in 1983: *Geophysics—The Leading Edge of Exploration*: Tulsa, Oklahoma, Society of Exploration Geophysicists, p. 49–69.
- Smith, B.D., Vero Laszlo, Ujszaszi, Jozsef, and Bardossy, Gyorgy, in press, Electrical properties of karst bauxite deposits of Hungary: *European Association of Exploration Geophysicists*, 47th meeting, Budapest, Hungary, 1985, Abstracts.
- Stanley, W.D., 1984, Tectonic study of Cascade Range and Columbia Plateau in Washington State based upon magnetotelluric soundings: *Journal of Geophysical Research*, v. 89, no. B6, p. 4447–4460.
- Stanley, W.D., Saad, Antonio Roberto, and Ohofugi, Walter, in press, Regional magnetotelluric surveys in hydrocarbon exploration, Paraná Basin, Brazil: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, P.A., 1976, *Applied Geophysics* (3d ed.): New York, Cambridge University Press, 860 p.
- Ulriksen, C.P.F., 1982, Application of impulse radar to civil engineering: PhD thesis, Department of Engineering Geology, Lund University of Technology, Sweden, 175 p.

LA APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS ELECTRICOS EN LA EVALUACION DE LOS RECURSOS EN LOS TROPICOS

Por Donald B. Hoover

INTRODUCCION

La capacidad de las técnicas de exploración geofísica en el uso de las medidas de la superficie para caracterizar las propiedades de las rocas en la profundidad no puede ser igualada. Debido a que la mayoría de los recursos cercanos a la superficie ya han sido encontrados, esta capacidad para medir directamente las propiedades físicas de las rocas en la profundidad hace que la geofísica sea un elemento necesario en cualquier evaluación moderna de recursos o programa de exploración.

Una comprensión completa de las formas en que los diferentes métodos geofísicos descubren los límites de las propiedades físicas es un requisito previo para diseñar un programa efectivo de geofísica de superficie o aérea, destinado a la evaluación de recursos. La secuencia y mezcla de los métodos geofísicos a ser aplicados se determina por la posición geológica de una área, los contrastes en las propiedades físicas que se espera encontrar en el lugar y por las capacidades técnicas de los diferentes métodos que pueden ser utilizados.

Los datos geofísicos se usan generalmente en el estudio de la geometría de las zonas interfaciales, cuando las propiedades físicas cambian. Por supuesto, no todos los cambios litológicos en las unidades de roca tienen como resultado cambios en una propiedad física particular. Los métodos de campo clásicos basados en el potencial (técnicas de gravedad, de magnetismo, de auto potencial y algunas eléctricas) derivan esta información geométrica de la variación de la intensidad del campo a lo largo de cortes transversales horizontales de muestreo: Específicamente de las longitudes de onda espacial de las anomalías, que son las distancias lineales sobre las cuales se descubren las irregularidades en el campo medido. Por lo tanto, el número de los sitios a medir debe ser suficiente para definir la longitud de onda espacial de una anomalía, antes de poder estimar la profundidad

hasta la fuente. Las medidas en un sólo sitio no proveen información sobre la profundidad. Además, independientemente de cuantos sitios sean usados, estos métodos no pueden medir profundidades hacia zonas interfaciales horizontales en regiones con estratos subyacentes de roca uniformes y planos.

Por el contrario, las técnicas de sondeo eléctrico y los métodos sísmicos pueden medir profundidades hacia zonas interfaciales horizontales. Los sondeos eléctricos que se efectúan usando dos o más electrodos pueden proveer información sobre la profundidad, a través de una comparación de las respuestas eléctricas medidas, usando diferentes separaciones de electrodos (sondeo geométrico), o diferentes frecuencias de energía electromagnética (sondeo paramétrico). En general, una mayor separación entre los electrodos o una frecuencia más baja refleja la influencia de estructuras existentes a mayor profundidad. Sin embargo, mientras más grande sea la profundidad de la investigación, más incierta llega a ser la interpretación de las lecturas.

Los métodos sísmicos y las técnicas de radar dependen del tiempo de tránsito de las ondas sónicas o electromagnéticas para levantar un mapa de las zonas interfaciales y, de todos los métodos geofísicos, tienen la capacidad de proveer la máxima resolución. Su más común aplicación es para definir las unidades de roca horizontales y estratificadas.

Los métodos clásicos y sísmicos, basados en el potencial, son explicados más completamente por Telford y otros (1976) y el radar es explicado por Ulriksen (1982). Este documento es principalmente una revisión de los métodos eléctricos de campo y enfatizará las técnicas que (1) son utilizadas por el "U.S. Geological Survey" en la evaluación de recursos; (2) son utilizados a escala regional o semiregional, en vez de usarse para la identificación y exploración de objetivos específicos; y (3) son las más aplicables al ambiente tropical de Centro América.

TECNICAS GEOFISICAS ELECTRICAS

Los métodos geofísicos eléctricos miden la habilidad de los materiales de la tierra para: (1) crear naturalmente circulación de corriente; (2) transportar corrientes eléctricas y (3) almacenar carga eléctrica. El desarrollo de las corrientes por oxidación de la mineralización metálica o por el movimiento de fluidos dentro de las rocas conduce a una variación espacial en el voltaje (potencial) que puede ser medido en la superficie de la tierra, usando el método autopotencial ("SP" por su nombre en inglés). Los diferentes tipos de roca tienen habilidades diferentes para transportar la corriente eléctrica, la cual puede ser medida como conductividad o como su recíproca, resistividad. La resistividad se mide por métodos galvánicos e inductivos. En los métodos galvánicos, la corriente eléctrica es transmitida hacia la tierra y el voltaje resultante se mide a varias distancias y direcciones del electrodo fuente, revelando un patrón espacial de variaciones de voltaje. Los métodos inductivos usan corrientes que son inducidas a fluir en la tierra. Estas corrientes inducidas pueden ser creadas por corrientes que fluyen naturalmente en la ionósfera de la tierra o por medio de una fuente controlada, como las corrientes inyectadas en un aro de alambre colocado encima y aislado de la superficie de la tierra. La capacidad de los materiales de la tierra para almacenar carga eléctrica se mide por métodos de polarización inducida ("IP" por su nombre en inglés), los cuales miden la intensidad y duración de las corrientes eléctricas que permanecen en la tierra después de haberse apagado la fuente eléctrica. Estas medidas generalmente son hechas por métodos galvánicos; sin embargo, los métodos inductivos son aplicables en algunos ambientes geológicos.

Las investigaciones geofísicas eléctricas pueden hacerse desde una nave aérea o en la tierra. En las investigaciones aéreas solamente se pueden usar los métodos inductivos eléctricos. Las investigaciones en tierra pueden utilizarse para calcular la estructura eléctrica vertical de la tierra (modalidad de sondeo) o para detectar variaciones laterales en la resistividad (modalidad de perfil). Es posible hacer combinaciones de los métodos de sondeo y de perfil. Las medidas eléctricas inductivas de sondeo y de perfil pueden hacerse ya sea en el dominio de la frecuencia o en el dominio del tiempo. En las técnicas del dominio de la frecuencia, los cambios en la amplitud y fase de la señal recibida en relación a la señal fuente son medidos en función de la frecuencia. Los métodos del dominio del tiempo miden la cantidad de tiempo necesario para la caída transitoria del voltaje al final de un impulso emitido.

La figura 1 detalla algunos de los diferentes tipos de métodos de investigación geofísica eléctrica. Una explicación de cada uno de éstos está más allá del alcance

de esta breve discusión. El punto principal no es comprender cada método sino ilustrar que los geofísicos tienen una amplia selección de técnicas a aplicar en los programas de evaluación de los recursos minerales. Keller y Frischknecht (1966) dan la teoría básica de los métodos eléctricos y Telford y otros (1976) ilustran muchas aplicaciones.

TECNICAS ELECTRICAS PARA LOS AMBIENTES TROPICALES

Hay dos problemas principales en la aplicación de métodos eléctricos en una zona tropical. En primer lugar está el problema del acceso, porque la carencia de caminos para transportar el equipo y la presencia de vegetación espesa pueden hacer que el desplazamiento de electrodos, cables y otro equipo se vuelva dificultoso. En segundo lugar, está la presencia, en muchas áreas, de una gruesa capa superficial, alterada por la intemperie, la cual es conductora de electricidad y actúa como un cortocircuito, encubriendo la respuesta de los horizontes más profundos.

Los problemas de acceso son enfrentados de mejor manera con el uso de los métodos aéreos, los cuales, por necesidad, son todos electromagnéticos en lugar de sólo eléctricos. Las técnicas aero-electromagnéticas (AEM) pueden usarse con naves aéreas de alas fijas o con helicópteros. Esta flexibilidad permite la recopilación de datos en todos los terrenos, excepto en los más escabrosos. Se requiere un vuelo a baja altura (100 m) y los sensores generalmente se llevan a una distancia de la tierra de 50 m o menos. Se utilizan dos diferentes modalidades de operación: Una está diseñada para detectar angostas estructuras verticales que son conductivas; y la otra es usada en una modalidad de elaboración de mapas de resistividad. Los datos magnéticos se obtienen usualmente como una parte integral de cualquier programa aero-electromagnético.

Las desventajas principales de las técnicas AEM son su alto costo por milla de cable (aproximadamente US\$50-US\$150) en comparación con los datos aero-magnéticos (aproximadamente US\$12) y su profundidad limitada de exploración. A pesar de que el costo parece alto, comparado con los datos adquiridos en tierra es bastante razonable, particularmente en las áreas tropicales. (Para obtener un detalle de los costos reales por área y método en un año reciente, vea Senti, 1984.) La profundidad limitada de exploración de las técnicas AEM y la espesa cubierta conductiva en muchas áreas tropicales hacen necesario el uso de los métodos AEM de penetración más profunda, como los métodos "DHDM", "INPUT" y "TURAIR" (vea la figura No. 1), los que exploran a profundidades de 100 m o más bajo la super-

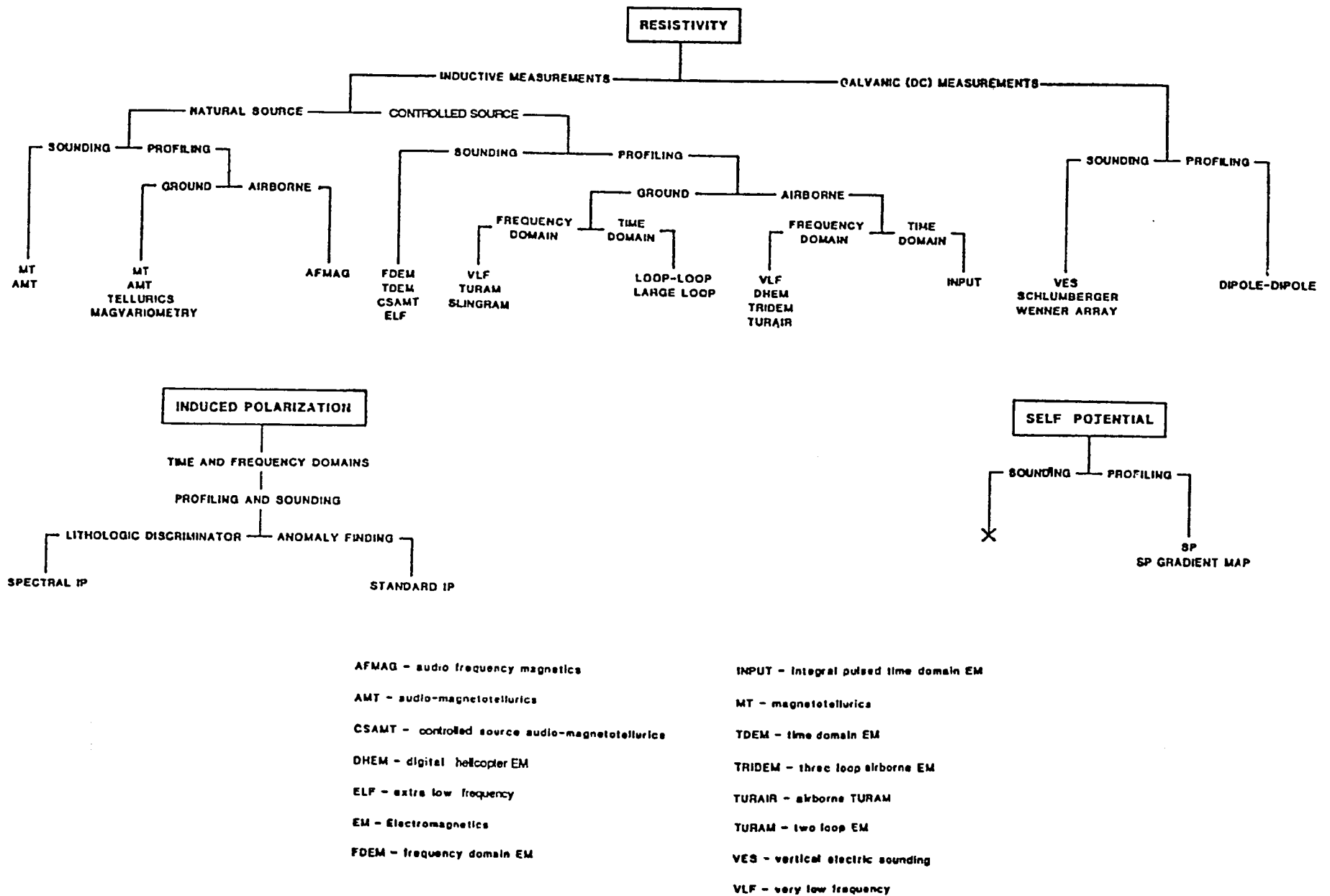


Figura 1. Una clasificación de métodos electro-geofísicos. en algunos casos la división entre sonido y técnicas de perfiladura no está bien definida y en tal caso los acrónimos pueden repetirse.

ficie. El método aéreo "AFMAG", que usa campos naturales, puede tener ventajas precisas en los trópicos, - donde las fuentes de señal son más fuertes. De todos los métodos AEM, el método "AFMAG", a pesar de que no se utiliza mucho, es el que alcanza mayor profundidad y garantiza investigación adicional.

La mayoría de los métodos eléctricos de tierra se aplican en la exploración a escala de depósitos, después de que alguna otra evidencia geológica, geofísica y geoquímica ha identificado las áreas-objetivo restringidas. El método "IP" puede proveer una medida directa de minerales polarizables en la subsuperficie (es decir, minerales que retienen una carga eléctrica, tales como arcillas, sulfuros metálicos de lustre, grafito, ceolita) y es probablemente el método eléctrico más importante al definir los objetivos de excavación para los depósitos minerales metálicos, particularmente del tipo disseminado. El método "IP" es un medio prometedor para la evaluación detallada en las áreas centroamericanas de volcanismo desde intermedio hasta ácido. El "USGS" ha aplicado recientemente el método "IP" y las mediciones de resistividad para identificar y estimar el grado de los depósitos de bauxita en Hungría (Smith y otros, en imprenta). Se requiere investigación adicional en áreas tropicales sobre las señales geofísicas de la bauxita, para determinar si los resultados de Hungría pueden extenderse a estas regiones. Un ejemplo de la aplicación del método "IP" en los depósitos tropicales es presentado por Pelton y Smith (1976).

En el pasado, únicamente los métodos de gravedad y magnetismo eran aplicados en forma general a niveles regionales o semiregionales; los métodos eléctricos no eran aplicados, en parte debido al costo y a las limitaciones de las técnicas. Sin embargo, recientemente se han llevado a cabo investigaciones electromagnéticas a nivel regional, usando, particularmente, los métodos de recursos naturales. Los métodos magnetotelúricos (MT) miden los campos eléctricos y magnéticos naturales de la tierra y comparan los valores obtenidos en diferentes sitios. Estos métodos han cobrado importancia en los estudios regionales relacionados con el petróleo, la energía geotérmica y las amplias investigaciones estructurales (Stanley, 1984, y Stanley y otros, en imprenta). Además de ser capaces de dar una cobertura regional amplia, los sondeos MT también miden a gran profundidad, 20 Km. o más, proveyendo información acerca del espesor completo de la corteza terrestre. Las técnicas audio-magnetotelúricas (AMT) son variantes del método básico MT y también pueden usarse para los estudios a nivel regional. La exploración con técnicas AMT utiliza frecuencias más altas que las de los métodos MT y usualmente logran profundidades de exploración de 2 Km. o menos. El "USGS" ha utilizado extensamente las investigaciones AMT en los programas de evaluación de recursos geotérmicos y minerales (Hoover y otros, 1984).

Estos métodos, basados en fuentes naturales, tienen ventajas precisas sobre otros métodos electromagnéticos, puesto que no se requiere de grandes fuentes artificiales ni de grandes cantidades de cable para la exploración a profundidad. Esta ventaja es muy importante en las áreas donde la vegetación y la topografía pueden causar que los métodos de fuentes controladas no sean prácticos (Hoover y otros, 1984). La desventaja principal de los métodos de fuentes naturales es el esparcimiento de datos, debido a la naturaleza débil y casual de las fuentes de señal utilizadas. Los métodos telúricos AMT y MT son más efectivos en las investigaciones de reconocimiento o cuando se requiere información acerca de las estructuras profundas.

Puede seleccionarse una de varias técnicas eléctricas de fuente controlada para la evaluación de recursos en un sitio específico. También, en este caso, una capacidad probada para determinar con certeza las formaciones bajo la sobrecapa conductiva es de importancia primordial. Otros factores (tales como la disponibilidad de equipo y personal entrenado, la necesidad y la experiencia de contratación de grupos y la disponibilidad de servicio y mantenimiento) ayudarán a determinar cuál método en particular debe ser usado. En especial, algunos de los métodos del dominio del tiempo son importantes porque pueden funcionar con menores cantidades de cable y producir una resolución más alta que la obtenida con los métodos galvánicos convencionales. Por supuesto, cuando las condiciones de operación lo permitan, los métodos galvánicos seguirán siendo utilizados, debido a la sencillez del equipo y de las operaciones.

Problemas y Oportunidades

Además de los problemas físicos de la exploración en los países tropicales, la transmisión de tecnología puede dificultarse por la escasez de personas entrenadas en los métodos geofísicos. Entre los países centroamericanos, actualmente Panamá, Guatemala, la República Dominicana y Costa Rica tiene un miembro cada una en la "Society of Exploration Geophysicists" (Asociación de Exploradores Geofísicos). Existe una evidente necesidad de adiestramiento, tanto académico como práctico, de personal para la exploración geofísica.

Considerando la facilidad en la recopilación de datos, debería darse particular importancia a los métodos aeroeléctricos en las regiones tropicales. La necesidad de métodos AEM que permitan una búsqueda a mayor profundidad constituye una área en la cual se requiere mayor investigación. El desarrollo ulterior del método aéreo AFMAG puede ser garantizado. El "USGS" está trabajando actualmente en un sistema aéreo que utiliza las señales provenientes de las líneas eléctricas. Este método tiene el potencial para realizar una exploración más profunda y debería ser considerado para su aplicación en ambientes tropicales.

La naturaleza eléctrica de la sobrecapa conductiva necesita comprenderse mejor. Para una mejor determinación de los mecanismos de conducción y de la mineralogía de los suelos de laterita, se necesitan estudios tanto de laboratorio como de campo. En particular, necesitamos conocer como son afectadas las características de la sobrecapa expuesta a la intemperie por el tipo de roca subyacente. Estos problemas afectan grandemente la aplicación de diversos métodos eléctricos y la interpretación de los datos geofísicos. Se necesita de un equipo multidisciplinario para estudiar en detalle todos los aspectos de los suelos de laterita.

REFERENCIAS

- Hoover, Donald, da Silva, Rodrigues, Pierce, Herbert, y Umaral, Roberto, 1984. La aplicación de las investigaciones audio-magnetotéluricas en la Isla Sao Miguel, Azores, Portugal: Actas del Consejo de Recursos Geotérmicos, v. 8, p. 499-503. ["The application of audio-magnetotelluric surveys on Sao Miguel Island, Azores, Portugal: Geothermal Resources Council Transactions, v. 8, p. 499-503."]
- Keller, G.V., y Frischknecht, F.C., 1966. Métodos eléctricos de prospección geofísica: Londres, "Pergamon Press", 523 p. ["Electrical methods in geophysical prospecting: London, Pergamon Press, 523 p."]
- Pelton, W.H., y Smith, P.K., 1976. Levantamiento de mapas de depósitos de cobre pórfido en las Filipinas con el método "IP": Geofísica, v. 41, no. 1, p. 106-122. ["Mapping porphyry copper deposits in the Philippines with IP: Geophysics, v. 41, no. 1, p. 106-122."]
- Senti, R.J., 1984. Informe especial (Actividad geofísica en 1983: Geofísica) Las fronteras de la exploración. (Asociación de Exploradores Geofísicos), Tulsa, OK, p. 49-69. ["Special report—Geophysical activity in 1983: Geophysics--The Leading Edge of Exploration. (Society of Exploration Geophysicists), Tulsa, OK, p. 49-69."]
- Smith, B.D., Vero Laszlo, Ujszaszi, Jozsef y Bardossy, Gyorgy, en imprenta. Propiedades eléctricas de los depósitos de bauxita karst en Hungría: Asociación Europea de Exploradores Geofísicos. Asamblea No. 47, Budapest, Hungría, 1985. Extractos. ["Electrical properties of karst bauxite deposits of Hungary: European Association of Exploration Geophysicists, 47th meeting, Budapest, Hungary, 1985, Abstracts."]
- Stanley, W.D., 1984. Estudio tectónico de la Sierra "Cascade" y de la Meseta "Columbia" en el Estado de Washington, basado en sondeos magnetotéluricos: Revista de Investigación Geofísica, v. 89, no. B6, p. 4447-4460. ["Tectonic study of Cascade Range and Columbia Plateau in Washington State based upon magnetotelluric soundings. Journal of Geophysical Research, v. 89, no. B6, p. 4447-4460."]
- Stanley, W.D., Saad, Antonio Roberto, y Ohofugi, Walter, en imprenta. Investigaciones regionales magnetotéluricas en la Exploración de hidrocarburos, Cuenca del Parana, Brasil: Boletín de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo. ["Regional magnetotelluric surveys in hydrocarbon exploration, Parana Basin, Brazil: American Association of Petroleum Geologists Bulletin."]
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. y Keys, P.A., 1976. Geofísica Aplicada (3a. Edición): New York, Cambridge University Press, 860 p. ["Applied Geophysics (3d. Edition): New York, Cambridge University Press, 860 p."]
- Ulriksen, C.P.F., 1982. Aplicación del radar de impulsos en la ingeniería civil: Tesis de Doctorado. Departamento de Ingeniería Geológica. "Lund University of Technology", Suecia, 175 p. ["Application of impulse radar to civil engineering: Ph.D. Thesis, Department of Engineering Geology. Lund University of Technology, Sweden, 175 p."].

GEOCHEMICAL EXPLORATION FOR MINERAL RESOURCES IN TROPICAL ENVIRONMENTS OF CENTRAL AMERICA AND THE CARIBBEAN

By Sherman P. Marsh

INTRODUCTION

The term "mineral resource" refers to a concentration of naturally occurring solid, liquid, or gaseous material in or on the Earth's crust in such a form and amount that economic extraction is currently or potentially feasible (Brobst and Goudarzi, 1984). In a program to assess the mineral resources of an area or a country, both the estimation of the amount and grade of identified mineral resources and the assessment of the potential for the presence of undiscovered mineral resources is made.

The first phase in any mineral-assessment program is to make a preliminary evaluation based on all relevant published and unpublished data on the area or country. This is accomplished most efficiently by visiting the host country and working with resident geoscientists to compile and interpret existing data in the fields of geology, geochemistry, and geophysics. This information is synthesized and integrated in terms of the most up-to-date theories in the geosciences, including ore deposit-models, and then compared with data from areas that have identified mineral deposits. The resulting preliminary mineral-resource assessment becomes the basis for planning a comprehensive mineral-resource assessment that includes detailed topical studies in areas of mineral-resource potential.

Integrated studies by scientists in three of the major disciplines of earth science, geology, geochemistry, and geophysics are necessary for a comprehensive and accurate mineral-resource assessment. The geology portion, which provides the basic framework for the mineral-resource assessment, is accomplished through compilation of existing information on geologic environments in the area, geologically mapping the area of interest, and then comparing the results with similar geologic environments elsewhere in the world that are known to be favorable for the occurrence of mineral resources. The geochemical portion identifies areas of mineral occur-

rence through analyses of surficial materials and provides information on the chemistry of the rock units in the area. The geophysical portion provides information on subsurface features that would be otherwise difficult, if not impossible, to discern.

The resulting report integrates the three parts of the mineral-resource assessment and ties all of the studies together. This comprehensive report includes descriptions of the area and the studies conducted, assessments of the known and the potential for additional mineral resources, interpretive maps upon which the mineral-resource assessment has been made, and recommendations for additional studies.

CHEMICAL EXPLORATION

Geochemical exploration is a discipline of earth science that involves sampling and chemical analysis of surficial materials in order to evaluate known and undiscovered mineral resources. The data generated are interpreted and integrated with data from other earth science disciplines to form an estimate of the potential for the occurrence of mineral resources.

Geochemical exploration is a tool used in the worldwide search for mineral resources, in tropical as well as in temperate environments. Unlike the more temperate areas of the world, tropical environments contain telescoped climatic zones. As a result, care should be taken in the design of geochemical sampling programs in the tropics. Semi-arid, rain forest, savannah, and alpine climates may all be present on a small island; thus, an exploration geochemical program needs to be developed for each different climatic zone. The sample media and chemical method suitable for the evaluation of one climatic zone may not be suitable in an adjacent but different zone. The experience gained in geochemical exploration programs conducted over several decades

indicates that several types of sample media are commonly necessary in order to adequately evaluate these climatically complex areas. The chemical techniques used in the analyses of these diverse samples are also varied and complex and require an understanding of their geologic environment, mineralogic composition, and chemical properties.

The geochemical exploration program can be divided into two phases. The first phase involves a regional sampling program to define the geochemical character of the area, to identify areas of known resources, and to delineate areas of mineral-resource potential. The second phase involves a more detailed sampling of the areas of identified resources and mineral-resource potential in order to focus on the potential for the occurrence of ore deposits.

Geochemical exploration can provide a direct link to mineral resources because traces of mineralization detected in the samples collected (stream sediment, panned concentrate, soil, rock, water, and vegetation) may reflect a mineralized source. That is, the samples may be derived from weathered mineral occurrences or from leakage of mineralization from hidden or buried deposits along faults and fractures. An accurate interpretation of the geochemical data is needed to focus additional studies on areas that have the greatest potential for mineral resources. However, because the geochemical data is directly influenced by the types of sample media collected and the chemical analyses used, it is extremely important that the initial sampling program be designed correctly.

Three major factors that influence the design of geochemical exploration programs for mineral resources are (1) the geologic terrane, (2) the topographic terrane, and (3) the climatic environment. All three factors must be carefully considered when planning, executing, and interpreting the exploration geochemical portion of a mineral-resource assessment in Central America and the Caribbean because any of these factors may change dramatically over a relatively small area. The selection of the best representative sample media, the preparation of the sample, and chemical analysis is of vital importance to the correct interpretation of the resulting data.

TROPICAL ENVIRONMENT

Tropical environments are essentially confined between latitudes 23 °N. and 23 °S. (the tropics of Cancer and Capricorn), and they constitute a large portion of the Earth's land area. Nearly 23 million square kilometers of the tropics is rain forest (Singh, 1982). The tropical environment of Central America and the Caribbean can be extremely varied over a relatively small area. A tropical rain forest may exist on the windward side of an island,

whereas on the leeward side a semi-arid environment may exist. In many mountainous areas it is possible to ascend from a tropical rain forest at sea level, through several intermediate climatic environments, to an alpine environment at 2,000–3,000 m. This rapid change of climatic environment in relatively small areas complicates the design of a geochemical exploration program.

Four main types of climatic environments are present in the Central American and Caribbean tropical environment: (1) rain forest, (2) savannah, (3) alpine, and (4) semi-arid.

Rain Forest.—A deeply weathered and densely vegetated terrane usually with thick lateritic soils. These are generally areas of low relief having dendritic stream patterns. Rainfall is abundant.

Savannah.—Gently rolling grasslands and open forests having moderate relief. This terrane is often deeply weathered, and rock outcrops are sparse. Lateritic soils prevail. Streams have dendritic patterns but often are deeply incised. Rainfall is moderate with distinct wet and dry seasons.

Alpine.—Alpine environments exist in the tropics at the higher elevations of mountainous areas. Although the plant species differ from their temperate counterparts, their physical aspects are similar. These areas commonly have high relief, with deeply incised, straight flowing streams. Rock outcrops are abundant, especially along streams. Soils are developed mainly along ridgetops. Rainfall is variable.

Semi-arid.—Semi-arid areas are commonly found on the leeward side of islands that have high topographic relief and in the rain shadow of mountain ranges. Some coastal deserts are caused by cold ocean currents. Vegetation is sparse, and the relief may be low to steep. Streams, when there is sufficient water, tend to flow straight and are incised. Soils are poorly developed and rainfall is sparse.

SAMPLE MEDIA AND TECHNIQUES

Six major types of samples should be considered when planning an exploration geochemical program, and any or all could be applied in the tropical environment of Central America and the Caribbean. These sample types are: (1) stream sediment, (2) panned concentrate, (3) soil, (4) rock, (5) water, and (6) vegetation.

In the tropical environment of Central America and the Caribbean hydromorphic weathering and dispersion are more intense than they are in more temperate environments where clastic weathering and dispersion are more important. The type of sample medium collected and its analysis are consequently different than that from a more temperate environment.

Stream Sediment.—Stream sediment is a traditional sample medium that has been widely used with good success for many years in geochemical exploration programs. There are, however, some interpretive problems. In temperate and desert climates having high relief, stream sediments contain large amounts of common rock forming mineral detritus that can mask or dilute elements related to mineralization. In the rain-forest climate, the deep lateritic soils contribute large amounts of secondary iron and clay minerals to streams (Von Gaertner, 1963), and this may mask other elements. In addition, a rain-forest environment is one of rapid chemical weathering, and elements derived from mineralized rocks are commonly adsorbed onto grains of secondary iron and manganese minerals. Consequently, special chemical treatment of these stream-sediment samples is often necessary to extract ore-related elements. Stream-sediment samples from a tropical environment often consist of clays and silica and resistate minerals, as other mineral species susceptible to chemical weathering have been removed.

Panned Concentrate.—The panned-concentrate sample can be a more diagnostic sample medium of mineralization than stream sediments, especially if metallic sulfide grains are present. In the tropical environment, weathering breaks down surficial rocks to tens of meters deep, and this deep zone of weathering often obscures mineralization. The panned-concentrate medium is particularly useful as it takes advantage of this deep weathering which liberates heavy and resistate minerals commonly associated with mineral resources (Overstreet, 1963).

The panned concentrate consists of the heavy, resistate fraction of soil-derived stream sediment that commonly contains the minerals associated with ore deposits. Special attention must be given to the interpretation of panned-concentrate data as the analytical determinations represent a many-fold enhancement of elements related to heavy minerals. It is also important to know the mineralogical composition of the concentrate, as it has a direct relationship to known ore deposits and ore deposit-models.

Soil.—In a tropical environment, soils generally represent the in-place weathering of bedrock (Bradshaw and Thomson, 1982). The trace elements found in soil samples generally reflect the composition of the bedrock beneath. In deeply weathered areas, metallic elements are often concentrated at deep levels through the weathering process, and they also may be removed and transported by ground water. Soil sampling is most effectively used as part of a follow-up study in areas having mineral-resource potential as defined in the regional surveys.

Rock.—Rock samples provide information about very specific areas. Analysis of rock samples is used most effectively in areas where potential mineral resources have been identified where more information is needed to

define the suspected mineral resource. Rock samples are also used to determine the trace-element content of the rock units in the area as part of the overall geochemical exploration program. In the tropical environment, rock samples are often difficult to obtain as surficial rock exposures are often weathered and chemically leached.

Water.—Water can be a particularly useful sample medium in the tropical environment because of the deep weathering, abundant rainfall, and high temperatures. Ground water in this environment is chemically active and has high leaching power (Pasquali and Lopez, 1982). Water passing through a weathered zone above an ore deposit may contain high concentrations of sulfate and trace metals related to ore deposits and can be used as a diagnostic factor in the geochemical-exploration program.

Vegetation.—Dense vegetation is common in tropical environments, and biogeochemical methods of exploration can be useful. Growth of vegetation in tropical environments is rapid, and major concentrations of soil minerals are held in the living vegetation (Hans Shacklette, written commun., 1984). The rapid growth and death of plants in tropical environments tends to concentrate and hold metallic elements near the site where they were weathered by recycling them into new plant growth. The concentrations of the metallic elements may be higher in the vegetation than in the soils in which the plants are growing. Species identification may also be an important indicator of potential mineral resources. Certain plants will not grow in soils enriched in certain elements, whereas other plants thrive in soils enriched in specific elements. The observed abundance or scarcity of a particular plant species is another factor that can be used in the assessment of mineral resources.

Pilot studies are recommended prior to the selection of any sample media. Pilot studies are tests to determine the relative effectiveness of various sample media in areas that contain known mineral resources. These pilot studies should emphasize the detection of the various types of mineralization and ore deposits that are anticipated in the study area. An evaluation of the pilot studies is based on knowledge of ore-deposit models and elemental associations known to be related to mineral resources. Pilot studies should also examine soil profiles to determine horizons, or layers, of optimum metal content, examine the length of metal dispersion trains in sediments and water, and examine the extent and composition of metal zoning patterns around known deposits. It is not uncommon to find that several sample media are necessary to satisfactorily assess the mineral-resource potential of a large area.

Stream-sediment, panned-concentrate, and water samples are more often used in broad regional studies to define areas of mineral potential that warrant further, more detailed, study. These studies have a relatively low cost per unit area. Soil, rock, and vegetation samples are

used in more detailed studies of small areas that usually have some identified mineral potential. These studies have a relatively high cost per unit area.

CHEMICAL ANALYSES AND TECHNIQUES

The chemical techniques used in the geochemical exploration for mineral resources are many and varied, and are chosen on the basis of sample medium and the nature of the exploration environment. Usually the best analytical method is one that gives maximum contrast between background and anomaly. Background is the normal elemental concentration of a given rock unit, and an anomaly is a significant deviation from the background.

The extraction of metallic elements of interest is one of the concerns in the chemical analysis. A much greater contrast between background and anomaly can often be achieved by selectively dissolving the sample. Many dissolution techniques are used, some totally dissolve the sample, whereas others involve only partial dissolution. A partial extraction (or leaching) may be particularly useful in the tropical environment of Central America and the Caribbean where metals are concentrated in secondary oxides and the oxides are preferentially adsorbed onto mineral grains in a sample. Ground waters in the tropical environment are commonly acidic and can carry dissolved metallic elements until changing physical and chemical conditions cause precipitation as oxides or hydroxides. Interpretation of the resulting partial dissolution data is dependent on an understanding of the chemistry of the technique used.

Some chemical techniques do not require dissolution of the sample, but rather use the whole sample in the analysis. In dealing with vegetation, the sample is often ashed prior to the dissolution process.

There are numerous procedures for analyzing geologic materials (Ward and others, 1963, and Allcott and Lakin, 1978). Three of the most commonly used are emission spectrographic analyses, induction-coupled plasma spectrographic analyses, and atomic-absorption analyses.

Emission spectrographic analysis involves vaporizing a very small measured portion of a powdered sample in an electric arc and recording the emitted spectra on film. A trained operator then "reads" the film and records the concentration of the elements observed. This method is fast and is very useful for reconnaissance work, but because the analysis is total, elemental concentrations must be interpreted with the mineralogical composition of the sample in mind. Many minerals contain metallic elements in their structure that are not indicative of mineral resources. This method is not precise, and the

analytical results should be considered semiquantitative. For some elements, the sensitivity of this method is not sufficient for exploration work, and for these few elements other analytical techniques must be used.

The induction-coupled plasma spectrographic technique involves dissolving the sample and analyzing the resulting solution. As in most solution techniques, not all the sample is dissolved, and the interpretation of the analytical results must take into account the mineralogical composition of the original sample. This method has good precision.

Atomic-absorption methods are used to determine several elements that cannot be determined with sufficient sensitivity on the emission spectrograph, and to obtain more precise analyses for other elements important in the exploration for ore deposits. In using this method, the sample is dissolved, and a portion of the resulting solution is sprayed into a flame atomizer and burned. The absorbed spectrum is analyzed and the concentration measured. Both the precision and accuracy of this method are high.

RESULTS OF MINERAL-RESOURCE ASSESSMENT

No regional mineral-resource assessment can delineate the exact limits or determine the economic worth of an ore deposit. It can, however, define the areas of greatest mineral-resource potential, estimate the probability for ore deposits, and recommend further, more detailed, studies. None of the three earth-science disciplines of geology, geochemistry, or geophysics can, by itself, give an accurate assessment of the mineral resources of an area. The integration of results of studies from the three disciplines is required to generate a single comprehensive interpretive report. Without input from all three disciplines the information available to make an evaluation would not be adequate. The following factors should be included in a mineral-resource assessment report: (1) recognition criteria for mineral occurrences, (2) geochemical character of the various geologic terranes, (3) discussion of suites of elements related to mineralization, and (4) resource assessment of the area studied outlining and describing areas of mineral-resource potential. An integral part of the report should consist of maps showing the geology of the area, results of geochemical analyses that support the areas of resource potential, and geophysical maps that describe some of the subsurface characteristics of the area. Recommendations for further studies should be included in the report, focusing on areas of sufficient resource potential to warrant the additional work. Topical studies in selected areas and the delineation of exploration targets would result from the mineral-resource assessment as the next phase of exploration.

REFERENCES CITED

- Allcott, G.H., and Lakin, H.W., 1978, Tabulation of geochemical data furnished by 109 laboratories for six geochemical exploration reference samples: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-163, 199 p.
- Bradshaw, P.M.D., and Thomson, I., 1982, Geochemical exploration for mineral deposits in tropical rain-forest environments, *in* Laming, D.J.C., and Gibbs, A.K., eds., *Hidden wealth: exploration techniques in tropical forest areas*: Association of Geoscientists for International Development Report No. 7, p. 62-75.
- Brobst, D.A., and Goudarzi, G.H., 1984, Introduction, *in* Marsh, S.P., Kropschot, S.J., and Dickinson, R.G., eds., *Wilderness mineral potential—Assessment of mineral-resource potential in U.S. Forest Service lands studied 1964-1984*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1300, p. 1-10.
- Overstreet, W.C., 1963, Heavy-mineral reconnaissance: regional heavy-mineral reconnaissance as a guide to ore deposits in areas underlain by deeply weathered crystalline rocks, *in* Proceedings of the seminar on geochemical prospecting methods and techniques: United Nations Mineral Resources Development Series No. 21, p. 57-66.
- Pasquali Z, J., and Lopez E, C.J., 1982, Geochemical prospecting in humid tropical climates, *in* Laming, D.J.C., and Gibbs, A.K., eds., *Hidden wealth: exploration techniques in tropical forest areas*: Association of Geoscientists for International Development Report No. 7, p. 75-79.
- Singh, S., 1982, Mineral exploration in tropical rain forests: practical problems and directions, *in* Laming, D.J.C., and Gibbs, A.K., eds., *Hidden wealth: exploration techniques in tropical forest areas*: Association of Geoscientists for International Development Report No. 7, p. 22-27.
- Von Gaertner, H.R., 1963, Geochemistry of lateritic deposits: some general patterns of lateritic weathering, *in* Proceedings of the seminar on geochemical prospecting methods and techniques: United Nations Mineral Resources Development Series No. 21, p. 67-75.
- Ward, F.N., Lakin, H.W., Canney, F.C., and others, 1963, Analytical methods used in geochemical exploration by the U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Bulletin 1152, 100 p.

EXPLORACION GEOQUIMICA DE RECURSOS MINERALES EN LOS AMBIENTES TROPICALES DE CENTROAMERICA Y EL CARIBE

Por Sherman P. Marsh

INTRODUCCION

El término "recurso mineral" se refiere a una concentración de material sólido, líquido, o gaseoso que se presenta en forma natural, sobre la corteza terrestre, en tal forma y cantidad que su extracción económica es factible de manera inmediata, o es potencial (Brobst y Goudarzi, 1984). En un programa para evaluar los recursos minerales de un área o de un país, se estima tanto la cantidad y el grado de los recursos minerales identificados, como la existencia potencial de recursos minerales aún no descubiertos.

La primera fase en cualquier programa de evaluación de un recurso mineral es la realización de una estimación preliminar, basada en todos los datos pertinentes sobre el área o país, publicados o no publicados. Esto se lleva a cabo en forma mas eficiente si se visita el país en cuestión y se trabaja con los geólogos residentes, para recopilar e interpretar los datos existentes en los campos geológicos, geoquímicos y geofísicos. Esta información se sintetiza y se integra en términos de las teorías más actualizadas de las ciencias de la tierra, tomando en cuenta modelos de depósitos de mineral, y luego se compara con los datos de áreas que tienen depósitos minerales ya identificados. El resultado de la evaluación preliminar del recurso mineral se convierte en la base para planificar una evaluación extensa del recurso mineral, que incluye estudios temáticos detallados en áreas con presencia potencial de recursos minerales.

La integración de los estudios realizados por científicos de las tres principales disciplinas de la ciencia de la tierra (geología, geoquímica y geofísica) es necesaria para obtener una evaluación extensa y exacta del recurso mineral. La porción geológica, que proporciona el marco básico para la evaluación del recurso mineral, se lleva a cabo a través de la recopilación de información existente sobre los ambientes geológicos del área, del levantamiento de un mapa geológico del área de interés y de la compar-

ación posterior de los resultados obtenidos con lo que se encuentra en ambientes geológicos similares de cualquier otra parte del mundo, los cuales son conocidos como favorables para la existencia de recursos minerales. La parte geoquímica identifica las áreas con presencia de mineral, a través de análisis de los materiales de la superficie, y proporciona información sobre la composición química de las unidades de roca existentes en el área. La parte geofísica provee información de las características del subsuelo, que de otra manera sería difícil, si no imposible, determinar.

El informe resultante integra las tres partes de la evaluación del recurso mineral y une todos los estudios. Este informe extenso incluye descripciones del área y de los estudios realizados, evaluaciones de los recursos identificados y de la existencia potencial de recursos adicionales, mapas interpretativos que han servido de base para la evaluación del recurso mineral y recomendaciones para estudios adicionales.

EXPLORACION GEOQUIMICA

La exploración geoquímica es una disciplina de la ciencia de la tierra que involucra el muestreo y el análisis químico de los materiales de la superficie, para evaluar los recursos minerales conocidos y los aún no descubiertos. Los datos obtenidos se interpretan e integran con los datos de otras disciplinas de la ciencia de la tierra, para lograr una estimación de la existencia potencial de recursos minerales.

La exploración geoquímica es un instrumento utilizado en la búsqueda mundial de los recursos minerales, en ambientes tanto tropicales como templados. A diferencia de las áreas más templadas del mundo, los medios tropicales contienen zonas climáticas condensadas. Como resultado, se debe tener cuidado en el diseño de programas de muestreo geoquímico en los tropicos. Climas

semiáridos, selváticos, tipo sabana y alpinos pueden todos estar presentes en una pequeña isla; por lo tanto, se necesita desarrollar un programa de exploración geoquímica para cada zona climática diferente. Los medios de muestreo y el método químico adecuado para la evaluación de una zona climática pueden no ser adecuados para una zona adyacente, que es, sin embargo, diferente. La experiencia lograda en los programas de exploración geoquímica realizada a través de varias décadas, indica que varios tipos de medios de muestreo son generalmente necesarios para evaluar en forma adecuada estas áreas de complejidad climática. Las técnicas químicas usadas en el análisis de estas diversas muestras son también variadas y complejas y requieren una comprensión de su ambiente geológico, de su composición mineral y de sus propiedades químicas.

El programa de exploración geoquímica puede ser dividido en dos etapas. La primera etapa involucra un programa de muestreo regional para definir el carácter geoquímico del área, identificar las áreas de recursos ya conocidos y delinear las áreas con existencia potencial de recursos minerales. La segunda etapa involucra un muestreo más detallado de las áreas con recursos minerales ya identificados o potenciales, para enfocar la potencialidad de existencia de depósitos minerales.

La exploración geoquímica puede proporcionar un vínculo directo con los recursos minerales, porque los vestigios de mineralización encontrados en las muestras reunidas (sedimento fluvial, concentrado aurífero, tierra, roca, agua y vegetación) pueden reflejar la existencia de un recurso mineralizado. Es decir, las muestras pueden derivarse de existencias minerales alteradas por la intemperie o por mineralización filtrada desde depósitos escondidos o subterráneos, a lo largo de las fallas y fracturas. Para poder enfocar los estudios adicionales en áreas que tienen la mayor potencialidad de existencia de recursos minerales, es necesaria una interpretación precisa de los datos geoquímicos. Sin embargo, debido a que los datos geoquímicos están directamente influidos por los tipos de muestras reunidos, es de suma importancia que el programa de muestreo inicial sea correctamente diseñado.

Los tres factores principales que influyen en el diseño de los programas de exploración geoquímica de recursos minerales son: (1) el terreno geológico, (2) el terreno topográfico y (3) el ambiente climático. Todos estos tres factores deben ser cuidadosamente considerados al planificar, ejecutar e interpretar la parte geoquímica de la exploración al evaluar un recurso mineral en Centroamérica y el Caribe, ya que cualquiera de estos factores puede cambiar dramáticamente dentro de una área relativamente pequeña. La selección de las muestras más representativas, su preparación y su análisis químico son de vital importancia para la correcta interpretación de los datos resultantes.

AMBIENTE TROPICAL

Los ambientes tropicales están esencialmente comprendidos entre las latitudes 23 norte y 23 sur (los trópicos de Cáncer y Capricornio) y constituyen una gran porción de las áreas de tierra firme del planeta. Aproximadamente 23 millones de kilómetros cuadrados de las zonas tropicales son selvas (Singh, 1982). El ambiente tropical de Centroamérica y el Caribe puede ser extremadamente variado dentro de un área relativamente pequeña. En una isla puede existir una selva tropical en el lado expuesto al viento, mientras que en el lado no expuesto al viento el posible encontrar un ambiente semiárido. En muchas áreas montañosas es posible ascender desde una selva tropical, situada al nivel del mar, pasando por diversos ambientes climáticos, hasta un ambiente alpino situado entre los 2.000 y los 3.000 metros de altura. Este rápido cambio de ambientes climáticos en áreas relativamente pequeñas complica el diseño de un programa de exploración geoquímica.

Hay cuatro tipos de ambientes climáticos que pueden encontrarse en las áreas tropicales de Centroamérica y el Caribe: (1) selva, (2) sabana, (3) alpino, y (4) semiárido.

Selva.—Un terreno intensamente alterado por la intemperie y densamente cubierto de vegetación, usualmente con gruesas capas de suelo laterítico. Estas son generalmente áreas de bajo relieve, con patrones fluviales ramificados. La precipitación pluvial es abundante.

Sabana.—Prados ligeramente ondulados y bosques abiertos, con relieve moderado. Este terreno a menudo está intensamente alterado por la intemperie y la presencia de rocas es escasa. Predominan los suelos lateríticos. Las corrientes fluviales tienen patrones ramificados, pero a menudo se encuentran profundamente cortados. La precipitación pluvial es moderada, con dos distintas estaciones: una húmeda y una seca.

Alpino.—Los ambientes alpinos existen en los trópicos en las zonas más altas de las áreas montañosas. A pesar de que las especies de plantas difieren de sus contrapartes en las zonas templadas, sus aspectos físicos son similares. Estas áreas generalmente tienen alto relieve, con ríos, profundamente cortados, que fluyen rectos. Hay abundancia de rocas, especialmente a lo largo de los ríos. La tierra se desarrolla principalmente a lo largo de los cerros. La precipitación pluvial es variable.

Semiárido.—Las áreas semiáridas generalmente se encuentran en el lado no expuesto al viento de las islas que tienen una topografía de alto relieve y a la sombra de las cordilleras. Algunas zonas desérticas son provocadas por las corrientes frías del océano. La vegetación es escasa y el relieve puede ser desde bajo hasta escarpado. Los ríos, cuando hay suficiente agua, tienden a fluir rectos y son cortados. La tierra tiene un pobre desarrollo y la precipitación pluvial es escasa.

MEDIOS Y TECNICAS DE MUESTREO

Existen seis tipos principales de muestras que deberían ser considerados al planificar un programa de exploración geoquímica y algunos, o todos, podrían ser aplicados en los ambientes tropicales de Centroamérica y el Caribe. Estos tipos de muestra son: (1) sedimento fluvial, (2) concentrado aurífero, (3) tierra, (4) roca, (5) agua, y (6) vegetación.

En los ambientes tropicales de Centroamérica y el Caribe la alteración y la dispersión hidromórficas son más intensas que en los ambientes más templados, en los cuales la alteración y la dispersión fragmentarias tienen mayor significación. El tipo de muestra obtenida y su análisis son, en consecuencia, diferentes a los de un ambiente más templado.

Sedimentos fluviales.—El sedimento fluvial es un medio de muestreo tradicional que ha sido ampliamente utilizado, con gran éxito, durante muchos años en programas de exploración geoquímica. Existen, sin embargo, algunos problemas de interpretación. En los climas templados y desérticos con alto relieve, los sedimentos fluviales contienen grandes cantidades de detrito mineral que forma roca común, el cual puede ocultar o diluir elementos relacionados con la mineralización. En el clima selvático, los profundos suelos lateríticos aportan a los ríos grandes cantidades de hierro secundario y minerales de arcilla (Gaertner, 1963) y esto puede ocultar otros elementos. Adicionalmente, un ambiente selvático es un tipo de ambiente de alteraciones químicas rápidas y los elementos derivados de rocas mineralizadas se adhieren generalmente a las partículas de hierro secundario y de minerales de manganeso. En consecuencia, a menudo es necesario someter estas muestras de sedimentos fluviales a un tratamiento químico especial, para extraer los elementos minerales. Las muestras de sedimentos fluviales tomadas en ambientes tropicales, a menudo consisten de arcillas y sílice, y los minerales resistentes, así como otras especies minerales susceptibles a las alteraciones químicas, han sido removidos.

Concentración materiales pesados en recipiente.—La muestra de concentrado aurífero puede ser un medio de diagnóstico de la mineralización más efectivo que el sedimento fluvial, especialmente si contiene partículas de sulfuro metálico. En los ambientes tropicales la alteración causada por los agentes atmosféricos rompe las rocas de la superficie hasta profundidades de decenas de metros, y esta profunda zona de alteraciones a menudo oculta la mineralización. La muestra de concentrado aurífero es particularmente útil, ya que aprovecha esta alteración profunda que libera minerales pesados y resistentes, generalmente asociados con los recursos minerales (Overstreet, 1963).

La concentración de materiales pesados en recipiente aurífero consiste de la fracción pesada y resistente de

la tierra, derivada del sedimento fluvial, que generalmente contiene los elementos asociados con los depósitos de mineral. Se debe prestar atención especial a la interpretación de los datos del concentrado aurífero, ya que las determinaciones analíticas representan un múltiple aumento de elementos relacionados con los minerales pesados. Es también importante conocer la composición mineralógica del concentrado, ya que esta guarda una relación directa con los depósitos ya conocidos de mineral y con los depósitos modelo.

Tierra.—En un ambiente tropical los suelos generalmente representan la alteración local, provocada por agentes atmosféricos, del lecho de rock (Bradshaw and Thomson, 1982). Los vestigios encontrados en las muestras de tierra, usualmente reflejan la composición del lecho subterráneo de roca. En las áreas más intensamente alteradas por los agentes atmosféricos, los elementos metálicos con frecuencia son concentrados en los niveles profundos, a través de los procesos de alteración, y pueden ser removidos y transportados por el agua subterránea. El análisis de las muestras de tierra es utilizado más efectivamente como parte de un estudio de seguimiento en áreas con potencialidad de existencia de recursos minerales, determinada en los estudios regionales.

Roca.—Las muestras de roca proporcionan información acerca de áreas muy específicas. El análisis de las muestras de roca es utilizado más efectivamente en áreas en las cuales la potencialidad de existencia de recursos minerales ha sido determinada y, por lo tanto, se requiere mayor información para definir el recurso mineral que se espera encontrar. Las muestras de roca también son utilizadas para determinar el contenido de elementos indicadores presentes en las unidades de roca del área, como parte de un programa completo de exploración geoquímica. En el ambiente tropical, a menudo es difícil obtener las muestras de roca, ya que las partes expuestas de la roca con frecuencia son sometidas a alteración, provocada por agentes atmosféricos, y a lixiviación química.

Agua.—El agua puede ser una muestra de particular utilidad en el ambiente tropical, por la intensa alteración provocada por los agentes atmosféricos, precipitación pluvial abundante y altas temperaturas. En este ambiente al agua subterránea es químicamente activa y tiene un alto poder de lixiviación (Pasquali y Lopez, 1982). El agua que pasa a través de una zona alterada, por encima de un depósito mineral, puede contener elevadas concentraciones de sulfato y vestigios metálicos, relacionados con depósitos de mineral, y puede ser utilizada como un factor de diagnóstico en el programa de exploración geoquímica.

Vegetación.—La vegetación densa es común en los ambientes tropicales y los métodos biogeoquímicos de exploración pueden ser útiles. El crecimiento de la vege-

tación en los ambientes tropicales es rápido y las plantas guardan altas concentraciones de minerales del suelo (Shacklette, "written commune."). La rapidez de crecimiento y muerte de las plantas en los ambientes tropicales tiende a concentrar y conservar elementos metálicos cerca del lugar en donde fueron meteorizadas, al reciclarlas y convertirlas en nuevas plantas. Las concentraciones de los elementos metálicos pueden ser más altas en la vegetación que en los suelos en los cuales las plantas han crecido. La identificación de especies puede ser también un importante indicador de la existencia potencial de recursos minerales. Ciertas plantas no crecerán en suelos enriquecidos con ciertos elementos, mientras que otras prosperarán en suelos ricos en elementos específicos. La observación de la abundancia o escasez de una especie de planta en particular es otro factor que puede ser utilizado en la evaluación de los recursos minerales.

Se recomiendan estudios guía antes de seleccionar cualquier tipo de muestra. Los estudios guía son pruebas para determinar la efectividad relativa de varios tipos de muestra en áreas que contienen recursos minerales conocidos. Estos estudios guía deben enfatizar el descubrimiento de los diversos tipos de mineralización y depósitos minerales que se espera encontrar en el área de estudio. Una evaluación de los estudios guía se basa en el conocimiento de los depósitos minerales modelo y de las asociaciones elementales que se saben relacionadas con los recursos minerales. Los estudios guía deberían también examinar los perfiles del suelo para determinar horizontes o capas de óptimo contenido metálico, examinar la longitud de las secuencias de dispersión metálica en sedimentos y agua y examinar la extensión y composición de los patrones de zonificación, alrededor de depósitos conocidos. Es común encontrar que varios tipos de muestra son necesarios para evaluar satisfactoriamente la existencia potencial de recursos minerales de una extensa área.

Las muestras de sedimentos fluviales, concentrado aurífero y agua son utilizadas con más frecuencia en amplios estudios regionales para determinar las áreas de existencia potencial de minerales, que garantizan un estudio ulterior, más detallado. Estos estudios tienen un costo relativamente bajo por área. Las muestras de suelo, roca y vegetación son utilizadas en estudios más detallados de áreas pequeñas que usualmente tienen alguna existencia potencial de mineral que ha sido determinada. Estos estudios tienen un costo relativamente alto por área.

ANALISIS Y TECNICAS QUIMICAS

Las técnicas químicas utilizadas en la exploración geoquímica de recursos minerales son muchas y variadas,

y han sido escogidas en función del tipo de muestra y de la naturaleza del ambiente de exploración. Usualmente el mejor método analítico es el que proporciona el máximo contraste entre la información básica y la irregularidad. La información básica es la concentración normal de elementos de una unidad de roca determinada y una irregularidad es una desviación significativa de esta información básica.

La extracción de elementos metálicos de interés es uno de los objetivos del análisis químico. Un contraste mucho mayor entre la información básica y la irregularidad puede, a menudo, ser logrado diluyendo la muestra en forma selectiva. Muchas técnicas de dilución son utilizadas, algunas diluyen totalmente la muestra mientras que otras involucran solamente una dilución parcial. Una extracción parcial (o lixiviación) puede ser particularmente útil en los ambientes tropicales de Centroamérica y el Caribe, en donde los metales están concentrados en óxidos secundarios y los óxidos están especialmente adheridos a partículas de mineral en una muestra. Las aguas subterráneas en el ambiente tropical son generalmente ácidas y pueden arrastrar elementos metálicos disueltos, hasta que los cambios en las condiciones físicas y químicas causan precipitación de óxidos o hidróxidos. La interpretación de los datos resultantes de una dilución parcial depende de la comprensión de la química de la técnica empleada.

Algunas técnicas químicas no requieren la dilución de la muestra, sino que utilizan la muestra completa en el análisis. Cuando se trata de vegetación, la muestra es a menudo convertida en ceniza antes del proceso de dilución.

Existen numerosos procedimientos para el análisis de materiales geológicos (Ward y otros, 1963, y Alcott y Lakin, 1978). Tres de los más usados son los análisis espectrográficos de emisión, los análisis espectrográficos de plasma de acoplamiento inductivo y los análisis de absorción atómica.

Los análisis espectrográficos de emisión se realizan por medio de la vaporización en un arco eléctrico de una porción medida muy pequeña de una muestra en polvo, y el registro en film del espectro emitido. Un operador entrenado "lee", entonces, el film y registra los elementos de concentración observados. Este método es rápido y es muy útil para realizar trabajos de reconocimiento, pero debido a que el análisis es total, las concentraciones elementales deben ser interpretadas tomando en cuenta la composición mineralógica de la muestra. Muchos minerales contienen elementos metálicos en su estructura que no son indicativos de la existencia de recursos minerales. Este método no es preciso y los resultados analíticos deben ser considerados semicuantitativos. En el caso de algunos elementos, la sensibilidad de este método no es suficiente para llevar a cabo un trabajo de exploración y,

para estos pocos elementos, se deben utilizar otras técnicas analíticas.

En la técnica de análisis espectrográfico de plasma de acoplamiento inductivo, la muestra se diluye y la solución resultante es analizada. Como en la mayoría de técnicas que utilizan dilución, no toda la muestra se diluye y la interpretación de los resultados analíticos debe tomar en cuenta la composición mineralógica de la muestra original. Este método es muy preciso.

Los métodos de absorción atómica son usados para determinar un número de elementos que no pueden ser determinados con suficiente sensibilidad en el análisis espectrográfico de emisión, así como para obtener análisis más precisos de otros elementos importantes en la exploración de depósitos minerales. Al utilizar este método, la muestra se diluye y una parte de la solución resultante se rocía en un atomizador de llama y se quema. El espectro absorbido es analizado y se mide la concentración. Tanto la precisión como la exactitud de este método son altas.

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE RECURSOS MINERALES

Ninguna evaluación regional de recursos minerales puede delinear los límites exactos o determinar el valor económico de un depósito mineral. Sin embargo, puede determinar las áreas con mayor potencialidad de existencia de recursos minerales, estimar la probabilidad de que existan depósitos minerales y recomendar estudios adicionales más detallados. Ninguna de las tres disciplinas de la ciencia de la tierra (geología, geoquímica, o geofísica) puede, por sí misma, proporcionar una evaluación exacta de los recursos minerales de una área. Se requiere la integración de los resultados de los estudios bajo las tres disciplinas, para producir un solo informe amplio e interpretativo. Sin el aporte de datos obtenidos de las tres disciplinas, la información disponible para efectuar una evaluación no sería adecuada. En un informe de evaluación de recursos minerales, deben ser considerados los siguientes factores: (1) los criterios para reconocer la presencia de minerales, (2) carácter geoquímico de los diversos terrenos geológicos, (3) discusión de las series de elementos relacionados con la mineralización y (4) evaluación de recursos del área estudiada, esbozando y describiendo las áreas con existencia potencial de recursos minerales. Parte integral del informe debería estar constituida por mapas que muestren la geología del área, resultados de los análisis geoquímicos que respaldan las áreas de existencia potencial de recursos y mapas geofísicos que describan algunas de las características subterráneas del área. Dicho informe debería también incluir recomendaciones para estudios ulteriores, dirigi-

dos hacia las áreas con suficiente existencia potencial de recursos para garantizar trabajos adicionales. El desarrollo de estudios temáticos en áreas seleccionadas y la delimitación de objetivos de exploración constituyen la siguiente fase en el proceso de exploración, como resultado de la evaluación del recurso mineral.

REFERENCIAS CITADAS

- Allcott, G.H., y Lakin, H.W., 1978, Tabulación de datos geoquímicos suministrados por 109 laboratorios de muestras referencia provenientes de seis exploraciones geoquímicas: Informe abierto 78-163 del "U.S. Geological Survey", p. 199. ["Tabulation of geochemical data furnished by 109 laboratories for six geochemical exploration reference samples: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-163, 199 p."]
- Bradshaw, P.M.D., y Thomson, I., 1982, Exploración geoquímica de depósitos minerales en ambientes selváticos tropicales, en Laming, D.J.C., y Gibbs, A.K., eds., *Riqueza Inexplorada: Técnicas de exploración en áreas selváticas tropicales*: Informe No. 7 de la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional, p. 62-75. ["Geochemical exploration for mineral deposits in tropical rain forest environments, in Laming, D.J.C., and Gibbs, A.K., eds., *Hidden Wealth: exploration techniques in tropical forest areas*: Association of Geoscientists for International Development, Report No. 7, p. 62-75."]
- Brobst, D.A., y Goudarzi, G.H., 1984, Introducción en Marsh, S.P., Kropshot, S.J., y Dickinson, R.G., eds., *Existencia potencial de mineral en las selvas vírgenes—Evaluación de existencia potencial de recursos minerales en las tierras del "U.S. Forest Service"*, realizada en 1964-1984: Documento Científico 1300 del "U.S. Geological Survey", p. 1-10. ["Introduction in Marsh, S.P., Kropshot, S.J., and Dickinson, R.G., eds., *Wilderness mineral potential—Assessment of mineral-resource potential in U.S. Forest Service lands studied in 1964-1984*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1300, p. 1-10."]
- Overstreet, W.C., 1963, Reconocimiento de minerales pesados: Reconocimiento regional de mineral pesado como una guía para determinar los depósitos minerales en áreas con una capa subyacente profunda de rocas cristalinas meteorizadas, en Las actas del seminario sobre métodos y técnicas de prospección geoquímica: Desarrollo de Recursos Minerales de las Naciones Unidas, Serie No. 21, p. 57-60. ["Heavy-mineral reconnaissance as a guide to ore deposits in areas underlain by deeply weathered crystalline rocks, in Proceedings of the seminar on geochemical prospecting methods and techniques: United Nations Mineral Resources Development, Series No. 21, p. 57-60."]
- Pasquali Z, J., y Lopez E, C.J., 1982, Prospección geoquímica en climas tropicales húmedos en Laming, D.J.C., y Gibbs, A.K., eds., *Riqueza Inexplorada: Técnicas de exploración en áreas selváticas tropicales*: informe No. 7 de la Asociación de Geocientíficos Para el Desarrollo Internacional, p.

221. ["Geochemical prospecting in humid tropical climates, *in* Laming, D.J.C., and Gibbs, A.K., eds., *Hidden Wealth: exploration techniques in tropical forest areas: Association of Geoscientists for International Development, Report No. 7*, p 221."]
- Singh, S., 1982, Exploración mineral en las selvas tropicales: Problemas e instrucciones practicas, *en* Laming, D.J.C., y Gibbs, A.K., eds., *Riqueza Inexplorada: Técnicas de exploración en áreas selváticas tropicales: Informe No. 7 de la Asociación de Geocientíficos para el Desarrollo Internacional*, p. 22-27. ["Mineral exploration in tropical rain forests: practical problems and directions, *in* Laming, D.J.C., y Gibbs, A.K., eds., *Hidden Wealth: exploration techniques in tropical forest areas: Association of Geoscientists for International Development, Report No. 7*, p. 22-27."]
- Von Gaertner, H.R., 1963, Geoquímica de los depositos lateríticos: algunos patrones generales de la meteorización laterítica, *en* Las actas del seminario sobre métodos y técnicas de prospección geoquímica: Desarrollo de Recursos Minerales de las Naciones Unidas, Serie No. 21, p. 67-75. ["Geochemistry of lateritic deposits: some general patterns of lateritic weathering, *in* Proceedings of the seminar on geochemical prospecting methods and techniques: United Nations Mineral Resources Development Series No. 21, 202 p."]
- Ward, F.N., Lakin, H.W., Canney, F.C., y otros, 1963, Métodos analíticos utilizados en la exploración geoquímica por el "U.S. Geological Survey": Boletín 1152 del "U.S. Geological Survey", p. 100. ["Analytical methods used in geochemical exploration by the U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Bulletin 1152, 100 p."]

EXPERT SYSTEMS RESEARCH IN REGIONAL RESOURCE EVALUATION: EXPERIENCES IN THE APPLICATION OF MICROCOMPUTER TECHNOLOGIES

By Richard B. McCammon

muPROSPECTOR, patterned after SRI's expert system PROSPECTOR, is designed to aid the geologist in evaluating the potential mineral resources within a given geographic area. The central idea is the encoding of deposit models by expert economic geologists that can be matched against observations made by field geologists. muPROSPECTOR is a microcomputer-based system that can be applied to problems in regional mineral-resource evaluation. To date, the knowledge base that has been incorporated in muPROSPECTOR consists of deposit models constructed as part of the mineral-resource assessment in the Sherbrooke-Lewiston $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ quadrangles in New England. Included are models for volcanogenic massive sulfide, sediment-hosted lead-zinc-silver, tin griesen, porphyry copper, vein-type uranium, uraniferous peat, and tin-placer deposits. These models are represented in the knowledge base as a set of rules derived from recognition criteria developed for each deposit type.

In a normal consultation with muPROSPECTOR, the geologist is asked a series of questions that relate to various pieces of evidence that might be present in an area. Answers to these questions lead muPROSPECTOR to an evaluation of the potential mineral resources in an area. The evaluation consists of a probabilistic estimate for one or more deposits occurring in the area for each of the deposit types being considered and the reasons upon which the evaluation for each deposit type is based. At any time during the consultation, the geologist can ask for muPROSPECTOR to summarize and make an evaluation based on the current information. The intent is to provide the geologist with services that could be provided by

having telephone access to a panel of experienced economic geologists, each an authority on a particular type of deposit.

The experience with muPROSPECTOR has indicated that improvements in designing future expert systems for regional resource evaluation are needed in 1) knowledge representation, 2) reasoning mechanisms, and 3) knowledge acquisition.

Current limitations in knowledge representation are the result of insufficient expressiveness of the language used to encode deposit models. The lack of sufficient general geologic knowledge for most of the models that have been constructed is also a major problem. What is needed are methods for matching observations volunteered by geologists about the general geologic, geochemical, and geophysical setting in an area with the attributes of existing models.

With respect to reasoning mechanisms, control strategies are needed to take into account the fact that the characteristics of one deposit type grades more or less imperceptibly into those of other types. Current control strategies make restrictive assumptions about the interdependency of multiple sources of evidence and the manner in which they combine.

With respect to knowledge acquisition, methods are needed for a) screening data bases compiled for ore deposits, b) formulating less-than-perfect models that others can subsequently modify easily, and c) computer-assisted instruction in deposit modeling. Future developments in muPROSPECTOR will require a close working relationship with economic and field geologists.

SISTEMAS IDONEOS DE INVESTIGACION EN RECURSOS DE EVALUACION REGIONAL: EXPERIENCIAS EN LA APLICACION DE TECNOLOGIAS MICROCOMPUTARIZADAS

Por Richard B. McCammon

El PROSPECTOR, que tuvo como modelo el sistema idóneo SRI PROSPECTOR, está diseñado para ayudar al geólogo a evaluar los recursos potenciales de mineral dentro de un área geográfica dada. La idea central es codificar los modelos de depósito por geólogos expertos en economía que puedan ser comparadas con observaciones hechas por geólogos de campo. El PROSPECTOR es un sistema de base microcomputarizada que puede ser utilizado para resolver problemas en la evaluación de recursos minerales regionales. A la fecha, el conocimiento base que ha sido incorporado en El PROSPECTOR consiste en modelos de depósito construidos como parte de recursos minerales distribuidos en el cuadrángulo Sherbrooke-Lewiston $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ en Nueva Inglaterra. Hay incluidos modelos para sulfuro masivo vulcanológico, sedimento hospedero de zinc-plata, estaño, cobre pórfido, uranio tipo veta, turbas uraníferas, y placeres de depósito de estaño. Estos modelos son representados en la base de conocimiento como un grupo de reglas derivadas de criterios de reconocimiento desarrollados para cada tipo de depósito.

En una consulta normal con el PROSPECTOR, se le pregunta al geólogo una serie de preguntas, que relacionan las varias piezas de evidencia que se puedan presentar en un área. Las respuestas a estas preguntas conduce al PROSPECTOR a una evaluación de recursos minerales potenciales en un área. La evaluación consiste en un estimado de probabilidades para uno o más depósitos que aparezcan en un área para cada uno de los tipos de depósitos que se consideran y son las razones en las cuales se basa la evaluación de cada tipo de depósito. En cualquier tiempo durante la consulta, el geólogo puede preguntar al PROSPECTOR, que resuma y haga una basada evaluación en la información presente. El propósito es proporcionar al geólogo servicios que pue-

dan ser dados mediante acceso telefónico a un panel de geólogos con experiencia en economía, cada integrante es una autoridad en un tipo particular de depósito.

La experiencia con el PROSPECTOR ha indicado que el progreso en el diseño de sistemas idóneos futuros para evaluación de recursos regionales, se necesitan para 1) representación de conocimiento, 2) mecanismos de razonamiento y 3) adquisición de conocimientos.

Las limitaciones actuales en la representación de conocimientos son el resultado de la insuficiencia de la expresión del lenguaje usado para codificar modelos de depósito. La falta de conocimientos geológicos generales suficientes para muchos de los modelos que han sido construidos es también un gran problema. Lo que se necesita son métodos para observaciones que cotejen las observaciones hechas por los geólogos acerca de geología general, geoquímica, y geofísica, en un área con los atributos de modelos existentes.

Con respecto a los mecanismos de razonamiento, se necesitan estrategias de control para tomar en cuenta el hecho de las características del grado de un tipo de depósito más o menos imperceptibles dentro de aquellos otros tipos. Las estrategias de control actuales hacen suposiciones restrictivas acerca de la interdependencia de los recursos múltiples de evidencia y en la manera de como se combinan.

Con respecto a la adquisición de conocimientos, se necesitan métodos para a) poner en pantalla los datos básicos recopilados para depósitos minerales, b) la formulación de modelos de depósito menores que otros puede ser modificada fácil y subsecuentemente, y c) instrucción para la asistencia computarizada de modelos de depósito. Los futuros desarrollos en el PROSPECTOR requerirán una relación muy estrecha de trabajo con geólogos de campo y economistas.

CURRENT GEOBOTANICAL REMOTE-SENSING TECHNIQUES FOR HUMID REGIONS

By Nancy Milton

In the humid regions of the world, bedrock and soils are often obscured by several layers of forest canopy, subcanopy, groundcover, and leaf litter. A variety of geobotanical techniques have been developed to aid in geologic mapping and mineral exploration in such areas. These techniques take advantage of the natural tendency of plants to respond to growth factors in the environment that are controlled by substrate. Theoretical information from plant ecology, phytogeography, plant physiology, biogeochemistry, and biophysics is used to predict changes in vegetation with respect to substrate, or empirical observations are used with some prior knowledge of "normal" conditions for a given area to detect differences in substrate by means of anomalous variations in vegetation.

Current geobotanical techniques can be categorized according to the size of the area being investigated and the scale of the remote-sensing imagery. The geological applications possible will depend upon the scale used. Low-resolution data include images acquired by the Landsat Multispectral Scanner (MSS) and Thematic Mapper (TM); these two image types are generally appropriate for regional geologic mapping applications. High-spectral-resolution data are available from the Shuttle Multispectral Infrared Radiometer (SMIRR) and several aircraft instruments, including the Mark IV spectroradiometer, developed by Collins and others (1983), and the Airborne Imaging Spectrometer (AIS). The high-resolution data are used for mineral exploration by measuring spectral changes in vegetation associated with mineral deposits, or the data are used for detection of changes in plant communities expressed spectrally in the near-infrared part of the electromagnetic spectrum.

At the U.S. Geological Survey, both high- and low-resolution spectral reflectance data are used for mineral exploration and geologic mapping. Landsat MSS and TM data have been used to identify plant communities associated with specific lithologies in the Piedmont province of Virginia and North Carolina. Before analysis, the data were enhanced by using a principal-component transformation (Krohn and others, 1981). In Virginia, the

distribution of one plant community, characterized by the dominance of chestnut-oak, coincided with several lithologic types, including a gold-bearing metavolcanic unit (ME, fig. 1; Milton and Krohn, 1982). In North Carolina, the same community was associated with hydrothermally altered, potentially mineralized andesites, and with topographically high felsite ridges, also potentially mineralized (R.G. Schmidt and M.H. Koslow, written communication). Thematic Mapper data of Virginia were used to separate three different coniferous communities (Krohn and Milton, 1983) by using spectral differences in TM band 4 (fig. 2).

High-resolution data from the Mark IV spectroradiometer have been used to delineate mineralized zones through the effect of heavy metals on spectral reflectance of plants in the chlorophyll absorption region centered near 680 nanometers. Such an effect has also been observed by Power and others (in press) and Milton and others (in press) in greenhouse-grown and metal-stressed plants (fig. 3). The presence of heavy metals in the leaves of canopy trees growing over mineralized zones has been reported for many areas of the world (Brooks, 1983). At Pilot Mountain, Randolph County, North Carolina, the spectral shift seen in airborne data was closely associated with the presence of anomalous metals in soils and leaves of canopy trees (Milton and others, 1983).

Two other high-resolution instruments, SMIRR and AIS, have been used to demonstrate the use of high-resolution infrared data for identification of clay minerals and for separation of plant communities based on their water content, respectively. Spectra of plant communities in Virginia were extracted from SMIRR data, but the difficulties of instrument calibration, identification of the precise geographic position of the measurement on the ground, and the experimental nature of the instrument make these data essentially unavailable for geobotanical work. The application of AIS data to geobotany depends upon better availability of the data, but its potential is especially promising. Preliminary results from a test site in southwest Oregon have shown a correspondence between AIS and ground spectral data for detecting

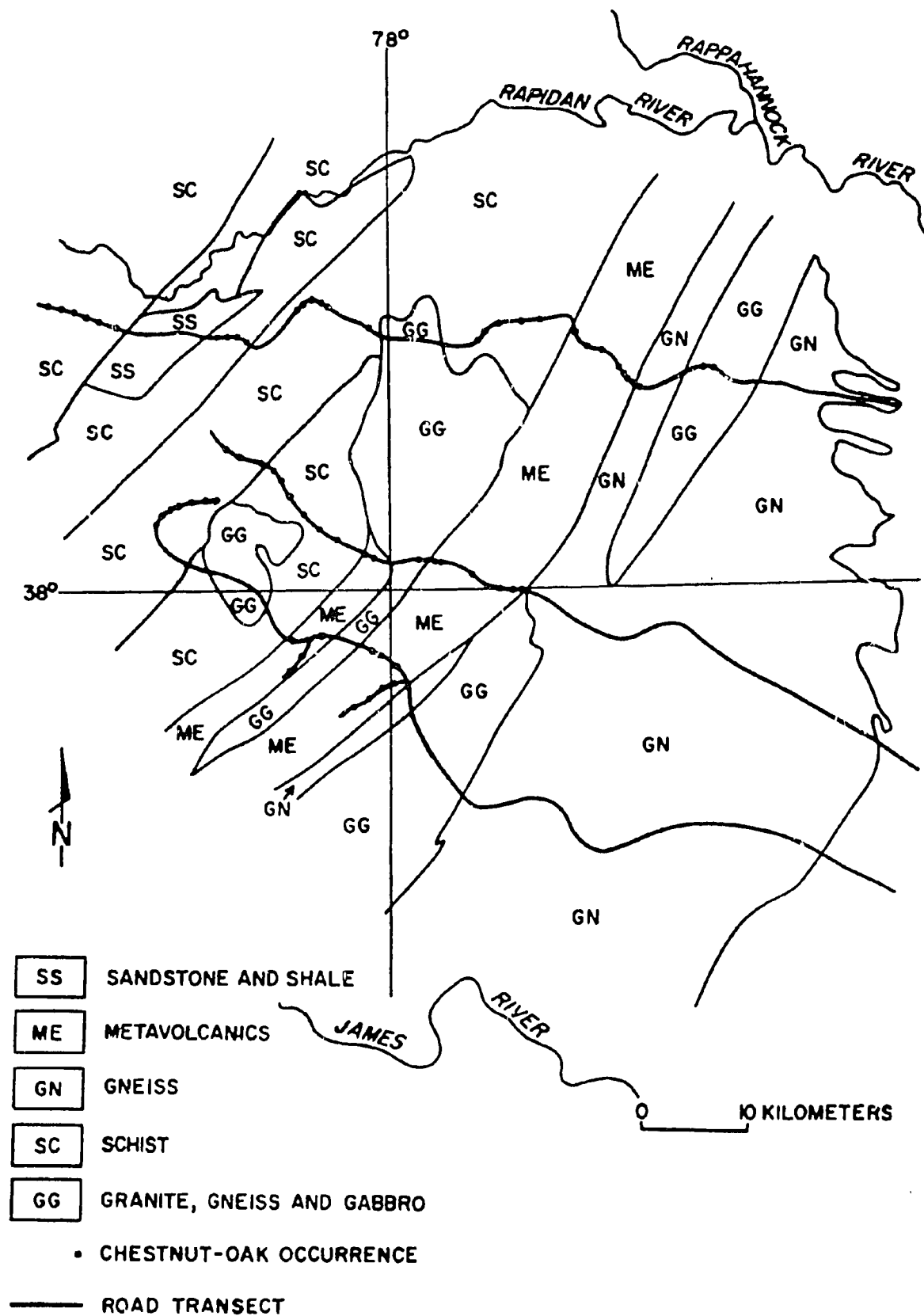


Figure 1. Occurrence of chestnut-oak with respect to lithologic types on transects across the Virginia Piedmont (from Milton and Krohn, 1982).

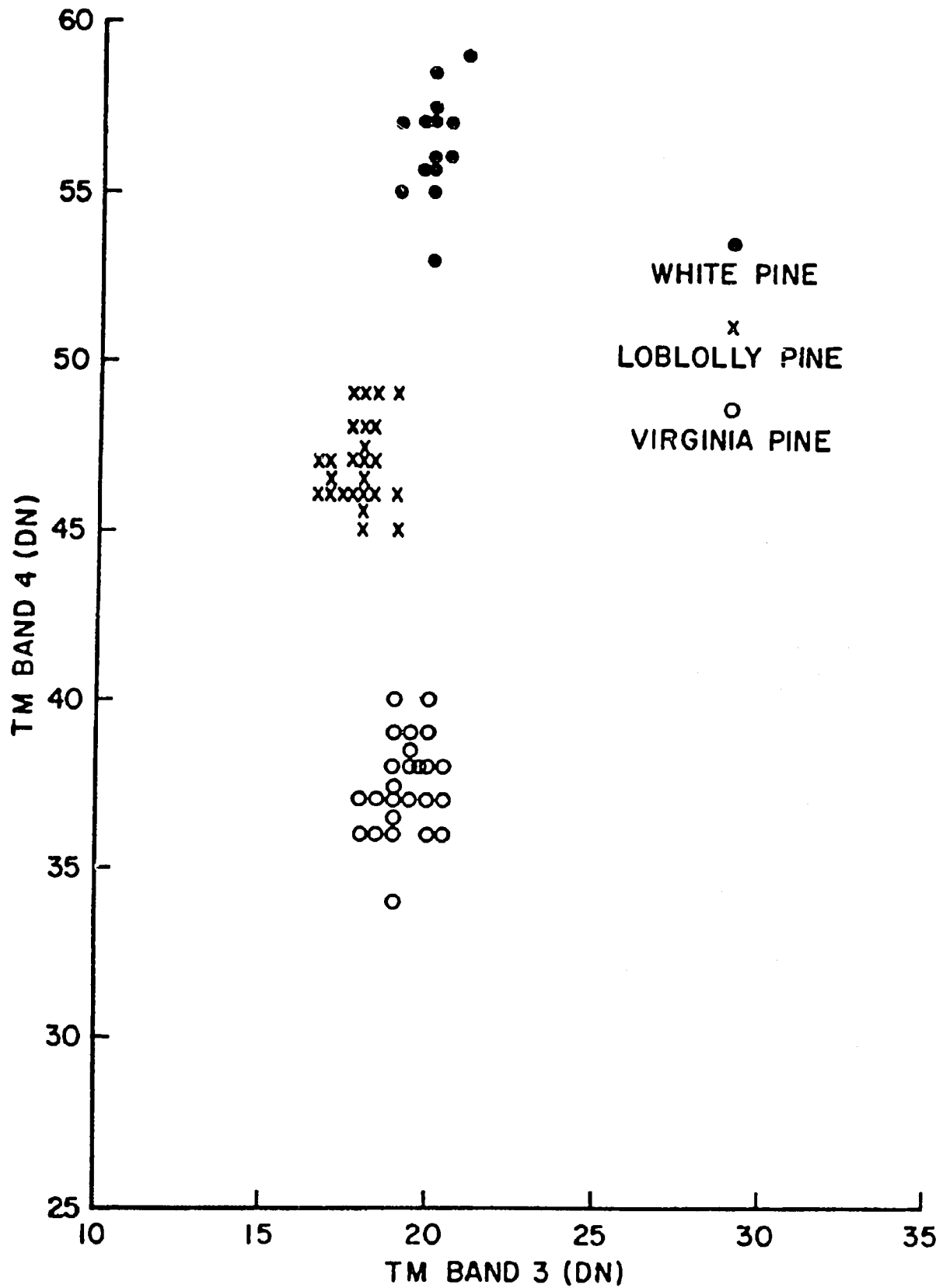


Figure 2. Scatter plots of three coniferous forest types from Landsat-4 Thematic Mapper data (from fig. 3 in Krohn and Milton, 1983).

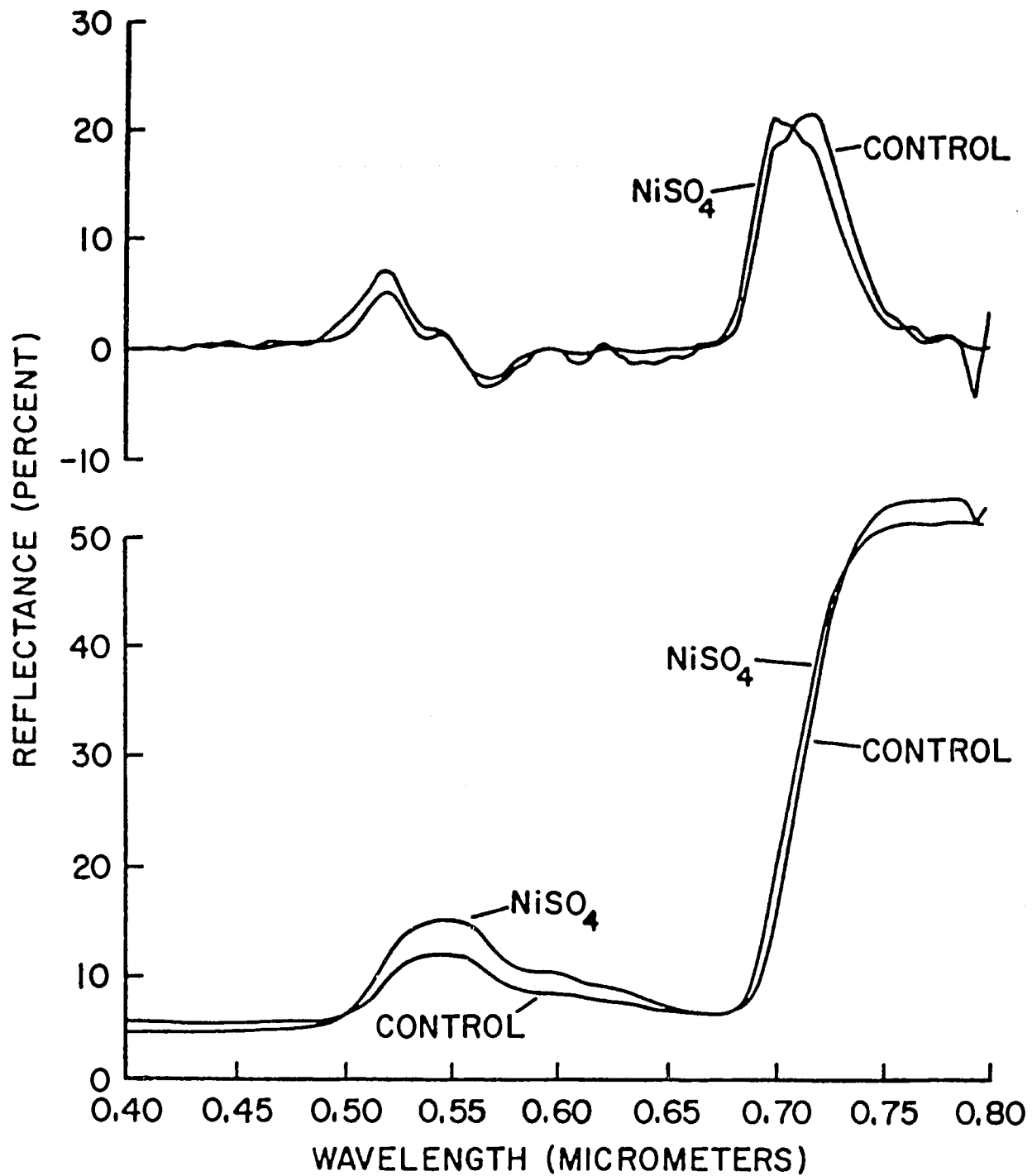


Figure 3. Change in reflectance near 700 nanometers in heavy-metal-stressed greenhouse-grown plants (from Power and others, in press).

vegetation types and vegetation-defined rock types (Mouat, written communication).

References cited

- Brooks, R.R., 1983, Biological methods for prospecting for minerals: New York, John Wiley and Sons, 322 p.
- Collins, William, Chang, S.-H., Raines, Gary, Canney, Frank, and Ashley, Roger, 1983, Airborne biogeophysical mapping of hidden mineral deposits: *Economic Geology*, v. 78, no. 4, p. 737-749.
- Krohn, M.D., and Milton, N.M., 1983, Geobotanical potential of Landsat-4 Thematic Mapper Spectral bands: American Congress of Surveying and Mapping - American Society of Photogrammetry, Fall Convention, Falls Church, Virginia, Proceedings, p. 675-684.
- Krohn, M.D., Milton, N.M., Segal, Donald, and England, Anthony, 1981, Discrimination of a chestnut-oak forest unit for geologic mapping by means of a principal-component enhancement of Landsat multi-spectral scanner data: *Geophysical Research Letters*, v. 8, no. 2, p. 151-154.
- Milton, N.M., and Krohn, M.D., 1982, Chestnut-oak (*Quercus prinus* L.) distribution in the Virginia Piedmont as an aid to geologic mapping [abs.]: *Virginia Journal of Science*, v. 33, no. 3, p. 128.
- Milton, N.M., Collins, William, Chang, S.-H., and Schmidt, R.G., 1983, Remote detection of metal anomalies of Pilot Mountain, Randolph County, North Carolina: *Economic Geology*, v. 78, no. 4, p. 605-617.
- Milton, N.M., Power, M.S., Ager, C.M., and Purdy, T.L., in press, The use of high-resolution spectral-reflectance data for geobotanical mineral exploration: International Symposium on Remote Sensing of Environment, Fourth Thematic Conference, San Francisco, California, Proceedings.
- Power, M.S., Milton, N.M., and Ager, C.M., in press, Greenhouse and field experiments on the effects of heavy metals on spectral reflectance of plants: American Institute of Biological Sciences Annual Meeting, Ft. Collins, Colorado, Proceedings.

TECNICAS GEOBOTANICAS ACTUALES DE PERCEPCION A DISTANCIA PARA REGIONES HUMEDAS

Por Nancy Milton

En las regiones húmedas del mundo, los lechos de roca y los suelos están frecuentemente ocultos por capas de cubierta forestal, subcubierta, cubiertas subterráneas y desechos de hojas. Se ha desarrollado una gran variedad de técnicas geobotánicas para ayudar en el mapeo geológico y la exploración mineral en esas áreas. Estas técnicas de crecimiento en ambientes regidos por sustratos. La información teórica proveniente de la ecología de plantas, la fitogeografía, la fisiología de plantas, la bioquímica y la biofísica se utilizan para predecir los cambios en la vegetación de plantas, la fitogeografía de plantas, la bioquímica y la biofísica se utilizan para predecir los cambios en la vegetación con respecto al sustrato, o bien las observaciones empíricas se usan, con conocimiento previo de las condiciones "normales" de una área dada para detectar las diferencias de sustrato mediante las variaciones anómalas de la vegetación.

Las técnicas geobotánicas actuales se pueden catalogar de acuerdo con el tamaño del área que se investiga y la escala de la imagen de la percepción a distancia. Las posibles aplicaciones geológicas dependerán de la escala que se utilice. Los datos de baja resolución comprenden las imágenes obtenidas con el Landsat Multispectral Scanner (MSS) y el Thematic Mapper (TM); estos dos tipos de imágenes son apropiados generalmente para aplicaciones de mapeo geológico regional. Los datos de alta resolución espectral se pueden obtener con el Shuttle Multispectral Infrared Radiometer (SMIRR) (Radiómetro Infrarrojo Multiespectral) y varios instrumentos de aeronaves, incluso en espectroradiómetro Marca IV, desarrollado por Collins y otros (1983), y el Airborne Imaging Spectrometer (AIS). Los datos de alta resolución se utilizan para la exploración mineral por medio de la medición de cambios del espectro en la vegetación afín a los depósitos minerales, o bien los datos se emplean para detectar los cambios en las comunidades de plantas que se manifiestan en la parte cerca del infrarrojo del espectro electromagnético.

En el Servicio Geológico de los Estados Unidos, se

utilizan los datos de reflectancia de baja y alta resolución para exploración mineral y mapeo geológico. Datos del Landsat MSS y el TM se han empleado para identificar comunidades de plantas relacionadas con litologías específicas en la provincia Piedmont en Virginia y Carolina del Norte. Previo al análisis, los datos se abonaron con el uso de una transformación principal de componentes (Krohn y otros, 1981). En Virginia, la distribución de una comunidad de plantas, caracterizada por la predominancia de castaños y robles, coinciden con varios tipos litológicos, incluso un cuerpo petavolcánico portador de oro (ME, fig. 1; Milton y Krohn, 1982). En Carolina del Norte, la misma comunidad litológica estaba asociada con andesitas hidrotérmicamente alteradas y posiblemente mineralizadas, y con serranías de felsita, también potencialmente mineralizadas (R.G. Schmidt y M.H. Koslow, comunicación escrita). Los datos obtenidos con el Thematic Mapper en Virginia se emplearon para separar tres diferentes comunidades de coníferas (Krohn y Milton, 1983), mediante las diferencias del aspecto en la banda 4 TM (fig. 2).

Los datos de alta resolución obtenidos con el espectroradiómetro Marca IV se han empleado para delinear zonas mineralizadas por medio de los efectos de metales pesados en la reflectancia espectral de plantas en la región de absorción de la clorofila centrada cerca de los 680 nanómetros. Tales efectos también han sido observados por Powers y otros (en impresión) y Milton y otros (en impresión) en plantas que crecen en invernaderos y sujetas a esfuerzos de metales (fig. 3). La presencia de metales pesados en las hojas de los árboles que cubren zonas mineralizadas han sido señaladas en muchas partes del mundo (Brooks, 1984). En la Montana Pilot, condado de Randolph en Carolina del Norte, el corrimiento espectral advertido en los datos aéreos tenía relación directa con la presencia de metales anómalos en los suelos y hojas de los árboles de cubierta (Milton y otros, 1983).

Otros dos instrumentos de alto resolución, el SMIRR y el AIS, se han empleado para demostrar el uso

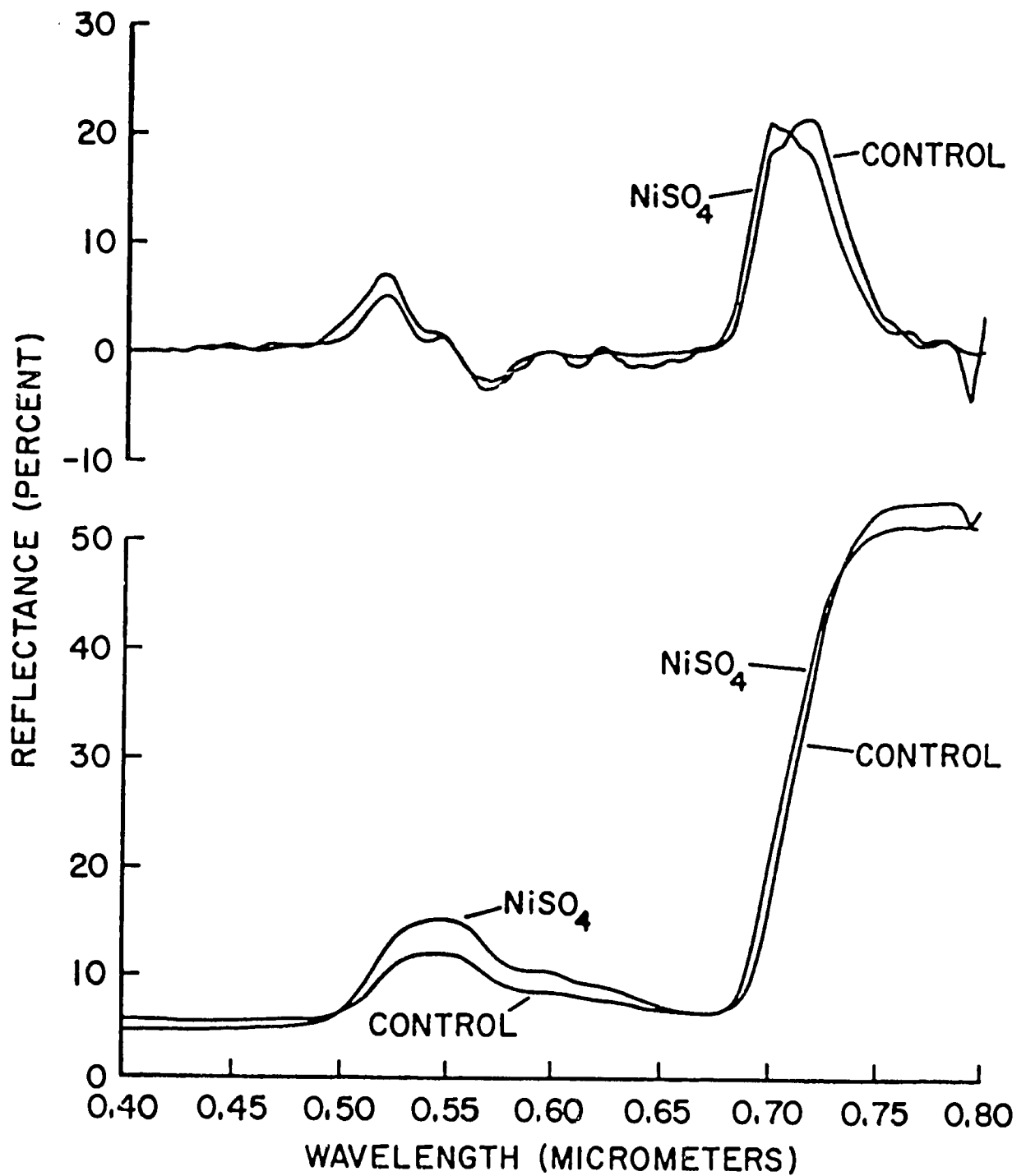


Figura 3. Cambios de reflectancia cerca de 700 nanómetros en plantas de invernadero con metales pesados (de Power otros, en impresión).

de los datos infrarrojos de alto resolución para la identificación de minerales de arcilla y para la separación de comunidades de plantas con base en su contenido de agua, respectivamente. Los espectros de comunidades de plantas en Virginia se obtuvieron de los datos del SMIRR. Sin embargo, estos datos no están disponibles esencialmente para trabajos geobotánicos debido a las dificultades de calibración del instrumento, la identificación de la posición geográfica exacta de la medición en el punto terrestre, y la naturaleza experimental del instrumento. La aplicación de los datos del AIS a la geobotánica depende una mejor disponibilidad de los datos, pero sus posibilidades son muy prometedoras. Los resultados preliminares obtenidos de un sitio de prueba en Oregon Sur indican una correspondencia entre los datos AIS y los datos terrestres para detectar tipos de vegetación y tipos de roca de vegetación definida (Mouat, comunicación escrita).

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Brooks, S.R., 1983, Métodos biológicos para la prospección de minerales: Nueva York, John Wiley e hijos, p. 322.
- Collins, William, Chang, S.-H., Raines, Gary, Canney, Frank, and Ashley, Roger 1983, Mapeo biogeofísico aéreo transportado de depósitos minerales escondidos: *Geología Económica*, t. 78, no. 4, p. 737-749.
- Krohn, M.D., y Milton, N.M., 1983, Potencial Geobotánico de Landsat-4 de bandas espectrales de "Thematic Mapper": el Congreso Americano de Fotogrametría, Falls Church, Virginia, Procedimientos, p. 675-684.
- Krohn, M.D. Milton, N.M. Segal, Donald, and England, Anthony, 1981, Discriminación de un bosque de árboles de castaños y robles para mapeo por medio de un componente principal de Landsat de realce multi-espectral explorador: *Cartas de investigación geofísica*, t. 8, no. 2, p. 151-154.
- Milton, N.M., and Krohn, M.D., 1982, Distribución del Chestnut-Oak (*Quercus prinus* L.) en las tierras bajas de Virginia como ayuda en el mapeo geológico (resumen): *Revista de Ciencias de Virginia*, v. 33, no. 3, p. 128.
- Milton, N.M., Collins, William, Chang, S.H., and Schmidt, R. G., 1983, Detección remota de anomalías de metales de Pilot Mountain, Randolph County, North Carolina: *Geología Económica*, v. 78, no. 4, p. 605-617.
- Milton, N.M., Power, M.S., Ager, C.M., and Purdy, T.L., 1985, El uso de información espectral-reflectora de alta resolución para exploración mineral geobotánica [resumen]: *Symposio Internacional de Sensores Remotos del Ambiente*, Cuarta Conferencia Temática, San Francisco, California, Procedimientos.
- Power, M.S., Milton, N.M., and Ager, C.M., 1985, Experimentos en el campo sobre los efectos de metales pesados en la reflexión espectral de plantas [resumen]: *en* Instituto Americano de Ciencias Biológicas, Conferencia Anual, Ft. Collins, Colorado, Procedimientos.

DISCUSSION GROUP 1: THE ROLE OF GEOLOGIC FRAMEWORK STUDIES IN A NATIONAL EARTH-SCIENCE PROGRAM

A geologic framework is a necessary and valuable tool that, based on careful and detailed geologic mapping, provides the foundation for natural resources assessment, regional, mineral, and energy investigations, and geologic hazard-prevention programs. The lack of geologic mapping has resulted in the inhibition of mining exploration activities and geological input to development programs.

In this region, the lack of an adequate geologic framework can lead to structure failure, incorrect and incomplete analysis on which base-planning for mineral and energy resources and geologic hazard programs have been developed, hence bringing about economic losses and reducing the effectiveness of development programs.

All earth-science disciplines use critical data provided by a geologic framework. This information is needed in order to plan, evaluate, and develop a given project if results and objectives are to give rise to maximum economic gains (see flow chart, fig. 1).

Geologic framework studies produce indirect benefits when correctly applied by other disciplines. Basic geologic mapping directly produces basic impact when mineral or energy resources are discovered.

An effective geologic framework consists of geological, geochemical, and geophysical data bases.

Recommendations

1. Create geological mapping programs at a regional scale of 1:2,000,000; compilation on a country basis of 1:250,000, using a field working scale of 1:50,000.
2. Coordinate with the Interamerican Geodetic Survey (IAGS), gravity and magnetic data and put this information in a regional context.
3. Each country should find the means of centralizing all geophysical data and use these data at whatever scale is appropriate for regional, local, or project needs.
4. Map, as a priority, mineralized areas that are associated with particular rock types, especially those

that may contain quantities of precious metals, sufficient for economic return.

5. Produce derivative maps that may be used for geological and nongeological uses, such as:
 - a) Metallogenic provinces; for example, gold and platinum placer deposits
 - b) Energy-minerals resource evaluation
 - c) Hydrological maps for ground-water quantity and quality, particularly contamination
 - d) Areas of aquifer recharge
 - e) Urban planning for future urban growth and development; land-use maps and their social and economic impact
 - f) Areas of geological hazards, including landslides, erosion, reservoir siltation, and others
 - g) Maps for flood control
 - h) Maps showing sources of fertilizers, soil amendments, construction materials, and geobotanical data
6. Establish priorities for mapping areas, based on:
 - a) Evaluation of precious and strategic metal prospects
 - b) Energy sources for local as well as for regional use
 - c) Hydrological basin assessments
 - d) Severe geological risks
 - e) Agricultural needs for fertilizers, such as phosphate rock, dolomite, zeolites, and sulfur.
7. Develop, as appropriate for each country's priority, a geological mapping program, as a basic tool for energy and mineral-exploration programs
8. Designate an appropriate local agency to be the center for collection and preservation of geological data to be used by all governmental agencies in their development programs
9. Coordinate this basic geologic-mapping program with resources-exploration and hazard-mitigation programs, both local and regional
10. Stimulate the appropriate Central American Governmental agencies to aid ICAITI as the regional center for science and technology

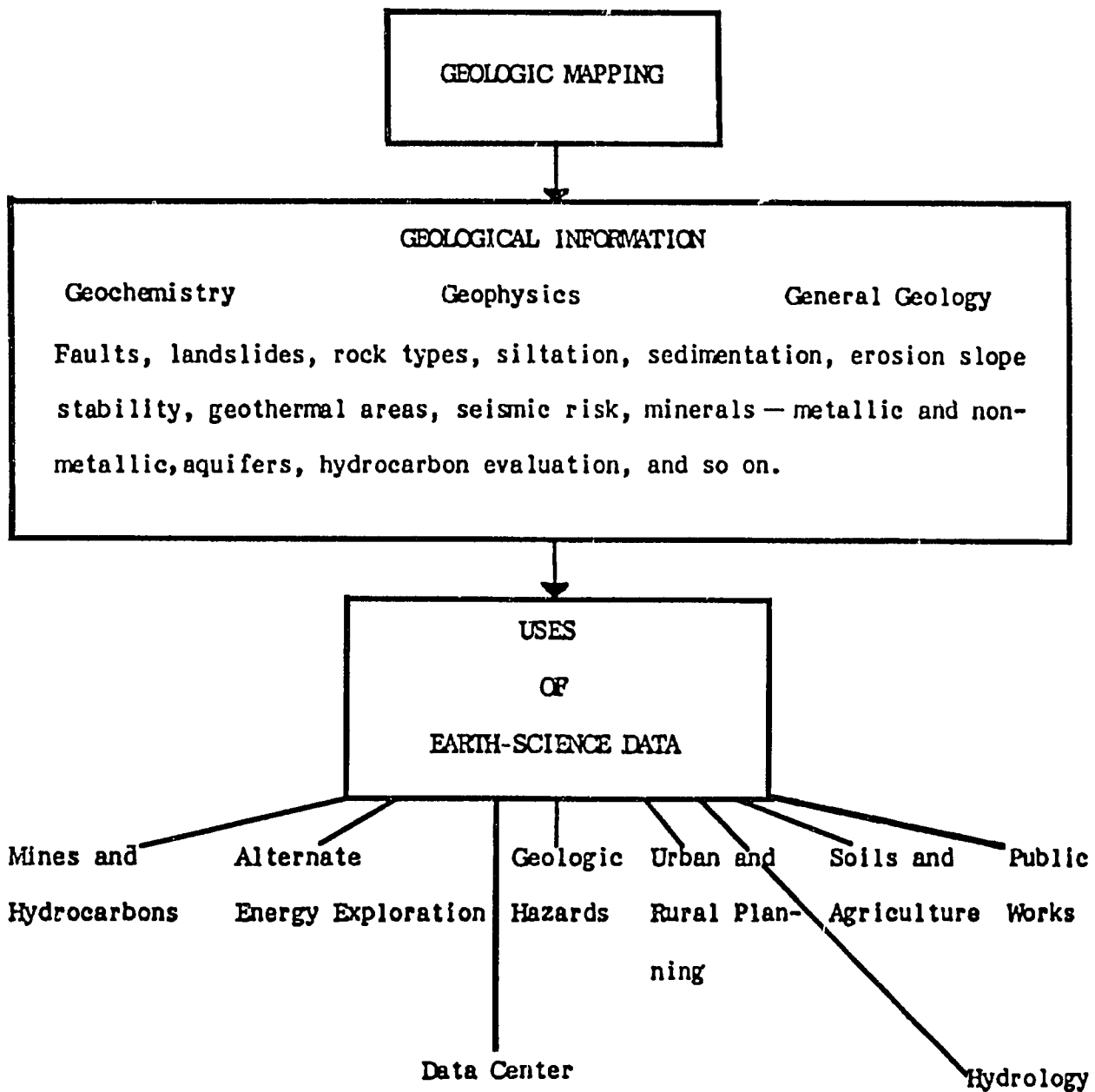


Figure 1. Flow chart of a national earth-science program.

GRUPO DE DISCUSION 1: EL PAPEL QUE DESEMPEÑAN LOS ESTUDIOS DE ESTRUCTURA GEOLOGICA EN UN PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

La determinación de la estructura geológica es un instrumento valioso y necesario que, con base en un mapeo geológico cuidadoso y detallado, proporcione las bases para programas de evaluación de recursos naturales, de investigaciones regionales de minerales y energéticos, y de prevención de peligros de origen geológico. Por consiguiente, la falta de mapas geológicos ha redundado en la inhibición de las actividades de exploración minera y del aporte geológico a los programas de desarrollo.

En este campo, la falta de una estructura geológica adecuada puede conducir a análisis incompletos e incorrectos con base en los cuales se han elaborado programas de planeamiento de recursos minerales, energéticos y de peligros de origen geológico. Esto entraña, por lo tanto, pérdidas económicas y reduce la eficacia de los programas.

Todas las disciplinas de las ciencias de la tierra utilizan los datos críticos que se obtienen de un perfil geológico. Esta información se necesita para planear, evaluar y elaborar un proyecto, si los resultados y objetivos han de redundar en beneficios económicos máximos (diagrama de flujo, fig. 1).

Los estudios de estructuras geológicas rinden beneficios indirectos cuando otras disciplinas los utilizan correctamente. El mapeo geológico básico redundará en efectos económicos favorables al descubrirse recursos minerales y energéticos.

Una estructura geológica eficaz consiste en un banco de datos geofísicos, geoquímicos y geológicos.

Recomendaciones

1. Establecer programas de mapeo geológico a una escala regional de 1:2.000.000; una compilación a nivel de país a escala de 1:250.000, y utilizando una escala de trabajo de campo de 1:50.000.
2. Coordinar con el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS), los datos geofísicos, magnéticos y gravitacionales, y compilar esta información en un contexto regional.

3. Cada país debe encontrar los medios para centralizar todos los datos geofísicos y utilizar estos datos en cualquier escala que sea apropiada para las necesidades locales, regionales o del proyecto.
4. Hay que cartografiar, como prioridad, las áreas mineralizadas que están asociadas con tipos de roca particulares, especialmente los que pudieran contener cantidades de metales preciosos que sean suficientes para obtener un beneficio económico.
5. Elaborar mapas derivados que puedan emplearse para usos geológicos y no geológicos, a saber:
 - a) Provincias metalogénicas: por ejemplo, placeres (minería de lavado) de oro y platino
 - b) Evaluación de los recursos minerales energéticos
 - c) Preparación de mapas hidrológicos de las cantidades y la calidad de las aguas subterráneas, especialmente contaminación
 - d) Áreas de recarga de acuíferos
 - e) Planeamiento urbano sobre el crecimiento y desarrollo urbanos en lo futuro. Mapas de uso de la tierra y sus efectos económicos y sociales
 - f) Áreas de peligros de origen geológico, inclusive derrumbes, erosión, azolvamiento de embalses y otras
 - g) Mapas de control de inundaciones
 - h) Mapas que muestren fuentes de fertilizantes, enmiendas de suelos, materiales de construcción y datos geobotánicos.
6. Establecer prioridades para áreas de mapeo, con base en:
 - a) La evaluación de perspectivas de búsqueda de metales preciosos y estratégicos
 - b) Las fuentes de energía para usos regionales y locales
 - c) La evaluación de las cuencas hidrológicas
 - d) Los peligros graves de origen geológico
 - e) Las necesidades agrícolas de fertilizantes, tales

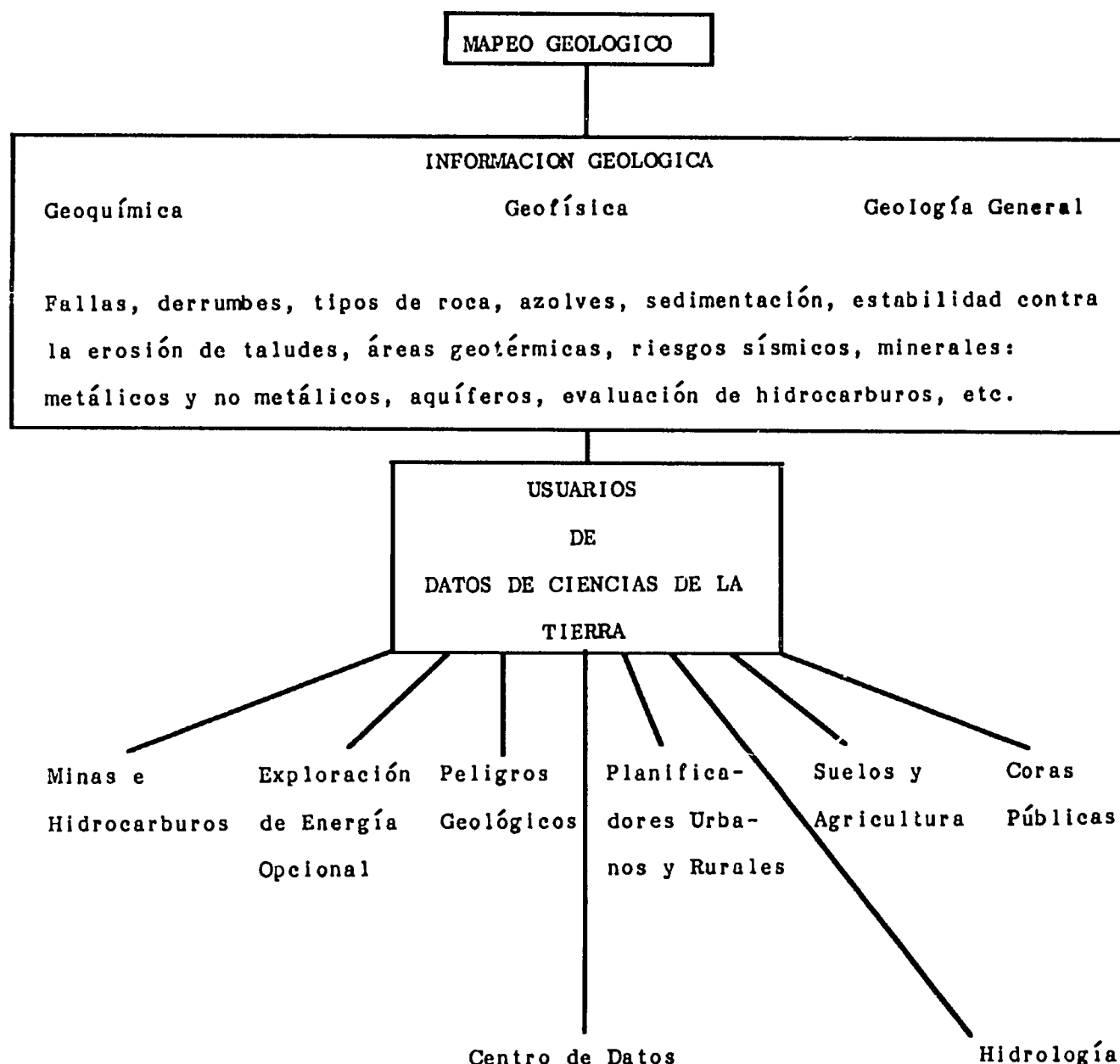


Figura 1. Diagrama de flujo de un programa nacional de geociencias.

- como rocas de fosfatos, dolomitas, zeolitas, azufre, etc.
7. Formular, según la prioridad pertinente de cada país, un programa de mapeo geológico, como una herramienta básica para programas de exploración minera y energética
8. Designar a una organización local apropiada para que sea el centro de compilación y preservación de datos geológicos que han de ser utilizados por todas las instituciones gubernamentales en sus programas de desarrollo
9. Coordinar este programa básico de mapeo geológico con programas de exploración de recursos y de mitigación de peligros de índole geológica, tanto locales como regionales
10. Estimular a las instituciones apropiadas de los gobiernos de América Central a que ayuden al ICAITI como el centro regional de ciencia y tecnología

DISCUSSION GROUP 2: GEOLOGIC HAZARDS

1. Given the high level of vulnerability, what disaster preparedness actions have been taken to prevent or mitigate the damaging consequences of earthquakes, volcanic eruptions, and landslides?

- state of application of sciences and engineering.
- gathering and analyzing disaster data relative to such things as prediction and warning assessment, structural stability, and land-use.
- development of national disaster plans and organizations.
- organization and training of local disaster units.
- creation of disaster stockpiles of essential supplies, equipment, and systems for their distribution.
- prearranging systems and methods for coordinating internal and international disaster relief.
- the conduct of hazard and vulnerability analysis.

In reference to disaster preparedness actions regarding mitigation of geological hazards, almost nothing has been done apart from preparation for civil defense or national emergency disasters.

Organizations. These have been assigned the responsibility of responding to geologic disasters, but very little planning has been done concerning gathering disaster data relative to prediction of events, structural stability, land use; that is, for mitigation of effects. Very little exists also in the way of planning for disaster relief, coordination of internal and international disaster responses, organization and training of local disaster units, planning of parallel or backup systems for drinking water, power, communications, sewage disposal, transportation, and medical facilities. No hazard- or vulnerability-analysis studies have been made, and not even general economic studies have been made in any of the countries of Central America.

2. Determine areas of each country that are seismically and volcanologically active; determine if sufficient information exists to assign levels of risk to each area? What levels of disaster risk are acceptable and who should define them?

The entire Pacific coast of Central America from the Mexican border to Panama is highly active seismically, more active than most other parts of the world. This belt of high activity includes the entire Pacific coastal plain and

the volcanic chain and extends a couple of tens of kilometers farther inland. Additional areas of high activity include the Chixoy and Motagua faults that cut Guatemala and the area of the Colombia border with Panama. The rest of Central America is considerably less active seismically, yet it still should be considered an area of some seismic risk. The chain of active volcanoes which runs the length of Central America near the Pacific coast contains about 80 Quaternary volcanoes, some six or seven of which are currently erupting.

National geoscience entities in each country, if necessary in consultation with international geoscience agencies, should define acceptable levels of disaster risk.

3. Determine recurrence periods and locations for major earthquakes, volcanic eruptions, and locations of potential landslides.

Rough estimates of the expected recurrence intervals of shallow earthquakes (less than 15 km deep) of magnitude 6.0 to a maximum 6.5 along the active volcanic chain range from 30 to 80 years, varying both with time and with particular sites.

For the subduction zone, the recurrence interval of earthquakes of magnitude 7.5 to a maximum of 8.1 ranges from 40 to 150 years, varying along the coast and probably with time. For the zone of strike-slip faults that cross Guatemala, the Motagua and Chixoy-Polochic fault zones, the recurrence interval for earthquakes of magnitude 7.0–7.6, is somewhat longer, probably 200–500 years.

For the rest of Central America, in particular in that area on the Atlantic side of the volcanic arc, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, and Panama, return times appear to be longer, probably from 100 to more than 700 years for earthquakes of maximum magnitudes from 5 to 7. Volcanic eruptions are variable in magnitude and period of recurrence. Several Central American volcanoes are in relatively mild eruption as we write this report. Larger magnitude and potentially very destructive eruptions are sure to occur in future years. Studies of many volcanoes at many localities worldwide indicate that, in general, the longer the period of quiescence, the more violent the initiation of future eruptive activity.

This comment generally may be applied to volcanoes of Central America, but detailed studies of specific

volcanoes are needed to document the past history of eruption as a basis for evaluation of the possible character, timing, and magnitude of future eruptions. Studies of this sort are virtually nonexistent at this time.

Landslides, sometimes extremely large, depend on conditions of the terrain and on meteorological and volcanological factors.

4. What are the current techniques and capabilities for monitoring and mitigating natural hazards in Central America?

Panama: The Institute of Geosciences of the University of Panama employs two B.S.-level physicists and one B.S.-level geologist. They operate the six-component World-Wide Seismic Station Network (WWSSN) Station. They also own three portable stations, including one telemetered station, not yet installed. They had been planning a small network near the Panama Costa Rica border, before AID funds were cut off. They also have three strong-motion accelerographs (not installed); there is no Panamanian volcanology program.

The seismic hazard is greatest near the Colombian border, and at the Costa Rican border where the Panama fracture zone is being subducted. Several magnitude-8 earthquakes have occurred along this zone during this century. Hydroelectric projects, the trans-isthmus petroleum pipeline, and other developments in the area are at considerable risk, and the Panamanian Government wishes to expand its seismic-hazard monitoring program to study the region. Any such effort must be cooperative, and work closely with Costa Rica as one major seismic-hazard area, the Panama fracture zone, straddles the border.

The one geologically recent volcano in Panama, Baru, should be mapped and its eruptive products dated.

Costa Rica: The National University of Costa Rica has installed 11 seismic stations and is about to install one more. By means of funding through AID, they had originally planned to install 23 stations. This was later reduced to 18. The Costa Rican power company (ICE) has installed eight seismic stations, but the National University has not been able to obtain this data, and so, cannot analyze it.

The University also owns eight portable seismometers which are always ready to go to the field in the event of an earthquake or volcanic eruption.

The National University publishes a monthly seismic bulletin and a semi-annual volcanological bulletin. A strong-motion program is being carried out by the engineering department of the University of Costa Rica. Objectives of the seismic program are to indicate seismic hazard zonation and to improve building codes.

Volcano monitoring is carried out by the National

University including monthly electronic and dry-tilt, radon-gas-emission, and seismic measurements.

The National University of Costa Rica employs one B.S.-level seismologist and one about to receive a Ph.D. in seismology. In volcanology there are also two B.S.-level experienced volcanologists and one about to receive a Ph.D.

No actual landslide program exists, nor is risk analysis done for seismic, volcanic, or landslide hazards.

El Salvador: The Center for Geotechnical Investigations (CIG) is the only organization studying geologic hazards in El Salvador. All information collected is sent to the Committee of Emergency Preparedness. An annual seismology bulletin is published by CIG.

CIG has two B.S.-level engineering seismologists, two B.S.-level seismologists, and one B.S.-level equipment specialist.

CIG owns 17 telemetered seismic stations of which 11 have been installed. CIG also maintains four on-site recording stations including a six-component WWSSN station.

CIG plans to install one station on each of the five largest Quaternary volcanoes in El Salvador.

CIG owns 29 strong-motion accelerographs of which 13 have been installed. Other agencies maintain six accelerographs, but send CIG the records for analysis. CIG owns 25 seismometers of which 19 are installed.

CIG carries out some soil dynamics studies, but needs assistance in this work.

Currently the CIG has no volcanology program nor does it employ a volcanologist.

In landslide studies, CIG receives some help from two geologists with the Department of Mines, but they are available only part time.

Because AID funding is ending, CIG feels that it will need help with the acquisition of spare parts, technical assistance, and additional formal training especially in hazard analysis.

Honduras: The National University of Honduras employs two Ph.D.-level geophysicists and operates one or two seismographs intermittently.

The Honduran power company owns some accelerographs, but data collected are not available for analysis outside the company. There is currently no Honduran Government seismology program although Honduras is interested in beginning a program, possibly with a permanent station installed near microwave repeaters or possibly with a portable network. Several large faults have been recognized recently.

No volcanology program exists in Honduras although there are several Quaternary volcanoes, including that on Amapola Island.

Landslide studies are not being carried out, even

though Honduras has some serious problems with landslides.

As of now, no mechanism exists that would force construction engineers to make preliminary studies to take geologic hazards into consideration. Therefore, little forethought is given by them to geologic concerns.

Guatemala: The National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology and Hydrology (INSIVUMEH) employs two B.S.-level engineers with graduate studies, two B.S.-level seismologists and one B.S.-level physicist with graduate studies in volcanology.

INSIVUMEH owns three strong-motion stations (three components each) and 33 seismic stations of which 24 are operating.

INSIVUMEH regularly publishes seismicity catalogs, but they are just beginning to formulate preliminary seismic-hazard analyses through an AID-funded project with USGS. Because this program is being cut off after the first phase, INSIVUMEH will have great difficulty finishing the proposed seismic-hazard analysis, and it foresees difficulty in obtaining spare parts, maintaining the network, and acquiring technical training.

Although INSIVUMEH has just employed a volcanologist, no volcanic-hazard program yet exists. INSIVUMEH had hoped to obtain AID's assistance in setting up a volcano-monitoring program (seismic, tilt, electronic, and gas-emission stations) at each of the three active volcanoes. A seismic station already exists on each of these volcanoes.

No landslide program now exists in Guatemala although there is a very serious mudflow problem at El Palmar that has inundated an area that has 40,000 inhabitants.

Belize: There is no interest in either volcanology or landslide studies in Belize. There are no volcanoes and landslides are confined to a few road cuts.

Belize is interested in obtaining two seismographs to function as onsite recorders in the north and south of Belize. The objective is to monitor levels of seismic activity on the Chixoy and de Chana faults which extend into southern Belize from Guatemala. These seismographs would be maintained by the Department of Meteorology. The Government of Belize employs one M.S.-level geophysicist responsible for seismic interpretation.

General Recommendations

a) It should be stressed that AID-funded cooperative seismic-risk programs have begun between the USGS, Guatemala, El Salvador, and Panama. Another AID-funded cooperative seismic-risk program already exists between the University of California, Santa Cruz, and Costa Rica. In each of these programs, seismic networks have been installed or renovated, basic-data collection has begun, seismicity catalogs have been pub-

lished, and historical earthquake damage has been recorded.

We recommend that these existing cooperative programs continue to be funded, through AID or other sources, in order to achieve the long-range goal (about 5 years) of producing national seismic-hazard and microzonation maps and seismic-risk analyses.

We recommend that seismic networks be funded in Panama and Honduras also, although possibly on a slightly smaller scale, for the same purposes.

b) We recommend the initiation of volcanology studies in Guatemala, El Salvador, and Panama.

As a first step, we recommend that mapping of the eruptive products of volcanoes be initiated. This mapping is also valuable for geothermal exploration and landslide studies.

As a second step, a telemetered seismic station should be installed on each active or potentially active volcano that does not already have such an installation.

Eventually, gas-emission measurements should be undertaken as well as tilt measurements on the most active volcanoes.

c) We recommend that within each country, a single organization carry out national geologic-hazards studies. This organization should seek official mandate from its government as the sole repository or archive for all seismic and (or) volcanic and (or) landslide data. This needs to be done to end internal conflicts and to encourage cooperation concerning the exchange and analysis of data.

d) We recommend that a meeting of seismic observatory or seismic service directors from each country be convened possibly with the assistance of the USGS. The purpose of the meeting will be to encourage regional cooperation in seismic studies and the exchange of raw data.

We recommend discussions on standardization of seismograph equipment throughout the region.

We recommend that national seismic services acquire compatible personal computers for analyses. With such systems, raw data may be transmitted cheaply and quickly between countries.

We recommend that a regional seismic and volcanological data bank be created.

We also recommend that directors in each country give serious consideration to forming a regional organization of cooperating seismic observatories, similar to CERESIS, the organization of cooperating seismic observatories in South America, or perhaps even joining CERESIS itself. Economically this makes good sense as pooling of professional seismologic, volcanologic, geologic and technical expertise would be possible.

We further recommend that all known faults and

volcanoes be compiled onto maps at 1:50,000 or 1:100,000 for all of Central America and Panama.

e) We recommend that a search be made for funding sources for Ph.D.- and Masters-level training for seismologists, volcanologists, engineering seismology, engineering geology, and soils engineering. We also rec-

ommend that a search be made for funding sources to train instrument specialists and to fund some level of international scientific exchange among professionals.

f) We recommend that each country conduct at least a general survey and evaluation of potential landslide and mudflow hazards.

GRUPO DE DISCUSION 2: PELIGROS GEOLOGICOS

1. Dado el alto grado de vulnerabilidad, ¿que acciones de preparación se han tomado para prevenir o aminorar las consecuencias de terremotos, erupciones volcánicas, y derrumbes?

- estado de aplicación de las ciencias y la ingeniería.
- recolección y análisis de datos de desastres relativos a aspectos tales como evaluación de pronósticos y alertas, estabilidad estructural, y uso de la tierra.
- desarrollo de organizaciones y planes para enfrentar los desastres nacionales.
- organización y entrenamiento de unidades para enfrentar los desastres locales.
- creación de reservas para desastres consistentes en suministros esenciales equipo y sistemas para su distribución.
- sistemas y métodos preestablecidos para coordinar el socorro internacional e interno para aliviar el desastre.
- la realización de análisis de vulnerabilidad y riesgos.

Con respecto a las acciones preparatorias que se han tomado para aminorar los peligros de origen geológico, casi nada se ha hecho, salvo el organizar la defensa o la emergencia nacionales.

Organizaciones. A estas se les ha asignado la responsabilidad de enfrentar los desastres geológicos, pero se ha efectuado escaso planeamiento pertinente a la recolección de datos de desastre relativos a la predicción de eventos, estabilidad estructural, uso de la tierra, es decir, mitigación de los efectos. Existe muy poco, asimismo, en cuanto respecta a la forma de planear la ayuda para desastres, coordinar la ayuda interna e internacional del desastre, organizar y entrenar unidades locales para afrontar el desastre, planear sistemas paralelos o de reserva de suministro de agua potable, potencia, comunicaciones, alcantarillados, transporte, y medios de reparación.

En ninguno de los países, se han llevado a cabo estudios de análisis de vulnerabilidad y peligros, incluso estudios económicos generales.

2. ¿Que áreas de cada país tienen actividad sísmica y volcánica, y existe suficiente información para adjudicar niveles de riesgo a cada área? ¿Que niveles de peligro de desastre son admisibles y quien debiera definirlos?

Toda la costa del Pacífico de Centroamérica, desde la frontera de México hasta Panamá, exhibe una gran actividad sísmica, más activa que cualquier otra parte del mundo. Esta faja de gran actividad sísmica abarca toda la planicie costera del Pacífico y la cadena volcánica, y se extiende unos veinte kilómetros tierra adentro. Otras razones de gran actividad sísmica comprenden los valles del Chixoy y el Motagua que dividen Guatemala, y la frontera entre Colombia y Panamá. El resto de América Central tiene mucho menos actividad sísmica, pero, aún así, debieran considerarse como zonas de peligros sísmicos. La cadena de volcanes activos que corre a lo largo de toda Centroamérica cerca de la costa de Panamá, comprende 80 volcanes cuaternarios de los cuales seis o siete están actualmente en erupción.

Los niveles admisibles de riesgos de desastre deben ser definidos por los organismos nacionales de cada país. A tal efecto, pudiera ser necesario consultar con organizaciones internacionales.

3. ¿Cuales son los períodos previstos y las ubicaciones de recurrencia de sismos destructores, erupciones volcánicas y derrumbes?

Las estimaciones aproximadas de los posibles tiempos de retorno de sismos de poca profundidad terrestre (menos de 15 km) de magnitud 6.0 a un máximo de 6.5, a lo largo de la cadena volcánica activa, varían entre 30 y 80 años, tanto en función del tiempo como de una ubicación particular.

En la zona de subducción el tiempo de recurrencia de sismos de magnitud de 7.5 a un máximo de 8.1 es de 40–150 años, con variantes a lo largo de la costa y probablemente con respecto al tiempo. En cuanto a las fallas transcorrientes que dividen a Guatemala por la mitad, a saber: las fallas del Motagua y del Chixoy-Polochic, el tiempo de recurrencia de sismos de magnitud 7.0–7.6 máximo, es un tanto mayor, probablemente 200–500 años.

Para el resto de América Central, especialmente la

parte posterior de Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, los períodos de recurrencia parecen ser más largos, probablemente entre 100 y más de 700 años para sismos de magnitudes máximas de 5 a 7. Las erupciones volcánicas varían en magnitud y período de recurrencia. Varios volcanes de Centroamérica estaban en erupciones livianas en el momento de redactar este informe. En los años futuros ocurrirán de seguro erupciones de mayor magnitud y sumamente destructoras. Los estudios de muchos volcanes en varias ubicaciones mundiales indican que, en general, mientras más largo sea el período de inactividad, más violenta es la erupción que ha de ocurrir.

Esta aseveración general puede ser válida para los volcanes de Centroamérica, pero se necesitan estudios en detalle de volcanes específicos para documentar la pasada historia de las erupciones y poder sentar las bases para evaluar el posible carácter, cronograma y magnitud de las erupciones futuras. Actualmente casi no existen estudios de esta índole.

Los aludes, que algunas veces son sumamente grandes, dependen de las condiciones del terreno y de factores meteorológicos y vulcanológicos.

4. ¿Cuales son las técnicas y capacidades presentes para vigilar y aliviar los peligros de origen natural en América Central?

Panamá: El instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá tiene empleados a dos físicos de nivel B.S. y un geólogo de nivel B.S. Ellos manejan la Red de Estaciones Sísmicas Mundiales (WWSSN) (6 componentes). Disponen de tres estaciones portátiles inclusive, aunque todavía sin instalar, una estación de telemedición; han estado planeando instalar una pequeña red cerca del fin de Costa Rica, pero se interrumpieron los fondos proporcionados por AID. Hay 3 acelerógrafos para movimientos fuertes (no instalados), y no existe un programa de vulcanología.

Los riesgos sísmicos son mayores cerca de la frontera con Colombia y la frontera con Costa Rica, en donde la zona fracturada de Panamá se está substrayendo. Varios sismos de magnitud 8 han ocurrido a lo largo de esta frontera durante el presente siglo. Los proyectos hidroeléctricos, el oleoducto transísmico, y otras obras de desarrollo de la región corren un riesgo considerable, por lo cual Panamá desea expandir su programa de vigilancia sísmica para estudiar la región toda. Cualquier esfuerzo de esta índole debe ser cooperativo, y hay que colaborar estrechamente con Costa Rica, ya que el área de peligro se encuentra a ambos lados de la frontera.

El único volcán de Panamá, a saber: el Barú, debe ser cartografiado y debe obtenerse datos de los productos de la erupción.

Costa Rica: la Universidad Nacional ha instalado 11 estaciones sísmicas y está a punto de instalar otra. La

AID tenía planeado instalar, originalmente, 23 estaciones. Pero más tarde el número se redujo a 18. La empresa de fuerza eléctrica ICE ha instalado 8 estaciones sísmicas, pero la Universidad Nacional tiene problemas para obtener los datos para incluirlos en sus análisis.

La Universidad también cuenta con 8 sismógrafos portátiles que siempre están listos para ser llevados al campo en caso de una emergencia, inclusive una emergencia volcánica.

La Universidad Nacional publica un boletín sísmico mensual y un boletín vulcanológico semestral. Un programa de detección sísmica de movimientos fuertes se lleva a cabo por los departamentos de ingeniería de la Universidad de Costa Rica. El propósito del programa sísmico consiste en incluir alguna zonificación de riesgo y mejorar los códigos de construcción.

La vigilancia de actividad volcánica se realiza por medio de la Universidad, e incluye registros electrónicos mensuales, y mediciones de radón, gases y sísmicas.

La Universidad Nacional de Costa Rica cuenta con un sismólogo de grado B.S., y otro que está próximo a obtener el doctorado (PhD). En vulcanología hay dos vulcanólogos de nivel B.S. con experiencia, y otro que está por recibir su doctorado en la materia.

No existe programa alguno sobre aludes o deslizamiento de tierras, ni tampoco se lleva a cabo un análisis de riesgos sísmicos, volcánicos o de derrumbes.

El Salvador: el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) es la única institución que se dedica al estudio de los peligros de origen geológico en El Salvador. Toda la información recabada es enviada al Comité de Preparativos de Emergencia. El CIG publica un boletín sismológico anual.

El CIG tiene dos ingenieros sismólogos a nivel de B.S., dos sismólogos a nivel de B.S. y un especialista en equipo a nivel de B.S.

En cuanto respecta a estudios sismológicos, el CIG cuenta con 17 estaciones sísmicas de telemetría, de las cuales 11 ya están instaladas. El CIG también mantiene 4 estaciones de registro de campo que comprende una Estación Sismográfica Mundial (WWSSN) de 6 componentes.

El CIG tiene previsto instalar 1 estación en cada uno de los cinco volcanes cuaternarios.

El CIG posee 29 acelerógrafos de fuerte movimiento. Entre estos ya han sido instalados 13. Otras instituciones tienen instalados 6 acelerógrafos, pero envían al CIG los registros para su análisis. El CIG posee 25 sismoscopios de los cuales hay 19 instalados.

El CIG lleva a cabo algunos estudios de dinámica de suelos, pero se necesita ayuda en este campo.

Actualmente, no existe ni un programa de vulcanología, ni se cuenta con un vulcanólogo.

En cuanto a estudios de deslizamiento de tierras, el

CIG recibe ayuda de dos geólogos del Departamento de Minas, pero solamente en forma parcial.

El financiamiento de la AID está por terminar. El CIG sustenta la opinión de que necesitará ayuda para la compra de piezas de repuesto, asistencia técnica y entrenamiento extra forma, especialmente en el campo del análisis de riesgos.

Honduras: la Universidad Nacional emplea a 2 geofísicos con grado de Doctorado. La Universidad tiene en funcionamiento esporádico 1 o 2 sismógrafos.

La Empresa Electric posee algunos acelerógrafos, pero los datos no están disponibles. No existe actualmente un programa sismológico, aunque Honduras tiene interés en iniciar un programa, probablemente con estaciones permanentes instaladas cerca de repetidores de microondas o posiblemente con una red portátil. Se han reconocido recientemente varias fallas grandes.

No existe en Honduras un programa de vulcanología, a pesar de que existen varios volcanes cuaternarios, incluyendo la Isla Amapola.

A pesar del problema de derrumbes existente en Honduras aún no se han hecho estudios de los mismos.

El problema actual en Honduras es que no tienen un mecanismo que obligue a los ingenieros constructores a hacer estudios preliminares sobre los peligros geológicos.

Guatemala: el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) contrata 2 Bachilleres en Ciencias con estudios superiores a nivel de ingeniería; emplea 2 sismólogos y un Bachiller en Ciencias a nivel físicas con estudios superiores en vulcanología.

INSIVUMEH es propietario de 33 estaciones sísmicas, de las cuales están operando 24 y tres estaciones de movimientos fuertes (cada una con tres componentes).

INSIVUMEH imprime regularmente catálogos sísmicos pero recién empiezan a formular los análisis preliminares sobre peligros sísmicos a través de un proyecto entre AID y USGS. En vista de que este programa está siendo cortado después de la primera parte, INSIVUMEH tendrá mucha dificultad para terminar los análisis de peligros y prevee dificultades para obtener repuestos para mantener esta red de trabajo, así como para adquirir el entrenamiento técnico.

A pesar de que INSIVUMEH acaba de emplear un vulcanólogo, aún no tiene un programa de peligros volcánicos. INSIVUMEH tenía la esperanza de obtener ayuda de la AID para colocar un monitor (sísmico, inclinado, electrónico, cerca de nueve puestos de emisión de gas) en cada uno de los tres volcanes activos. Una estación sísmica ya existe en cada uno de estos volcanes.

Actualmente no existe un programa de derrumbes a pesar de que la cantidad de lodo es un problema

bastante serio y ha inundado El Palmar, un área cuya población es de 40.000 personas.

Belize: no hay interés de llevar a cabo estudios de vulcanología o derrumbes en Belize. No existen volcanes en esta área y los derrumbes se limitan a unos extravíos.

A Belize le interesa obtener sismógrafos que permanezcan grabando en el campo, uno en el norte y el otro en el sur de Belize, para monitorear el nivel de actividad de las fallas Chixoy y Chana que se extienden desde Guatemala al sur de Belize. Estos estarían a cargo del Departamento de Meteorología. Belize tiene una persona con un master en geofísica responsable de la interpretación sísmica.

Recomendaciones Generales

a) Se debe hacer énfasis en que los programas cooperativos de riesgos sísmicos fundados por la AID acaban de principiarse entre la USGS y Guatemala, El Salvador y Panamá. Un programa de estos y existe entre la Universidad de California de Santa Cruz y Costa Rica. En cada uno de estos dos programas se ha instalado una red sísmica o bien renovado; la recopilación de información básica ha empezado, sísmica, producción de catálogos e historial de daños causados por terremotos investigados.

Recomendamos que estos programas cooperativos existentes continúen fundándose, y sea a través de la AID u otra fuente, con el objeto de lograr llegar a la meta (aproximadamente 5 años) de elaborar mapas de peligros sísmicos, mapas de micro zonificación y análisis de riesgos sísmicos.

Recomendamos que redes sísmicas sean fundadas en Panamá y Honduras, aunque tal vez en una escala menor para los mismos propósitos.

b) Recomendamos la iniciación de estudios vulcanológicos en Guatemala, El Salvador y Panamá.

Como primer paso, recomendamos la iniciación de mapeo de los productos volcánicos eruptivos. Este mapeo es muy valioso para la exploración geotérmica y estudios de derrumbes.

Como segundo paso, una estación con distanciómetro sísmico deberá ser colocado en cada uno de los volcanes potencialmente activos que aún no lo tengan.

Eventualmente se tomarán mediciones de emisión de gas así como mediciones de inclinación en los volcanes más activos.

c) Recomendamos que dentro de cada país, solo una organización realice los estudios de peligros geológicos. Esta organización deberá solicitar autorización oficial del gobierno, siendo esta la única responsable de los archivos con información sísmica, volcánica y de derrumbes. Esto se debe llevar a cabo con el propósito de evitar o finalizar con los conflictos internos y alentar la

cooperación relacionada con el intercambio de información.

d) Recomendamos una reunión de directores de observatorios sísmicos o servicios sísmicos de cada país, con la posible asistencia de la USGS. El propósito de esta reunión sería el de alentar al cooperación regional en estudios sísmicos y el intercambio de información nueva.

Recomendamos discusiones para estandarizar el equipo sismográfico.

Recomendamos que los servicios sísmicos nacionales adquieran computadoras para análisis. Con estos sistemas, la información nueva podría transmitirse entre países a un precio más bajo y más rápidamente.

Recomendamos que sea creado un banco de información vulcanológica regional.

Así mismo recomendamos que el director piense seriamente en la posibilidad de formar una organización regional de observatorios sísmicos cooperativos, parecida a CERESIS, la organización de observatorios sísmicos

cooperativos en Sudamérica, o tal vez asociarse con CERESIS. Esto, económicamente, tiene sentido ya que sería posible tener al alcance profesionales en sismología, vulcanología, geología y expertos técnicos.

Además, recomendamos que todas las fallas y volcanes conocidos sean incluidos en mapas de 1:50.000 o 1:100.000 para toda Centroamérica y Panamá.

e) Recomendamos que se haga un estudio de fuentes de fondos para PLD y entrenamientos a nivel de master para sísmólogos, vulcanólogos, ingenieros en sismología, ingenieros geológicos e ingenieros de tierras. También recomendamos que se haga una búsqueda de fuentes patrocinadoras para entrenar a especialistas de instrumentos para fundar un intercambio científico internacional entre profesionales.

f) Recomendamos que cada país asistente presente cuando menos un reconocimiento o evaluación de peligros potenciales de los derrumbes y lodazales.

DISCUSSION GROUP 3: WATER-RESOURCE MANAGEMENT

The group decided to address the issue of water-resource management in a broad sense, that is, including not only the resource evaluation aspect, but also the development, use, and management of the resource within the framework of the development of the Central American region.

First, a general assessment of the water-resource situation within the region was made. The resource availability, both as surface water and ground water was reviewed, as well as present knowledge about its characteristics. This includes its geographical location, its variability with time, its gravity, and its quality in a broad sense.

The principal problems involved in its use for development of the region as well as the necessary conditions for its adequate management were discussed on a regional basis.

As a result of the discussion, the group considers that the following issues are those that require immediate attention:

1. Most of the countries do not have a master water-resource management plan. It was felt that for the proper development and management of its water resources, each country should develop such a plan. The main elements of this plan should be:
 - a) An overall assessment of the quantity, quality, and availability of both surface and ground water.
 - b) Status of present use of the water resources for various needs.
 - c) Determination of future demands to the year 2020 in regard to domestic and industrial water supply, agriculture production, hydroelectric power generation, and other uses.
 - d) The plan should be based on defined policies for water use in each country and should be supported by an adequate legal framework (water law) and appropriate institutional arrangements.
 - e) The plan should be comprehensive and consider all the beneficial uses of water; it should optimize the overall economic and social benefits of water use for each country.
2. There is a need to continue and reinforce present surface- and ground-water data-gathering programs, as proper water-resource management depends upon the continuous measurement of the principal hydrologic variables. Although water quantity has been measured to some extent, water quality including sediment loads has not received proper attention, and this aspect should be emphasized in the plan.
3. An inventory of the available data in the region and development of a regional data bank are urgently needed.
4. It was considered that problems of saline intrusion in coastal areas have begun to appear, and that this problem, although not now of high priority, should be documented for proper future attention.
5. There is an urgent need to document the occurrence of extreme events of rainfall and runoff on a regional basis, in order to determine their frequency of occurrence.
6. Large water-resource projects that are now underway in the region and which require large investments are in need of flow forecasting for their proper operation. In general, methods available for this purpose are not adequate, and a gradual upgrading of these techniques is needed to reach real-time flow forecasting.
7. Although all countries somehow manage to acquire standard hydrological equipment, there are serious limitations on the acquisition of special equipment needed for bathymetric studies, geophysical studies, telemetric data transmission, micro-computers, and so on. There is also a marked lack of laboratory equipment for water-quality determinations such as heavy metals and pesticides. It should also be noted that the replacement of standard equipment encounters major budgetary problems.
8. Although professional training in surface-water hydrology has been covered to some extent, there is acute lack of trained professionals in hydrogeology in Central America. The number of trained technicians both in the field and the office is inadequate. Training is needed at all levels. It was felt that this

- training should be accomplished in as much as possible within the countries themselves, using the existing local and regional training institutions, with both local and foreign visiting professors and instructors and with provision for scholarships for participants within the region.
9. A regional information center in hydrology and water resources is needed for the dissemination of Spanish-language training manuals, results of local research, technical publications, and so on. Such a center could also serve as a clearinghouse for translation into Spanish of relevant material produced elsewhere. It could also prepare and distribute abstracts of pertinent literature and information about upcoming technical and scientific events.
 10. It is appropriate to promote the creation of a regional hydrology and water resources professional association and to organize an annual regional water resources symposium, the first one of which could be held within the next 12 to 15 months.
 11. Proper water laws need to be implemented in all of Central America to regulate the use of the resource, especially ground water in heavily used aquifers.
 12. The group considered that the major issues that need to be addressed pertaining to the water resources problems common to the region were within the following areas:
 - a) Hydrology of small watersheds (less than 50 km²).
 - b) Study of flood-flows.
 - c) Sediment transport.
 - d) Real-time flow forecasting in certain areas.
 - e) Study of low-flows.
 - f) Hurricanes.
 - g) Karst hydrology in some areas.
 - h) Institutional and human-resources aspects.

General Recommendations

1. Creation of a regional information center for hydrology and water resources.
First year: creation, staffing and acquisition of equipment for the center of existing literature in hydrology and water resources in the region. Trans-

lation and publication of five annual reports (U.S. \$50,000).

Second year: Full operation of the center (U.S. \$25,000).

2. Reconnaissance of surface- and ground-water quality of the region, including sediment transport. Includes publication of a final report by the above center.

First year: Field work (U.S.\$50,000).

Second year: Data interpretation and publication (\$25,000).

3. Regional analysis of extreme events to develop statistical tools for prediction of maximum and minimum flows in ungaged areas.

First year: Compilation of data.

Second year: Analysis and publication of report (total cost: \$30,000).

4. Creation of a regional hydrology and water-resources association. Convene a regional symposium in 1986–1987 as a vehicle for horizontal cooperation within the region and for technology transfer into the region. Will include workshops and mini-courses (\$30,000).

5. Training of professionals and technicians in hydrology by means of a 1-year course for professionals at a regional center (\$30,000 per year) and a 4-week roving course (\$15,000 per year) in each country per year.

6. Regional assessment of small-watershed hydrology to provide design data for rural water-supply projects, small irrigation projects, and low-head hydropower generation. Includes extreme events. Includes the equipment of 15 small representative watersheds for different climatic and hydrologic conditions in the region.

First year: Selection of the watersheds, acquisition and installation of equipment (\$200,000).

Second year: Initial calibration and operation (\$50,000).

Finally, the group recommends that all projects and activities be implemented through the appropriate existing local and regional organizations.

GRUPO DE DISCUSION 3: MANEJO DE RECURSOS DE AGUA

El grupo decidió entrar al tema de manejo de recursos de agua con sentido bastante amplio. Ejemplo: incluyendo no solamente el aspecto d. evaluación de recursos pero también el desarrollo, uso y manejo del recurso dentro del marco de desarrollo de trabajo de la región Centroamericana.

Primeramente, una asesoría de la situación de recursos de agua dentro de la región fue hecha. La disponibilidad de recursos, tanto de agua en superficie así como subterráneas, fue revisada, asimismo, las características conocidas. Esto incluye: ubicación geográfica, variedad a través del tiempo, gravedad y se calidad en todo el sentido de la palabra.

Los problemas principales involucrados en su uso para el desarrollo de la región así como las condiciones necesarias para su manejo adecuado fueron discutidas en base regional.

Como resultado de la discusión, el grupo considera que los siguientes temas requieren atención inmediata:

1. La mayoría de los países no tienen un patron para el plan de manejo de recursos de agua. Cada país debe desarrollar un plan apropiado para el desarrollo y manejo de recursos de agua. Los elementos principales de este plan deberan ser:
 - a) Una asesoría general en cuanto a la cantidad, calidad y disponibilidad de los recursos, tanto en la superficie como subterráneos.
 - b) Status actual del uso de los recursos de agua así como de sus necesidades.
 - c) Determinar necesidades futuras para el año 2020 relacionadas con abastecimiento de agua a hogares e industria, producción agrícola, generación de fuerza hidroeléctrica y otros usos.
 - d) El plan debe estar basado en políticas definidas para el uso del agua en cada país y debe ser respaldado por el cuadro legal de trabajo (ley del agua) y los arreglos institucionales pertinentes.
 - e) Este debe ser un plan comprensivo, considerando todos los usos benéficos del agua, sobre todo optimizando los beneficios del agua en el sector económico y social de cada país.
2. Existe la necesidad de continuar reforzando los

programas de recopilación de datos sobre aguas subterráneas y superficiales, debido a que el manejo apropiado de recursos de agua depende de la medición continua de los variables hidrológicos principales. A pesar de que la cantidad de agua ha sido medida hasta cierto punto, la calidad de la misma incluyendo sedimentos no han recibido la atención adecuada y es este un aspecto que se debe enfatizar.

3. Se necesita con urgencia un inventario con información regional disponible y un banco de información regional.
4. Se consideró el problema salino en las áreas de la costa que recientemente ha surgido y aunque este problema no es de mucha importancia en la actualidad, debe ser documentado para darle la atención debida en el futuro.
5. Existe la necesidad de registrar sucesos eventuales de mayor auge ya sea lluvias o deslaves en bases regionales, con el objeto de poder determinar la frecuencia de los mismos.
6. Los proyectos grandes de recursos de agua que se están llevando a cabo en la región y para los cuales se requieren grandes inversiones necesitan para una mejor operación el pronóstico de inundaciones. En general, los métodos disponibles para esta operación no son adecuados y se necesita una mejoría gradual de las técnicas usadas para que eventualmente se pueda pronosticar las inundaciones.
7. A pesar de que todos los países se las arreglan para obtener el equipo hidrológico normal, encuentran limitaciones serias para obtener el equipo especial para estudios batimétricos, estudios geofísicos, transmisión de información telemétrica, micro-computadoras, etc. Asimismo falta el equipo de laboratorio para determinar la calidad del agua tales como metales pesados y pesticidas. También se debe mencionar que reemplazar el equipo standard normal representa muchos problemas presupuestarios.
8. A pesar de que el entrenamiento profesional en hidrología de agua superficial ha sido abarcado a cierto punto, existe la falta de profesionales entrenados en hidrología. El número de técnicos entrenados tanto en el campo como en las oficinas es

inadecuado. Por lo tanto, es imprescindible entrenar a todos los niveles. Se considera que este entrenamiento se debe llevar a cabo dentro de cada país, haciendo uso de las instituciones de entrenamiento locales y regionales, teniendo instrucción local y extranjera de profesores visitantes. Asimismo, otorgar becas para los participantes de la región.

9. Se necesita un Centro Regional Hidrológico y Recursos de Aguas para la disseminación de manuales de entrenamiento, resultados de investigaciones locales, publicaciones técnicas, etc. (en español). Este centro también serviría para hacer traducciones relevantes de material producido en otro lugar. También podría preparar y distribuir literatura e información de eventos científicos y técnicos por llevarse a cabo.
10. Sería conveniente promover la creación de una asociación regional profesional de hidrología y recursos de agua y la organización anual de simposios de recursos de agua regionales, cuya primera reunión se podría llevar a cabo dentro de los próximos 12 a 15 meses.
11. Es una necesidad implantar leyes de agua apropiadas en todos los países para regular el uso de los recursos, especialmente el agua subterránea de los acueductos más usados.
12. El grupo consideró que los problemas más comunes y grandes de recursos de agua de la región son los siguientes:
 - a) Hidrología de las cuencas de agua (menos de 50 km²).
 - b) Estudio de fuentes de inundaciones.
 - c) Transporte de sedimentos.
 - d) Pronóstico de inundaciones en ciertas áreas.
 - e) Estudios de corrientes bajas.
 - f) Huracanes.
 - g) Hidrología cárstica en algunas áreas.
 - h) Aspectos de recursos institucionales y humanos.

Recomendaciones Generales

1. La creación de un centro regional de información hidrológica y recursos de agua.
Primer año: creación, reclutamiento de personal y adquisición del equipo para el centro. Inventario de

literatura existente de hidrología y recursos de agua en la región. Traducción y publicación de 5 manuales (\$50.000).

Segundo año: operación completa del centro (\$25.000).

2. Reconocimiento de la calidad del agua subterránea y superficial, incluyendo transporte de sedimentos. Incluye la publicación del reporte final del centro.

Primer año: Trabajo en el campo (US \$50.000)

Segundo año: Interpretación de datos y publicación (US \$25.000)

3. Análisis regional de eventos extremados para desarrollar herramientas estadísticas para pronosticar, el máximo y mínimo, corrientes en estas áreas.

Primer año: recabación de información.

Segundo año: análisis y publicación del reporte (costo total: \$30.000).

4. Creación de una asociación regional hidrológica y de recursos de agua. Convenir en un simposio regional a llevarse a cabo en 1986-1987 como medio cooperativo dentro de la región y transferencia tecnológica a la región. Esto incluirá talleres de trabajo y mini-cursos (US \$30.000).

5. El entrenamiento de profesionales y técnicos en hidrología, curso de un año en un centro regional y un curso de 4 semanas de duración en cada país cada año.

<u>Curso</u>	<u>Curso de un año</u>	<u>Curso rotativo</u>
regional	\$30.000	\$15.000

6. Asesoría regional de una pequeña cuenca hidrológica con el fin de proveer información de diseño para los proyectos rurales de abastecimientos de agua, proyectos pequeños de irrigación, y una generación de fuerza hidráulica de baja cabeza. Incluyendo los eventos extremados. Incluye el equipo de 15 pequeñas cuencas para distintas condiciones.

Primer año: selección de las cuencas, adquisición en instalación del equipo (\$200.000).

Segundo año: calibración inicial y operación (\$50.000).

Finalmente, el grupo recomienda que todos los proyectos y actividades sean canalizados a través de las regiones existentes locales y regionales.

DISCUSSION GROUP 4: MINERAL-RESOURCE ASSESSMENT

Exchange of information and the collection of mineral resource assessment data have taken place for some time in Central America, yet the need for continuous support for the development of the mineral sector as an important part of national and regional development policies still exists. After discussion of the particular requirements of individual countries, a basic recommendation of the group was the creation of an active, information and technical center, with the organization and purpose given below:

Summary Charter

1. Purpose

To develop earth sciences and technologies with respect to Central America and Panama (the goal of natural resource development) and to encourage the natural resource sector, emphasizing mineral resources, to become a significant part of economic development.

- Disseminate scientific information and skills.
- Train local geoscientists.
- Exchange information with public and private sectors, and focus new technologies from outside.
- Coordinate the planning and promotion of geological sciences and technology (coordinate, plan, and promote the application of geological science and new technologies).
- Promote the effective and efficient interaction of member countries, by providing the basic facilities (physical space, equipment, advisory personnel) directed to the investigation and resolution of problems related to natural resources, specifically minerals, and development of the area.
- Assist in financial resource acquisition and fund gathering.

The regional geosciences center would be located in the capital of one of the participating Central American countries. It would address especially the needs both in applied and academic geosciences of the member countries. A technical staff employed by the center would have as their chief objectives the conduct of applied and basic

science and the training of students in the geosciences. The center would need technical guidance and financial support from outside the region at first. Ideally, it would eventually depend on the participating geoscience community and member countries for guidance and financial support.

Notes

- This center would be a research facility, not commercial; however, private sector use would be permitted, on a fee basis. This allows for coordinated research efforts and dissemination of collected data. All research conducted in this facility will be available to the public.
- It was also decided to request ICAITI to serve initially as coordinator for immediate action which should develop into a program which includes the various recommendations of this conference. ICAITI should coordinate with international agencies to obtain funds for this activity.

Issue Questions

1. What are the various mineral-resource assessment methods that can be transferred to Central American countries?

It was agreed that Central American countries have been exposed to all methods; the need now is to update and promote these assessment technologies and ideas such as:

- 1) Mapping techniques
- 2) Geochemical surveys
- 3) Remote-sensing methods
- 4) Geophysical methods
- 5) Deposit models

Discussed these in detail, and agreed that ore-deposit models are valid parts of a mineral-assessment program; suggest recompilation of data using model ideas as part of a preliminary regional mineral resource.

- 6) Encourage the search for mineral resources in geographic areas not previously investigated (for instance, offshore). One of the first

activities of the forementioned regional center would be to call a meeting of representatives of participating countries with USGS marine geologists to map out a cruise and design an offshore minerals-investigation program.

- 7) Assess development requirements for each country with an integrated approach to minerals.
- 8) Conduct interdisciplinary studies to help understand and resolve problems of development, in particular the agricultural field (agricultural minerals, ground water, and so on).

2. What are the expected information bases to be provided by mineral assessment activities in Central America?

An inventory of existing information related to minerals resources (regional and local), remote-sensing data, mineral occurrences, and other information including:

- a) Inventory of material existing *within* each country.
- b) Inventory of material existing *outside* each country, such as: geoscience series, private reports, thesis studies, maps, and so on.

The question of handling information management, publication, and distribution was introduced with the agreement that information managers should establish and follow editorial standards accepted by the geologic community.

It was also agreed that legal and mineral codes were important considerations, and that legal, labor, and environmental issues should be considered as significant in mineral development; however, the proposed regional center would not be involved in policy fabrication, but would only provide basic data upon which individual governments would make decisions on these issues. In addition, a regional group, like SIECA, should be an appropriate group to look into these issues.

3. What time frame can be projected for implementation of mineral-resource assessment activities in developing countries?

Discussion here centered about the meaning of "time frame" and "activities" and it was agreed that mineral-resource assessment is a continuous effort taking into account changing economic conditions, new technol-

ogies and other factors. It was agreed that specific programs as follows could begin immediately:

- a) Secure financial backing for proposed regional center.
- b) Establish data compilation and basic data, bibliographic research (legal code revision).
- c) Establish a time for a follow-up meeting to access progress results of this gathering, suggesting September 30, 1985.
- d) Procure "long-term" funding for regional center, but only if initial studies show such a center is viable.

4. Is long-term training or development of country scientists by the USGS the most feasible and fruitful in terms of mutual benefit?

The USGS was considered an important, but not unique, participant in the training and development of local scientists; it was agreed that the best and most appropriate trainers would be those who responded best to and fulfilled most adequately local program needs. It was noted that an important activity of the proposed geosciences center was to adapt technologies and to train people in technologies developed elsewhere and to emphasize local examples and applications in this training.

With respect to ASAIP-sponsored scholarships, we urge that training be closely related to local or regional programs so that graduates will be appropriately employed upon completion of their studies.

5. What short- and long-term benefits accrue to existing program as a result of science and technology transfer to Central American countries?

The general idea to "promote the economic well-being and social and political stability" of Central America and Panama was discussed, with concurrence on such benefits as:

- a) Local employment through small-mine development.
- b) Local impact through industrial-mineral development.
- c) Implementation of short-term programs with long-term benefits, with emphasis on mutual cooperation on regional projects.
- d) Implementation of local "workshop" or schools for the improvement of the utilization of industrial minerals

GRUPO DE DISCUSION 4: ASESORIA DE RECURSOS MINERALES

Intercambio de información y la recaudación de información mineralógica para asesoramiento se han llevado a cabo por bastante tiempo en Centroamérica, más sin embargo, la necesidad de tener ayuda continua para el desarrollo del sector mineral, como parte del desarrollo de políticas nacionales y regionales, aún existe. Después de discutir requisitos particulares de cada país, el grupo emitió la recomendación básica de crear un centro de información técnica, con una organización y propósito como se detalla a continuación:

Sumario

1. Propósito

Desarrollar tecnologías de ciencias de suelos relacionadas con Centro América y Panamá y alentar el sector de recursos naturales, enfatizando los recursos minerales, con el objeto de convertirse en parte significativa del desarrollo económico.

- Diseminar información y destrezas científicas.
- Entrenamiento de científicos locales.
- Intercambio de información con los sectores públicos y privados y dedicarse a tecnologías de afuera.
- Coordinar, planear y promover la aplicación de ciencia geológica y nuevas tecnologías.
- Promover la interacción efectiva y eficiente entre los países miembros, proveyéndolos de las facilidades básicas (espacio físico, equipo, personal consejero) para investigar y resolver los problemas de los recursos naturales, específicamente minerales, desarrollo del área.

El centro regional de geociencias estará ubicado en la capital de uno de los países participantes de América Central. Estará dirigido especialmente a las necesidades de la geociencia aplicada y académica de los países miembros. El personal técnico del centro tendrá por objetivo principal el manejo de la ciencia aplicada y básica y el entrenamiento de los estudiantes en geociencias. El centro necesitará asesoramiento y apoyo financiero externo al principio pero eventualmente dependerá de la comunidad de geociencia y los países miembros para asesoramiento y apoyo financiero.

Notas

Este centro sería de investigación, no de carácter comercial; sin embargo, el sector privado sería permitido hacer uso del mismo cobrando una cuota base. Toda investigación llevada a cabo en este centro está disponible al público.

Asimismo, se decidió solicitar al ICAITI que funcione como coordinadora al inicio para tener una acción inmediata, al cual debe desarrollarse dentro de un programa que incluya varias de las recomendaciones de la conferencia y otras recomendaciones de seminarios similares, ejemplo: IPGH y BID. El ICAITI deberá coordinar con agencias internacionales para la recaudación de fondos para esta actividad e informales a las agencias participantes.

1. ¿Cuales son los métodos asesores de recursos varios que pueden ser enviados a los países Centroamericanos?

Se estuvo de acuerdo en que los países Centroamericanos han sido expuestos a todos los métodos; la necesidad presente es la de poner al día y promover estas tecnologías de asesoramiento e ideas tales como:

- 1) Técnicas de mapeo
- 2) Estudios geoquímicos
- 3) Métodos sensores remotos
- 4) Métodos geofísicos
- 5) Métodos de depósitos

Los anteriores se discutieron en detalle y se acordó que los depósitos modelos son partes válidas en el programa de asesoramiento mineral; sugieren recabación de información usando ideas modelo como parte de una asesoría regional de recursos minerales preliminar.

- 6) Alentar la investigación de recursos minerales en áreas geográficas no investigadas antes (ejemplo: lejos de la playa). El centro convocaría a una sesión de representantes de cada país participante con la USGS, geólogos marinos harían un mapa de viaje y diseñarían un programa de investigación de minerales lejos de la playa.
- 7) Asesorar los requisitos de desarrollo de cada país con un acceso integrado a los minerales.
- 8) Conducir estudios interdisciplinarios con el

objeto de ayudar a comprender y resolver los problemas de desarrollo, en particular el campo agrícola (minerales agrícolas, agua subterránea, etc.).

2. ¿Cuales son las bases informativas esperadas de las actividades asesoras minerales en Centroamérica?

Un inventario de la información de recursos minerales existente (mapas subterráneos y aéreos), información sensora a control remoto, sucesos minerales, etc., incluyendo:

- a) Un inventario del material existente en cada país.
- b) Inventario de material existente fuera del país tal como: reportes privados, tesis, estudios y mapas.

La pregunta de manejo de información, publicación y distribución fue enfocada con el acuerdo de que las personas encargadas del manejo de información debieran establecer y seguir normas editadas y aceptadas por la comunidad geológica.

Fue acordado que códigos legales y minerales deberían ser considerados de importancia y que los temas ambientales, laborales y legales deberían ser considerados como factor significativo en el desarrollo mineral; sin embargo, el centro regional propuesto proveería la información básica sobre la cual cada gobierno decidiría.

Además, un grupo regional, parecido a SIECA, sería un grupo apropiado para que profundizara en estos temas.

3. ¿Que marco de tiempo se puede proyectar para la implementación de actividades de asesoría de recursos minerales en países desarrollados?

La discusión en esta parte se centralizó en el significado de "marco de tiempo" y actividades y se acordó que la asesoría de recursos minerales es un esfuerzo continuo, tomando en cuenta las condiciones cambiantes en la economía, tecnologías nuevas y otros factores. Se acordó que programas específicos de varias índoles podrían dar inicio inmediatamente.

- a) Asegurarse del respaldo financiero para el centro regional propuesto;
- b) Recabación de información y establecimiento de información básica, investigación de bibliografías, (revisión legal de códigos).

c) Establecer cierto tiempo para una reunión de seguimiento para asesorar los resultados del progreso de esta recabación, sugiriendo el 30 de septiembre de 1985.

d) Obtener fondos para largo plazo para el centro regional, siempre y cuando los estudios iniciales de dicho centro hayan indicado que el centro es viable.

4. ¿Es el entrenamiento a largo plazo o científicos de los países desarrollados por la USGS los más factibles y productivos en términos de beneficio mutuo?

La USGS fue considerada importante pero no la única participante en el entrenamiento y desarrollo de los científicos locales; fue acordado que los mejores y entrenadores más apropiados serían aquellos que respondieran mejor y llenaran adecuadamente las necesidades de cada programa. Fue notado que una actividad importante de este centro sería adaptar tecnologías y entrenar personal en tecnologías desarrolladas en otro lugar y hacer énfasis en ejemplos locales y sus aplicaciones en el entrenamiento.

Con relación a becas patrocinadas por ASAIP, sugerimos que el entrenamiento sea relacionado lo más cerca posible a programas regionales o locales para que los graduados sean contratados al finalizar sus estudios.

5. ¿Que clase de beneficios a corto y largo plazo se pueden atribuir como resultado de transferencias de ciencia y tecnologías a los países Centroamericanos?

El ideal general de "promover bienestar económico y estabilidad social y política" de Centroamérica y Panamá fue discutido, estando de acuerdo con los beneficios tales como:

- a) Empleos locales a través de pequeñas minas de desarrollo.
- b) Impacto local a través del desarrollo mineral industrial.
- c) Realización de programas de corto plazo con beneficios a largo plazo, con énfasis en cooperación mutua en proyectos regionales.
- d) Realización de grupos de trabajo locales o escuelas para el mejoramiento de la utilización del mineral industrial.

DISCUSSION GROUP 5: REGIONAL-RESOURCE ASSESSMENT

The resources considered include conventional energy sources onshore and (or) offshore (for example, hydrocarbons, coal, peat, geothermal).

The issues are:

1. The status of the inventory of energy mineral resources in the nations of Central America.
2. The required information base in terms of long-range demand for energy minerals, to enable policy planning and decision making.
3. The required information base, in terms of geological and geophysical knowledge, to enable regional energy-resource assessment to be made, revised, and (or) updated.
4. The existing, or needed, institutional mechanisms for implementing a program of energy-resource assessment, regionally and (or) country by country.
5. The existing, or needed, institutional mechanisms for implementing the development of energy resources when and if they are found.

After discussion it became evident that there are different levels of development of energy resources throughout the region. Whereas one country has an advantage in one resource it may be lacking in another. For example, Guatemala is the only petroleum-producing country in the region, but this production is insufficient for its needs. All the other Central American countries are importers of petroleum. Guatemala also has coal, geothermal energy, and possibly peat resources.

Peat has been identified in Costa Rica and Belize, and it is thought to be present in the rest of Central America.

Coal is present in Costa Rica and smaller amounts

are known to exist in El Salvador and Honduras. This resource is yet to be identified in Belize.

Geothermal energy is commercial in Guatemala, El Salvador, and Nicaragua and exists, but has not been developed, in Costa Rica and Honduras. However, the potential for geothermal energy in Belize is unknown. Consequently, the question of inventory without additional work becomes difficult if not impracticable at this time.

The institutional infrastructure in Central America, although organized and developed at different levels, is quite similar from one country to another. In each, there is a Ministry responsible for policy and one or more departments which have executive responsibility for the exploration and development of energy and mineral resources.

Whereas one country may have a well-developed and trained cadre of personnel, another may have none or too few.

Discussion, however, has shown that most countries have some similar needs. It is evident that all countries need assistance for laboratory facilities, equipment, technological transfer and management, planning, and technological training of personnel to varying degrees.

As to the means of assistance, it was suggested that this may be desirable on a government to government basis in certain instances and (or) through regional coordinating institutions in other instances.

Because of limited human and financial resources, regional studies for planning and identifying the establishment of priorities is recommended.

Finally, it is the recommendation of the group that a decision as to which avenue is desirable should be taken at the political level by the policy makers.

GRUPO DE DISCUSION 5: ASESORAMIENTO DE RECURSOS REGIONALES

Los recursos considerados incluyen fuentes de energía convencionales cerca y lejos de la playa (ejemplo: hidrocarburos, carbón, turba, geotérmica).

Los temas discutidos son:

1. Un estado del inventario de energía mineral en las naciones de Centroamérica.
2. Información sobre demandas en términos bases de larga duración para energía mineral, con el propósito de permitir la planeación de políticas así como toma de decisiones.
3. La base de información requerida, en términos de conocimientos geológicos y geofísicos, que permita que la asesoría de recursos regionales se lleve a cabo, revisada y/o puesta al día.
4. Ya existente o necesitado mecanismo institucional para implementar el desarrollo de recursos de energía regionales y/o país por país.
5. Ya existente o necesitado mecanismo institucional para la realización del desarrollo de recursos energéticos cuando sean encontrados.

Después de la discusión fue evidente que existen diferentes niveles de desarrollo de recursos de energía en la región. Mientras que un país tenga ventajas con un recurso puede ser que le haga falta otro. Por ejemplo: Guatemala es la única productora de hidrocarburos de la región, más sin embargo, su producción es muy baja para sus necesidades. Todos los otros países son importadores de este recurso. Guatemala también tiene carbón, energía geotérmica y posiblemente turba.

La turba ha sido identificada en Costa Rica y Belize y se calcula que se encuentra en el resto de Centroamérica.

Hay carbón en Costa Rica y se sabe que existe en El

Salvador y Honduras también, pero en una cantidad menor. Esta fuente todavía está por ser hallada en Belize.

Energía geotérmica es comercial en Guatemala, El Salvador y Nicaragua y existe en Costa Rica y Honduras; sin embargo, Belize tiene un potencial desconocido, hasta la fecha, de este recurso. Por lo tanto, el asunto de un inventario es difícil si no impráctico.

El marco institucional de trabajo de todos los países, a pesar de que estén desarrollados y organizados a distintos niveles, son bastante similares. Hay un ministro responsable de la política y de uno o más departamentos que llevan a cabo las responsabilidades ejecutivas para la exploración y desarrollo de recursos energéticos minerales.

Mientras que un país puede que tenga un número de personal bien desarrollado puede ser que no tenga ninguno o un número insuficiente.

Sin embargo, después de la discusión, es obvio que todos o casi todos los países tienen necesidades similares. Es evidente que todos los países necesitan la asesoría de laboratorios, equipo, transferencias tecnológicas y manejo, planeamiento y entrenamiento tecnológico de personal a diferentes grados.

Con lo relacionado a medios de asistencia fue sugerido que esto será en base a gobierno por gobierno, en algunos casos, y en otros casos a través de instituciones coordinadoras regionales.

En vista de la necesidad de hacer énfasis del uso limitado de estudios de recursos humanos y financieros para planeamiento e identificar prioridades son recomendados.

Finalmente, otra recomendación del grupo es la de decidir que nivel de política deberán seguir los que hagan la política.

DISCUSSION GROUP 6: THE FUTURE OF EXPLORATION IN CENTRAL AMERICA

1. a) Are increased levels of exploration activity a desirable thing in Central America?

We feel that increased levels of exploration from all sources would be of benefit to all of Central America.

- b) What are the critical types of geologic information that are needed to stimulate exploration activity?

We feel that there is a critical need for more basic geological information in Central America including the following:

- 1) An up-to-date geologic map for each country, preferably at a scale of 1:50,000;
- 2) An updated, organized stratigraphic lexicon for each country;
- 3) Regional mapping of all types including geochemical and geophysical maps;
- 4) The establishment of a bulletin or journal for the publication of articles on the geology of Central America in order to increase the exchange of knowledge and ideas and to stimulate more professional interaction;
- 5) The creation of seminars, meetings, and field trips for Central American scientists; and
- 6) The reactivation of the Commission for Stratigraphic Nomenclature in Central America.

2. What commodities are present that have a ready market and a reasonable expectation of being found in economic deposits?

We feel that the following commodities are most important in the Central American region:

- 1) Energy commodities such as coal, petroleum, and geothermal energy sources
- 2) Gold and silver;
- 3) Platinum group metals, particularly in ultrabasic rocks;
- 4) Heavy-mineral beach placers or near-shore accumulations.

3. a) What technical problems are inhibiting exploration

activity in the environments of Central America?

We feel that the lack of adequate numbers of trained professional and technical personnel is inhibiting resource exploration and development in Central America. An inventory of the pool of trained talent in Central America should be made by a pan Central American Organization. Furthermore, an inventory of equipment should be made by the same organization.

There should be a centralized institution, such as ICAITI, for vocational training. This regional institution could also serve as a central chemical laboratory with standardized methodology and technology.

- b) What research should be done to assist exploration?

A centralized regional office could flag problems that are being encountered by diverse groups in Central America, and could serve as a focus for important research, both applied and basic.

4. What high-risk, large-return commodities might be found in Central America?

The commodities of most interest are tin, rare-earth elements, platinum, titanium, sedimentary manganese and phosphate, and new environments for known commodities such as gold. Additionally, technological changes in extractive metallurgy may open up new possibilities; for example, such as for sulfur in Guatemala, El Salvador, and Costa Rica.

5. What financial and political incentives might be available?

We feel that there is a need to provide better professional advice to governments and that it would be desirable to have scientific and technical input into the law-making process at the executive level.

6. What mix of government and commercial exploration activity is desired in Central America?

We feel that all governments should clearly establish the rules and regulations that govern

resource exploration and development. The rules should include environmental or conservation measures and responsibilities for developing necessary

infrastructures. The rules and regulations should stimulate economic growth and provide incentives to the private sector for resource development.

GRUPO DE DISCUSION 6: EL FUTURO DE LA EXPLORACION EN CENTROAMERICA

1. a) ¿Son los niveles de actividad exploratoria en Centroamérica deseados?

Consideramos que una exploración de todos los recursos a un grado de nivel más alto redundaría beneficiosa para toda Centroamérica.

- b) ¿Cuales son los tipos críticos de información geológica que se necesitan para estimular la actividad exploratoria?

Sentimos que existe una necesidad muy grande de obtener más información geológica básica en Centroamérica, la que incluye:

- 1) Un mapa geológico reciente de cada país, de preferencia en escala de 1:50.000
- 2) Un estratigráfico lexicón al día para cada país.
- 3) Mapeo regional de todo tipo incluyendo mapas geoquímicos y geofísicos.
- 4) El establecimiento de un boletín o periódico para publicar artículos sobre geología Centroamericana para aumentar el intercambio de conocimientos e ideas así como estimular una interacción más profesional.
- 5) La creación de seminarios, sesiones y viajes al campo para los científicos Centroamericanos, y
- 6) La reactivación de la Comisión Centroamericana de Nomenclatura estratigráfica.

2. ¿Que mercancías puede mencionar que ya tengan mercado y expectativa razonable en depósitos económicos?

Consideramos que las siguientes mercancías son las más importantes en la región Centroamericana:

- 1) Minerales de energía, tales como: carbón, geotérmica y petróleo (considerado, primordialmente, por el otro grupo de discusión);
- 2) Oro y plata;
- 3) Grupo de metales de platino, particularmente en rocas ultrabásicas; y
- 4) Yacimientos minerales costeros o acumulaciones costeras.

3. a) ¿Que problemas técnicos inhiben la actividad

exploratoria en los ambientes Centroamericanos?

Sentimos que lo que inhibe la exploración de recursos y desarrollo en Centroamericana es la falta de un número adecuado de profesionales y personal técnico entrenado en este campo. Una organización Centroamericana debería hacer un inventario del grupo de personal entrenado en Centroamérica. Asimismo, esta organización debería hacer un inventario del equipo existente.

Debería existir una institución centralizada, tal como el ICAITI, para entrenamientos vocacionales. Esta institución regional serviría como laboratorio central con tecnologías y metodologías estandarizadas.

- b) ¿Que investigación se puede llevar a cabo con el objeto de asesorar la exploración?

Una oficina regional centralizada podría dar a conocer los problemas que se encuentran por los diversos grupos Centroamericanos y podría servir como punto de referencia para investigaciones importantes, ambas aplicadas y básicas.

4. ¿Que productos de alto nivel de riesgo e ingreso pueden surgir en Centroamérica?

Los productos de mayor interés son Sn, elementos raros de la tierra, Pt, Ti, magnesio y fosfato sedimentario y nuevos ambientes para mercancías conocidas como el oro. Adicionalmente, cargos tecnológicos en extracciones metalúrgicas pueden ofrecer nuevas posibilidades tales como: azufre en Guatemala, El Salvador y Costa Rica.

5. ¿Que incentivos financieros y políticos estarán disponibles?

Consideramos que es necesario dar consejos profesionales a los gobiernos y que sería conveniente tener la opinión científica y técnica en el proceso de emisión de ley a un nivel ejecutivo.

6. ¿Que mezcla de gobierno y actividad exploratoria comercial se necesita en Centroamérica?

Sentimos que los gobiernos deben establecer claramente las reglas y regulaciones que gobiernan

los recursos de exploración y desarrollo. Las reglas deben incluir medidas ambientales o de conservación, así como responsabilidades para desarrollar infra-

estructuras necesarias. Las reglas y regulaciones deben estimular el crecimiento económico y proveer incentivos para el desarrollo de recursos.

DISCUSSION GROUP 7: TRAINING, TECHNOLOGY TRANSFER, AND INFORMATION MANAGEMENT

The goals of international cooperation in the earth sciences between the Central American countries and various agencies and universities in the United States are thought of in two perspectives for Central America. The first perspective is based upon the needs of an individual country, a national perspective. The second perspective, a regional perspective, is derived from the common thread of these national perspectives. Thus, there are goals unique to each country and there are regional goals for Central America.

In order to define these regional goals, a planning process is required. The first step of this process is to define the national goals. When these national goals are evident; then the regional goals can be defined. From this process, a prioritized list of earth-science programs most beneficial to Central America could be presented to international funding agencies.

The first recommendation of the committee is that the Central American Research Institute for Industry (ICAITI) is the appropriate forum for the Central American countries to formulate regional goals in the earth sciences. Furthermore, the earth-science agencies of the U.S. Government are solicited for advice concerning these regional goals.

As such regional goals are lacking at this time, the second recommendation of the committee is that there should be three high-priority goals: library resources, information management, and training. The earth-science agencies of the U.S. Government are solicited to assist in achieving these goals.

Everyone agreed that well-maintained, comprehensive libraries are needed to meet the needs for information. These needs include references to relevant earth-science literature and storage and access to the geologic information concerning Central America. Although numerous governmental agencies are creating geologic information on various parts of Central America, much of this information is not available or accessible. The appropriate mechanism for establishing such a library system should be defined. Possibly the mechanism is to establish national libraries at the national universities within each country. The options considered are national libraries and regional libraries. These options include whether a

national library should be comprehensive or should resources be shared so that the whole is comprehensive. The Committee recognizes that comprehensive national libraries are expensive but also that there are problems in shared regional libraries.

Therefore, the third recommendation of the committee is that each country should compile a bibliography of earth-science publications and that these should be updated at least annually. Furthermore, an annual report of earth-science research activities should be written. These bibliographies and annual reports of research should be widely distributed internationally. This Committee believes that this should be the first step in addressing the information needs in Central America.

Training in earth sciences is a priority goal for all of Central America. The need for training is of two sorts, academic and professional. Academic training addresses education of new scientists to increase the number of professional earth scientists in Central America. Professional growth addresses education to introduce professionals to new developments and to broaden their capabilities.

A consideration of paramount importance when considering training is that the training must consider the resources available in Central America. This is not to suggest that expensive modern equipment is not or will not be available in Central America. Because of this awareness of the availability of resources, the fourth recommendation of the committee is that major emphasis, both for academic and professional growth, should be placed on training in Central America. In the area of academic training, the faculty of the Central American School of Geology should be enhanced by providing U.S. experts to teach while the local faculty training is upgraded in the teaching of such courses. To maintain the focus and expertise of the School of Geology, an advisory council of geoscientists from the Central American countries and appropriate U.S. agencies should be considered by Costa Rica to advise the school concerning earth-science education. Consideration of the potential employment market for earth scientists should not be neglected.

Training for professional growth can take many forms. It should include sending individuals to U.S.

laboratories for short-term training in use of specific equipment or techniques. It should include short courses taught in Central America using U.S. experts in cooperation with Central American experts, designed to enhance the facilities and capabilities of the Central American School of Geology to give training for professional growth. It should include on-the-job training as part of cooperative projects. Thus, professional growth can address specific needs of existing national programs, university academic staff, and components of new regional programs.

The types of training needs identified by the committee are in the following areas: economic geology, mining engineering, petroleum geology, geothermal studies, engineering geology, hydrology, and geologic hazards.

Economic geology includes exploration and mineral inventory or assessment, especially including geochemistry, remote sensing, and geophysics. Also included, are mine evaluation and development aspects of economic geology.

Mineral engineering includes mineral economics, development of mines, mineral-dressing, metallurgical considerations, and those techniques necessary to develop and operate a mine.

Petroleum geology is at a formative stage in Central America, so emphasis should be on the exploration aspects of petroleum geology.

Geothermal studies address the full spectrum of studies from regional studies to the identification of potential geothermal sites to site-specific studies appropriate to the evaluation of geothermal reservoirs. For geothermal reservoirs that are poorly known, consideration of the availability of high-cost sophisticated equipment and drilling techniques is not appropriate until a sufficient level of knowledge and economic evaluation has been gained.

Engineering geology includes the broad spectrum of techniques that are necessary to plan and create structures. This includes everything from locations of individual villages to the complex considerations for a hydroelectric dam.

Hydrology training from an earth science perspective includes primarily those techniques for finding and evaluating subsurface water. Monitoring and evaluation of surface water is primarily a problem of obtaining sufficient equipment to do the job.

Finally, geologic hazards studies include identification, monitoring, and mitigation of the broad spectrum of geologic hazards. These hazards include earthquakes, landslides, volcanic eruptions, and floods.

GRUPO DE DISCUSION 7: ENTRENAMIENTO, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA Y EL MANEJO DE INFORMACION

Las metas de la cooperación internacional en la ciencia de los suelos, entre los países Centroamericanos y otros organismos del gobierno americano, son divididos en dos perspectivas en Centroamérica. La primera perspectiva se basa en las necesidades de cada país individualmente, o sea una perspectiva nacional. La segunda perspectiva, una perspectiva regional, se deriva del hilo común de estas perspectivas nacionales. Hasta la fecha hay metas únicas para las metas nacionales de cada país y existen metas de todas las metas regionales de los países de Centroamérica.

Para poder definir estas metas regionales es necesario un proceso de planeamiento. La primera etapa de este proceso es definir las metas nacionales. Teniendo las metas nacionales a la mano, las metas regionales pueden ser definidas. De este proceso se puede presentar una lista de programas sobre la ciencia de los suelos benéfico para Centroamérica a las agencias patrocinadoras.

La primera recomendación del comité es que el ICAITI actúe como foro para los países Centroamericanos para formular metas en la ciencia de los suelos. Además, a las agencias norteamericanas de ciencia de los suelos (gubernamentales) se les solicitará consejo relacionado a las metas regionales.

No teniendo las metas regionales en este momento, la segunda recomendación del comité es que hay dos metas de mucha prioridad, recursos de biblioteca y entrenamiento. A las agencias de ciencia de los suelos del gobierno de los Estados Unidos se les solicita asesorar el desarrollo de recursos de biblioteca y el entrenamiento. Todos estuvieron de acuerdo en que la necesidad de mantener bibliotecas bien documentadas es importante. Esta necesidad incluye referencias sobre literatura de ciencia de los suelos y para almacenar y dejar accesible la información Centroamericana geológica. Es muy reconocido el hecho de que muchas agencias gubernamentales están creando información geológica en varias partes de Centroamérica pero si bien se sabe está información no está disponible. El problema radica en saber definir un mecanismo apropiado para establecer el sistema de biblioteca. Las opciones consideradas son bibliotecas

nacionales y bibliotecas regionales. Estas opciones incluyen que la biblioteca nacional sea completa o que los recursos se compartan de manera tal que todo esté completo. Se reconoce que las bibliotecas nacionales completas resultan bastante costosas y que existen problemas para compartir con las bibliotecas regionales.

Por lo tanto, la tercera recomendación del comité es que cada país debe recopilar publicaciones de bibliografía de ciencias de suelos y que las mismas sean mantenidas al día, por lo menos anualmente. También, anualmente se deberá emitir un reporte de actividades de investigaciones de ciencias de los suelos. Estas bibliografías y reportes anuales de investigación se deben circular entre las personas interesadas. Este es considerado el primer paso para dirigir las necesidades de información en Centroamérica.

El entrenamiento en ciencias de los suelos es una meta de prioridad en Centroamérica. La necesidad de entrenamiento es de dos clases, de tipo académico y de crecimiento profesional. El entrenamiento académico se dedica a la educación de nuevos científicos para incrementar el número de profesionales en las ciencias de los suelos en Centroamérica. El crecimiento profesional se dedica a la educación e introducción de profesionales a desarrollos nuevos y para ampliar sus habilidades.

Algo muy importante que se debe tomar en cuenta cuando se está pensando hacer un entrenamiento es que el entrenamiento debe considerar los recursos disponibles en Centroamérica. Esto no quiere decir que equipo moderno y caro no está disponible o no estará disponible en Centroamérica. La cuarta recomendación del comité es de que se ponga mayor énfasis en el entrenamiento académico y de crecimiento profesional en Centroamérica. En lo que se refiere al entrenamiento académico, la consideración del mercado potencial de empleo para científicos de suelos no se debe deshechar.

El entrenamiento de crecimiento profesional puede adoptar varias formas. Este debe incluir el enviar individuos a laboratorios en los Estados Unidos para entrenamientos cortos de piezas de equipo o técnicas específicas. Debe incluir entrenamiento en el trabajo como parte de

proyectos cooperativos. Debe incluir, asimismo, cursos llevados a cabo en Centroamérica con presencia de expertos norteamericanos en conjunto con expertos Centroamericanos. Hasta este momento el crecimiento profesional puede satisfacer necesidades específicas de programas nacionales existentes y componentes de programas nuevos regionales.

Las necesidades de entrenamiento identificadas por el comité son las siguientes: geología económica, ingeniería mineral, geología petrolera, evaluación de reservas geológicas, ingeniería geológica, hidrología y peligros geológicos.

La geología económica incluye exploración e inventario mineral o asesor, especialmente incluyendo geoquímica, sensores a control remoto y geofísica.

También se incluye la evaluación minera y aspectos de desarrollo de la geología económica.

Ingeniería mineral incluye el desarrollo de una mina, investimento mineral, consideraciones metalúrgicas y esas técnicas necesarias para desarrollar y operar una mina.

La geología del petróleo está en una etapa forma-

tiva en Centroamérica, por lo tanto se debe hacer más énfasis sobre los aspectos de exploración de petróleo (geología del petróleo).

Evaluación de reservas geotérmicas se dirige a las técnicas geológicas, geoquímicas y geofísicas que son necesarias para evaluar los usos potenciales de una identificada o especulativa reserva geotérmica.

Para las reservas especulativas que no son muy bien conocidas, no es apropiado considerar la disponibilidad de equipo sofisticado ni técnicas de perforación sino que se debe hacer hasta que el nivel de conocimiento obtenido sea suficiente.

Ingeniería geológica incluye un aspecto bastante amplio de las técnicas necesarias para planear y construir estructuras. Esto incluye todo abarcando desde las ubicaciones de pueblitos individuales hasta la consideración compleja de una presa hidroeléctrica.

Por último, los peligros geológicos incluyen: identificación, monitoreo y mitigación del espectro amplio de los peligros geológicos. Estos peligros incluyen terremotos, derrumbes e inundaciones.

ICAITI'S ROLE AS A REGIONAL GEOLOGICAL CENTER

By Gabriel Dengo¹

The Central American Research Institute for Industry (ICAITI) is an independent institution chartered as a nonprofit organization. It was founded in July, 1955, by the governments of the five Central American Republics, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, and Nicaragua.

ICAITI is the technological institution of the Central American Program for Economic Integration. Other institutions, although founded afterwards, are also part of that program, namely, the Permanent Secretariat of the General Treaty for Economic Integration (CABEI), and the Central American Monetary Council (CMCA).

As a multidisciplinary institution, one of ICAITI's functions, according to its Charter is, "To cooperate with the offices concerned of the governments of the Central American Isthmus, universities, technical organizations and other bodies, whether governmental or not, in the promotion of scientific and industrial research and the training of researchers and technical experts...."

From the outset of its activities in January 1956, with the support of the United Nations Special Fund, ICAITI had a geologist and then a mining engineer provided by the supporting organization.

In 1964, because of the increasing demand for geological and mining advice both from governments and private institutions, the Applied Geology Division was staffed with more professional personnel, mostly Central Americans. A main objective of this Division has been to assess mineral resources which can be utilized as raw materials for regional industry, and to render geological services to both governmental and private institutions. It is worth mentioning that, during those years, the national geological institutions could not completely satisfy the geological needs of each country and, therefore, ICAITI's services were essential for support.

From the onset, ICAITI cooperated with all Central American countries, including Panama, in the preparation

of proposals to the United Nations for the implementation of Projects for Investigation of Mineral Resources. The Institute also took some part in the execution of these projects and in the organization of a brief course on exploration techniques of minerals resources for Central American geologists.

The following are some of the most important geoscience services that ICAITI has performed.

1. Advice to INSAFI, El Salvador, on evaluation of mineral resources.
2. Evaluation of Agalteca iron deposits for the Central Bank of Honduras.
3. Geological surveys for geothermal studies in El Salvador for the Hydroelectrical Executive Commission of Rio Lempa.
4. A systematic surveying program of geological maps in Honduras by means of an agreement with the General Administration of Mines and Hydrocarbons, in collaboration with the University of Texas, Austin, and the financial support of the U.S. Agency for International Development, Regional Office for Central America and Panama (USAID/ROCAP).
5. Study of the mineral potential for fertilizers in Latin America through a contract with the Inter-American Development Bank.
6. Geological study of Xaya-Pixcaya for water supply to Guatemala City.
7. Geological advice for the study of the highway from San Jose to Limon, in Costa Rica.
8. Advice to the Central Bank of Nicaragua for a support program for the National Geological Service.
9. Geological advice to the Central Bank of the Dominican Republic.
10. Compilation of all geological information on coal resources in Central America.

In addition to these, and many studies for private companies in all Central American countries, ICAITI has played an important role at international level and has fostered the participation of Central American geologists in several projects, as well as the execution of scientific

¹ Instituto Centroamericano de Investigacion y Tecnologia Industrial Avenida La Reforma 4-47, Zona 10, Apartado Postal 1552, Guatemala.

geophysical and geological studies in Central America for international scientific organizations.

ICAITI's personnel collaborated from the beginning with the U.S. Geological Survey, the Canadian Geological Survey and the Mexican Council of Mineral Resources in the commission of the Metallogenic Map of Central America. As part of these activities, ICAITI prepared and published in 1969 the Metallogenic Map of Central America together with the corresponding descriptive text.

Within Latin America, and with the financial support of the Organization of American States, ICAITI took part in the organization of the Latin American Mineralogy Association (ALAMI), established in Concepcion, Chile, in 1966. The Institute also participated in founding the Consultative Council of Directors of Latin American Geological Services, in Caracas, Venezuela, in 1972, and since then, ICAITI has closely collaborated with the Executive Secretariat of that organization.

With the Inter-Gubernamental Oceanographic Commission, whose Secretariat is part of UNESCO, ICAITI collaborated and fostered the participation of Central American geologists in the Symposium of Geophysical and Geologic Resources of the Caribbean Region, held in Kingston, Jamaica, in 1975, as part of the International Decade of Marine Exploration.

ICAITI also collaborated with that Commission in the Symposium on Environmental Geology in the Coastal Areas of the Caribbean, held in Port of Spain, Trinidad-Tobago, in 1978. In this Symposium, the Atlantic Coast of Costa Rica was selected as one of the areas for pilot studies.

The participation of an ICAITI geologist in the Council of the International Program of Geological Correlation, sponsored by UNESCO and the International Union of Geological Sciences, spurred the preparation of several important projects not only for Central America, but also for Latin America.

ICAITI collaborated with the Institute of Marine Sciences of the University of Texas, Austin, in a geophysical survey of the marine areas of Central America. This was a preliminary step in the selection of drilling sites for scientific research as part of the Deep Sea Drilling Program. Later, ICAITI collaborated in legs 67 and 84 of this program in which drilling was carried out in the Pacific continental slope of Central America. Central American geologists participated in these legs.

As part of other activities for spurring development of geological sciences, ICAITI convened the First Meeting of Central American Governmental Geologists in 1957. The establishment of a regional school of geology was proposed, but the necessary financial support was not obtained. A few years later, in 1965, ICAITI promoted and organized, with the cooperation of a group of Costa Rican geologists, the First Meeting of Central American

Geologists at a scientific conference. Similar meetings were held later in Guatemala, Costa Rica, Honduras and Nicaragua. The proceedings of these meetings were published in a series titled "Geological Publications of ICAITI."

Several recommendations from these meetings, have been implemented, others unfortunately remained only in writing. Among those recommendations implemented, it is worthwhile to mention the preparation and publication of geological maps for each country, the setting up of national seismic networks, and the founding of the Central American School of Geology at the University of Costa Rica, one of the most important activities for the development of the scientific and professional capacity of the region. ICAITI participated in the establishment of the School of Geology through technical and financial requests placed before UNESCO and the officials of the University of Costa Rica. Later, the ICAITI also collaborated in the organization and conduct of a geological field course in Guatemala for students of the School.

During the Fourth Meeting of Central American Geologists held in Tegucigalpa, Honduras, in 1974, the Second Meeting of Governmental Geologists was also held, for the purpose of establishing a procedure for future scientific meetings and the meetings with government representatives. On this occasion, ICAITI was designed as the Permanent Secretariat for both types of events.

Unfortunately, the Fourth Meeting of Central American Geologists held in Managua, in 1984, did not follow the outlines agreed upon in Honduras.

Finally, some comments that might hopefully guarantee the carrying out of recommendations of this workshop are appropriate. Hopefully these recommendations will not simply remain a statement of the desires of Central America as to needs in the fields of mineral, hydrologic, and energy resources as well as geological hazards.

In previous years, repeated efforts were made by the Central American countries and ICAITI to obtain technical and financial assistance for geological activities. Although in a few cases the requests were successful, the projects did not achieve the expected results because of their short duration because of lack of funds and an adequate follow-up.

This Workshop has opened a new expectation for a strong, well-planned international collaboration, both at national and regional levels. This cooperation should actually contribute to fostering the economic development of the Central American countries through the study and rational utilization of geological resources, as well as the upgrading of the human resources in the earth sciences.

The responsibility and support given to ICAITI by

virtue of several recommendations compels it to place requests for financial assistance before international

funding institutions so that efforts made here will have a chance of being implemented for the benefit of the region.

FUNCION DEL ICAITI COMO ORGANISMO GEOLOGICO REGIONAL

Por Gabriel Dengo¹

El ICAITI es una institución autónoma con carácter no-lucrativo. Fue establecida en julio de 1955 por los gobiernos de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

Es una de las instituciones del llamado Programa de Integración Económica Centroamericana, del cual también forman parte, aunque fueron creados posteriormente, la Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica (SIECA), el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), Administración Pública (ICAP) y el Consejo Monetario Centroamericano (CMCA).

Como organismo multidisciplinario, una de las funciones del ICAITI, de acuerdo con el convenio de su creación en colaborar con las oficinas respectivas de los gobiernos del Istmo Centroamericano, universidades, organizaciones técnicas y otras entidades, gubernamentales o no, para promover la investigación científica e industrial y la preparación de investigadores y expertos técnicos..."

Desde que inició sus actividades en enero de 1956, con apoyo del entonces llamado Fondo Especial de las Naciones Unidas, el ICAITI contó con un geólogo y luego con un ingeniero de minas de la entidad de apoyo.

En 1964, debido a la demanda de asesoría en el campo geológico-minero tanto de parte de los gobiernos como de la iniciativa privada, se estableció la División de Geología Aplicada con más personal profesional, en su mayoría centroamericanos. Una de las finalidades principales de esta División han sido evaluar los recursos minerales que pudieran servir como materias primas para la industria del área, y prestar servicios tanto en los gobiernos como a empresas privadas en estudios geológicos. Debe anotarse que en esos años la capacidad de las oficinas geológicas nacionales no era suficiente para llenar las necesidades de cada país y por tanto el ICAITI podía servir de apoyo o de complemento.

Desde su inicio el ICAITI colaboró con los países, incluyendo Panamá, en la formulación de propuestas ante las Naciones Unidas para la ejecución de Proyectos de Investigación de Recursos Minerales y participó en parte durante la ejecución de dichos proyectos así como en la organización de un curso corto sobre técnicas de exploración de recursos minerales para geólogos centroamericanos.

Algunos de los trabajos de mayor relevancia que el ICAITI ha efectuado en el campo geológico han sido los siguientes:

1. Asesoría al INSAFI, El Salvador, en evaluación de recursos minerales.
2. Evaluación del yacimiento de hierro de Agalteca para el Banco Central de Honduras.
3. Levantamientos geológicos para estudios de geotermia en El Salvador para la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
4. Programa de levantamiento sistemático de mapas geológicos en Honduras mediante un convenio con la Dirección General de Minas e Hidrocarburos de dicho país, colaboración de la Universidad de Texas, Austin, y con apoyo financiero de ROCAP.
5. Estudio del potencial de minerales para fertilizantes en América Latina mediante un contrato con el Banco Interamericano de Desarrollo.
6. Estudio geológico del Proyecto Xaya-Pixcaya para un acueducto para introducción de agua a la ciudad de Guatemala.
7. Asesoría geológica durante el estudio de la carretera San José-Limón, en Costa Rica.
8. Asesoría al Banco Central de Nicaragua para un programa de apoyo al Servicio Geológico Nacional.
9. Asesoría geológica al Banco Central de la República Dominicana.
10. Compilación de toda la información geológica sobre recursos de carbón en América Central.

Además de estos, y de numerosos estudios para empresas privadas en todos los países del área, el ICAITI ha tenido una participación importante en el ámbito internacional y ha promovido la participación de geólogos

¹ Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Avenida La Reforma 4-47, Zona 10, Apartado Postal 1552, Guatemala, Guatemala.

centroamericanos en varios proyectos, así como la ejecución de estudios científicos de carácter geológico y geofísico en América Central por parte de organizaciones científicas internacionales y extranjeras.

Personal del ICAITI participó desde el inicio con el USGS, el Servicio Geológico de Canadá y el Consejo de Recursos Minerales de México en la Comisión del Mapa Metalogenético de Norte América y colaboró con la Comisión homóloga de Sur América. Dentro de estas actividades el ICAITI elaboró y publicó en 1969 el Mapa Metalogenético de América Central con el texto explicativo correspondiente.

En el ámbito latinoamericano, y en apoyo financiero de la Organización de los Estados Americanos, el ICAITI participó en la organización de la Asociación Latinoamericana de Mineralurgia (ALAMI), establecida en Concepción, Chile, en 1966. También participó en el establecimiento del Consejo Consultivo de Directores de Servicios Geológicos de Latinoamérica en Caracas, Venezuela, en 1972 y desde entonces ha colaborado estrechamente con la Secretaría Ejecutiva de dicho organismo.

Con la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, cuya secretaría es parte de UNESCO, el ICAITI colaboró y propició la participación de geólogos centroamericanos en el simposio sobre Geología, Geofísica y Recursos de la Región del Caribe en Kingston, Jamaica, en 1975 como parte de la Década Internacional de Exploración Marina.

También con dicha Comisión colaboró en el simposio sobre Geología Ambiental en las Áreas Costeras del Caribe celebrado en Port of Spain, Trinidad and Tobago, en 1978. En este simposio se propuso tomar como una de las áreas para estudios piloto la costa atlántica de Costa Rica.

La participación de un funcionario del ICAITI en el Consejo del Programa Internacional de Correlación Geológica, auspiciado por UNESCO y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, permitió la elaboración de varios proyectos de importancia no solo para América Central sino para América Latina.

El ICAITI colaboró con el Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Texas, Austin, en un levantamiento geofísico de las áreas marinas de América Central, preliminar a la selección de sitios de perforación para investigación científica del Programa de Perforación en Aguas Marinas Profundas (Deep Sea Drilling Program). Posteriormente colaboró en las travesías 67 y 84 de este programa durante las cuales se perforó en la parte marina centroamericana en el Pacífico. En dichas travesías también participaron geólogos centroamericanos.

En otro tipo de actividades para estimular el desarrollo de las ciencias geológicas, en 1957 el ICAITI convocó al I^a Reunión de Geólogos de América Central. En la misma se propuso la creación de una escuela regional de

geología pero no fue posible hacerlo pues no se obtuvo el financiamiento correspondiente. Varios años después, en 1965, el ICAITI promovió y organizó con la colaboración de un grupo de geólogos de Costa Rica, la Primera Reunión de Geólogos de América Central como una conferencia científica. En igual forma se organizaron posteriormente reuniones similares en Guatemala, nuevamente en Costa Rica, Honduras y Nicaragua. Las memorias de estas conferencias fueron publicadas en la serie intitulada "Publicaciones Geológicas del ICAITI."

De las varias recomendaciones emanadas de las Reuniones de Geólogos se han cumplido varias y desafortunadamente otras han quedado en el papel. Entre las que se han cumplido cabe destacar la elaboración y publicación de mapas geológicos a nivel de cada país, el establecimiento de redes sismológicas nacionales y, la más importante para el desarrollo de la capacidad profesional y científica de la región, la creación de la Escuela Centroamericana de Geología en la Universidad de Costa Rica. El ICAITI participó en el establecimiento de la escuela mediante gestiones de colaboración técnica y financiera con UNESCO así como con gestiones ante las autoridades superiores de la Universidad de Costa Rica. Posteriormente también colaboró en la organización y conducción de un curso de geología de campo para estudiantes de la escuela efectuado en Guatemala.

Paralelamente a la IV Reunión de Geólogos de América Central en Tegucigalpa en 1974 se celebró la II Reunión de Geólogos Gubernamentales con el objeto de establecer un procedimiento para los futuros congresos o conferencias científicas así como para las reuniones de los representantes de los gobiernos. En esa ocasión por consenso se acordó designar al ICAITI como Secretaría Permanente de ambos tipos de evento.

El VI Congreso Geológico de América Central celebrado en Managua en 1984, desafortunadamente se apartó de los lineamientos aprobados en Honduras por los representantes de los gobiernos.

Finalmente, como resultado de las recomendaciones emanadas en este Seminario, es apropiado hacer unos comentarios de tipo general con el fin de que se les pueda hacer el seguimiento correspondiente y no queden nada más como una declaración de lo que los Centroamericanos aspiran realizar en el campo de los recursos minerales, energéticos, hidrológicos y de riesgo geológico.

En años anteriores se hicieron repetidos esfuerzos por parte de los países del istmo así como por parte del ICAITI para obtener asistencia técnico-financiera para actividades geológicas. Aunque en algunos casos las gestiones fructificaron, los proyectos efectuados no dieron los resultados esperados por ser de corta duración, por falta de un seguimiento adecuado o por limitaciones de fondos.

Este Seminario ha abierto una nueva expectativa para una colaboración internacional fuerte, bien planificada tanto en el ámbito regional como a nivel nacional,

que realmente permita coadyuvar al desarrollo económico de los países centroamericanos mediante el estudio de sus recursos geológicos y su aprovechamiento racional, así como mediante el fortalecimiento de los recursos humanos en las ciencias de la tierra.

La responsabilidad y el apoyo que se le han dado al

ICAITI en varias de las recomendaciones lo comprometen a continuar gestionando ante entidades internacionales de financiamiento los medios necesarios para que el esfuerzo hecho conjuntamente durante el Seminario pueda llegar a convertirse en proyectos específicos para beneficio de la región.

CONCLUSIONS

In most of Central America, the various geoscience disciplines have developed unevenly, resources have not been assessed, and little organized information has been assembled. In some countries, prior work in some agencies has resulted in basic geologic data sufficient to allow sophisticated assessments of mineral, energy, and water resources; in other countries, collection of basic data has just begun. Although geoscience agencies in the region are commonly understaffed and underfunded, the technical staff available is commonly young, enthusiastic, willing, and able to absorb additional training. Importantly, agencies within all of the Central American countries represented here are working on the acquisition of geologic knowledge, and the application of this knowledge to their problems. The workshop was successful in that the

Central American participants did establish their own priorities for short-and long-term geoscience programs. In doing so, they have also recognized the utility of geologic information in planning the futures of Central American nations.

United States agencies have the expertise and personnel needed to assist the nations of Central America in every aspect of the science, but, in particular, the United States can assist geoscientists and geoscience agencies of the region in training, data integration and application, and program design. Possible activities range from assisting local governments in the consolidation of activities in fewer agencies to the conduct of geoscience data acquisition in the region.

CONCLUSIONES

En casi toda América Central los conocimientos geocientíficos no han sido desarrollados uniformemente, los recursos no han sido evaluados y muy poca información ha sido compilada. Mientras que en algunos países, trabajos previamente realizados dieron por resultado suficiente información básica de geología que permitió la evaluación sofisticada de minerales, energía y recursos hídricos, en otros países la compilación de información ha comenzado recientemente. Cabe señalar, que agencias en casi todos los países representados de América Central están trabajando en la adquisición de conocimientos geológicos y la aplicación de estos conocimientos a los problemas relacionados con los mismos. A pesar que las agencias geocientíficas en la región no poseen suficiente personal y tampoco suficiente fondos monetarios, el personal técnico disponible es joven,

entusiasta, deseoso y capaz de asimilar entrenamiento adicional. El taller fué un éxito ya que permitió que los participantes tuvieran la oportunidad de establecer prioridad con respecto a programas de larga y corta duración, como así también reconocer la importancia y la utilidad de la información geológica como parte del futuro de los países centroamericanos.

Las agencias de Estados Unidos tienen la experiencia y el personal necesario para apoyar los países de Centro América con respecto a ciencia, pero en particular Estados Unidos puede apoyar a los geocientíficos y a las agencias mismas en entrenamiento, compilación de información y su aplicación como también en el diseño de programas. Estas actividades varían desde el apoyo a gobiernos locales a la adquisición de información en la región.

INVITED PARTICIPANTS

PARTICIPANTES INVITADOS

BELIZE

1. GARDINER, CLINTON
National Project Director
Petroleum Office, Ministry of Natural Resources
34-36 Unity Blvd.
BELMOPAN, BELIZE, C.A.
Telephone: 08-26-51
2. RAO, PRASADA
Petroleum Geologist
Ministry of Natural Resources
P.O. Box 157
BELMOPAN BELICE, CENTRAL AMERICA
Telephone: 08-21-78
Telex: 101 MF INVEST B2 67

COSTA RICA

1. CASTILLO, ROLANDO
Director
Escuela Centroamericana de Geología
Universidad de Costa Rica
SAN JOSE, COSTA RICA
Telephone: 25-79-41
2. CASTRO M., JOSE FRANCISCO
Secretario Técnico Sub-Sector Minas
Ministerio de Industria Energía y Minas
Apartado 4752
SAN JOSE 1000, COSTA RICA
Telephone: 33-45-33
3. ESCALANTE, GREGORIO
Geologo
Consultoría Geológica
Apartado 74, PAVAS, SAN JOSE
Telephone: 32-33-05 (office) 32-42-01 (Lab.)
4. FERNANDEZ C., MARIO
Director
Hidrogeoconsultas, S.A.
Apartado 40-1200
SAN JOSE, COSTA RICA
Telephone: 32-1856

5. PROTTI Q., JORGE MARINO
Geólogo
Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica
Universidad Nacional
HEREDIA, Apartado 86
Telephone: 37-32-57
6. PROTTI Q., ROBERTO
Geólogo
Jefe Departamento Hidrogeología
SENARA
100E 50N Estacion Pacifico
Apartado 5262
Telephone: 22-02-65
Cable: AQUASUB
7. RAMIREZ E., OLDEMAR
Director de Recursos Carboníferos y Turb.
Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE)
Apartado 4351, zona 1000
SAN JOSE, COSTA RICA
Telephone: 33-03-33

EL SALVADOR

1. AGUILAR, CARLOS
Geologo
Centro de Investigaciones Geotécnicas
Final Avenida Peralta
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 22-90-11
2. BURGOS O., RICARDO
Director
Centro de Investigaciones Geotécnicas (MOP)
Calle la Chacra, Contiguo Talleres el Coro
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 22-90-11
3. BAXTER, SCOTT
Geólogo en Jefe Sección Geofísica y Sísmica
CEL
Centro de Gobierno
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 71-08-55

4. CUELLAR, GUSTAVO
Jefe del Programa de Geotermia
OLADE (Organización Latinoamericana de
Energía)
P.O. Box 01-478
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 23-51-83
5. ESPINOSA CH., NOEL
Superintendente Planificación y Estudios
Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa
(CEL)
Centro de Gobierno
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 71-2056 - 20303
6. GONZALEZ M., JOSE ANTONIO
Jefe del Departamento de Sismología
Centro de Investigaciones Geotécnicas (MOP)
Apartado Postal 109
SAN SALVADOR, EL SALVADOR
Telephone: 22-90-11

GUATEMALA

1. ALEGRIA R., LUCRECIA
Jefe Departamento Percepción Remota
Instituto Geografico Militar
Avenida Las Américas 5-76, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 63281-3
2. ALMENGOR CH., JULIO ROBERTO
Jefe del Departamento de Topografía y Estudios
Cuerpo de Ingenieros del Ejército
13 avenida 16-61, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 67291 - 67691
3. ALVARADO, RODOLFO
Geólogo
INDE
Edificio INGUAT, Nivel II, zona 5
GUATEMALA
Telephone: 31-82-32
4. ALVAREZ, FRANCISCO
Geólogo
INSIVUMEH
7a. avenida 14-57, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-67
5. ASTURIAS, MARCO
Director
Instituto Geográfico Militar
Avenida Reforma 5-76, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-61-80
6. BLOOM, REYNOLD
AGDO
ROCAP
Hotel El Dorado Americana
GUATEMALA
Telephone: 31-77-77
7. BONIS, MAITE
Geóloga
23 avenida 7-76, zona 15, V.H. I
GUATEMALA
Telephone: 69-09-27
8. BONIS, SAMUEL
Geólogo
Consultor, Bonis, Bonis y Bonis
23 avenida 7-76, zona 15
GUATEMALA
Telephone: 69-09-27
9. CARBALLO H., MIGUEL ANGEL
Geólogo Petrolero
Dirección General de Hidrocarburos
Ministerio de Energía y Minas
Diagonal 17, 29-78, zona 11
GUATEMALA
Telephone: 79-06-79/82
10. CARR, CLARA
Deputy Program Officer
USAID/GUATEMALA
c/o American Embassy
GUATEMALA
Telephone: 31-15-41
11. CATALAN C., RICARDO ENRIQUE
Jefe Unidad Plan Maestro
INDE
6a. avenida 2-73, zona 4
GUATEMALA
Telephone: 31-53-87
12. DENG0, GABRIEL
Consultor
ICAITI
Avenida Reforma 4-47, zona 10
GUATEMALA
Telephone: 31-74-66 - 68-34-03
13. FERNANDEZ, CESAR
Director
Centro Estudios Superiores Energía y Minas
Facultad de Ingeniería
USAC
Ciudad Universitaria, zona 12
GUATEMALA
Telephone: 76-04-23

14. GODOY H., JUAN CARLOS
Coordinador Técnico
CECON
Avenida La Reforma 0-63, zona 10
GUATEMALA
Telephone: 31-09-04
15. GORDILLO M., VICTOR ROLANDO
Jefe Sección Pequeña Minería
Dirección General de Minería
Ministerio de Energía y Minas
Diagonal 17, 29-78, zona 11
GUATEMALA Telephone: 76-06-79/82
Telex (372) 55516 PETGUA-GU
16. HERNANDEZ F., SERGIO
Jefe Sección Agua Superficial
INSIVUMEH
7a. avenida 14-57, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-86
17. LEMMERHOFER, CARLOS P.
Jefe de Planeamiento y Control
Instituto Geográfico Militar de Guatemala
Avenida Las Americas 5-76, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 63281/3
18. LOPEZ M., EFRAIN
Jefe de la División de Estudios Geográfico
Instituto Geográfico Militar
Avenida Las Américas 5-76, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 63281
19. MARTINEZ G., CARLOS
Jefe Departamento Sistemas Geofísicos
INSIVUMEH
7a. avenida 14-57, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-67 - 32-47-22
20. GIRON M., RAFAEL
Ingeniero III
DIRYA (Direc. Técnica de Riego y Avenamiento)
7a. avenida 12-90, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-67 - 32-47-22
21. MENDEZ L., RODOLMIRO
Asesor Técnico
Unidad de Coordinación de la
Administración Pública
UNICAP
6a. avenida 4-19, zona 1
Telephone: 53-89-09 - 51-71-13 - 22424 Ext. 260
GUATEMALA
22. MONROY DE GOMEZ, CARLOTA
Jefe Departamento Zoología
Escuela de Biología Universidad de San Carlos
Calle Mariscal Cruz 1-56, zona 10
GUATEMALA
Telephone: 31-09-04
23. MONROY E., VIOLETA
Asesor Técnico
UNICAP
Unidad de Coordinación de la
Administración Pública
6a. avenida 4-19, zona 1
GUATEMALA
Telephone: 53-89-09 - 51-71-13
24. ODLE LAWRENCE
Oficialde Prestamos
USAID/GUATEMALA
c/o Embajada de Estados Unidos
Telephone: 31-15-41
25. ORDONEZ O., JOSE LUIS
Director de Limites y Aguas Int.
DIRECCION DE LIMITES Y AGUAS INTERNACIONALES
14 calle "A" 9-49, zona 1
GUATEMALA
Telephone: 53-16-25 - 53-56-12
26. PELLECEER S., ANTONIO
Ingeniero Encargado de la Frontera con Honduras
DIRECCION DE LIMITES Y AGUAS INTERNACIONALES
14 calle "A" 9-49, zona 1
GUATEMALA
Telephone: 53-16-25
27. PINZON, OSCAR ENRIQUE
Jefe del Departamento de Investigación Minera
DIRECCION GENERAL DE MINERIA
Ministerio de Energía y Minas
Diagonal 17, 29-78, zona 11
GUATEMALA
Telephone: 76-06-97/82 Ext. 135
Telex: 5516 PETGUA
28. RECINOS P., CESAR ENRIQUE
Consultor
Blvd. Cipresales 11-08, zona 5, Col. Asuncion
Telephone: 50-09-72
29. SALAZAR, OSCAR D.
Jefe Division de Geología
Instituto Geográfico Militar
Avenida Las Américas 5-76, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 63281/83

30. **SAMAYOA, JOSE FERNANDO**
Representante EMPAGUA
Empresa Municipal de Agua -EMPAGUA
16 avenida "B" 19-68, zona 6, Proyecto 4-4
GUATEMALA
Telephone: 56-64-94
31. **SANCHEZ B., EDDY**
Subdirector General
INSIVUMEH
7a. avenida 14-57, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-67
32. **TOBAR, CARLOS ALBERTO**
Coordinador Area Geología, Minas y Petróleo
Facultad de Ingeniería - USAC
Ciudad Universitaria, zona 12
GUATEMALA
Telephone: 76-03-65 - 93-00-86
33. **TOBIAS G., EDGAR**
Ingeniero Supervisor General
INDE
San José Villa Nueva - Guatemala Sur
GUATEMALA
Telephone: 03-10-32
34. **VELASQUEZ V., ESTUARDO**
Director General
INSIVUMEH
7a. avenida 14-57, zona 13
GUATEMALA
Telephone: 31-49-67
35. **ZETINA, MIGUEL ANGEL**
Ingeniero Proyectos Especiales
ICAITI
Avenida Reforma 4-47, zona 10
GUATEMALA
Telephone: 31-74-66

HONDURAS

1. **ANDREWS, ATHENA**
Geologist
Instituto Geográfico Nacional/Cuerpo de Paz
Apartado C-51
TEGUCIGALPA, D.C., HONDURAS
Telephone: 32-17-53
2. **GARCIA, LUIS**
Representante del Secretario Ejecutivo
Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH)
P.O. Box 718

- TEGUCIGALPA, HONDURAS
Telephone: 33-11-04 - Telex 1390 HO
3. **FLORES, RAUL**
Gerente General
Empresa Nacional de Energía Eléctrica
Apartado Postal 99
TEGUCIGALPA, D.C. HONDURAS
Telephone: 22-84-66
4. **LOPP, CAROL**
GEOLOGIST
Instituto Geográfico Nacional
c/o E. Fertsch, Apartado 611
TEGUCIGALPA, D.C., HONDURAS
Telephone: (504) 33-76-03 74
5. **MASS, MARCO ANTONIO**
Sub-gerente de Ingeniería y Construcción
Empresa Nacional de Energía Eléctrica
Apartado 99
TEGUCIGALPA, D.C., HONDURAS
Telephone: 22-43-73 - Telex 1128 HT
6. **RIVERA, CARLO HUGO**
Geólogo-Coordinador Promoción Petrolera
Dirección General de Minas e Hidrocarburos
Blvd. Centroamérica
TEGUCIGALPA, D.C., HONDURAS
Telephone: 32-67-21, 32-78-48
Telex: 1404 SERENA HO
7. **PEREDES, RODRIGO**
Geólogo
Empresa Nacional de Energía Eléctrica - ENEE
Apartado 99
TEGUCIGALPA, HONDURAS
Telephone: 22-85-10 - 22-24-32 Ext. 277-225
8. **WAIMIN, MARCO ANTONIO**
Jefe de la División de Ingeniería Civil
Empresa Nacional de Energía Eléctrica - ENEE
Apartado 99
TEGUCIGALPA, HONDURAS
Telephone: 22-85-10 - 128 ENEEHT (Telex)

ICAITI

1. **LIC. FRANCISCO AQUIRRE B.**
Director
ICAITI
Apartado Postal 1552
Avenida Reforma 4-47, zona 10
GUATEMALA
Telex: 5312 ICAITI-GU

2. **LIC. FERNANDO MAZARIEGOS**
Chief, Analysis & Testing Division
ICAITI
Apartado Postal 1552
Avenida Reforma 4-47, zona 10
GUATEMALA
Telephone: 317466 Telex: 5312 ICAITI-GU
3. **ING. LUDWIG INGRAM**
Deputy Director
ICAITI
Apartado Postal 1552
Avenida Reforma 4-47, zona 10
GUATEMALA
Telex: 5312 ICAITI-GU

PANAMA

1. **RAMIREZ, ARTURO**
Jefe de Investigaciones Geologicas
IRHE - Panama
Apartado 63046 EL DORADO
PANAMA
Telephone: 073575 621726
2. **ROQUEBERT, JAIME**
Presidente
Empresa de Cobre Cerro Colorado, S.A.
Apartado 5312
PANAMA 5, PANAMA
3. **SAENZ, JOSE**
Administrator
Inst. de Geociencias
Universidad de Panama
Apartado Postal 6-3912 - Panama 6A
PANAMA
Telephone: 63-7671 - 63-7703

UNITED STATES

1. **ARCHER, ROBERT**
Energy Officer
AID
Dept. of State
WASHINGTON, D.C. 20523
Telephone: 202/632-0212
2. **ASHLEY, ROGER**
Geologist
USGS
345 Middlefield Road, MS 41
MENLO PARK, CALIFORNIA 94025
Telephone: 415/323-8111
3. **BENNETT, HAROLD**
Chief, Minerals Availability Field Office
U.S. Bureau of Mines

- Dept. of Interior
Denver Federal Center
DENVER, COLORADO 80225
Telephone: 303/236-5200
4. **BERGER, BYRON**
Chief, Branch of Exploration Geochemistry
USGS
5956 McIntyre Street
GOLDEN, COLORADO 80403
Telephone: 303/776-1800
5. **BOLIVAR, STEPHEN**
Staff Geochemist
Los Alamos National Laboratory
M.S. D462
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87545
Telephone: 505/667-1868
6. **CARGILL, SIMON**
Branch of Resource Analysis
USGS
920 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6147
7. **CAMPBELL, DONALD**
Geofisico
IAGS
4227 Hilton Head
SAN ANTONIO, TEXAS 78217
Telephone: 512/221-7735
8. **CAMPBELL, RUSSELL**
Geologist
USGS
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6784
9. **COX, DENNIS**
Geologist
USGS, MS 41
345 Middlefield Road
MENLO PARK, CALIFORNIA 94025
Telephone: 415/323-8111
10. **CARR, MICHAEL**
Professor
Rutgers University, Geological Sciences
NEW BRUNSWICK, NEW JERSEY
Telephone: 201/932-3619
11. **COHEN, ROBERT**
Consultor
8402 Donnybrook Drive
CHEVY CHASE, MARYLAND 20815
Telephone: 301/565-0439
12. **CHAVEZ, WILLIAM**
Professor of Geological Engineering
New Mexico Institute of Mining & Technology
Dept. of Geological & Mining Engineering
SOCORRO, NEW MEXICO 87801
Telephone: 505/835-5317

13. EDGAR, TERRY
Geologist
USGS
915 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-5301
14. EVANS, DOYLE
Los Alamos National Laboratory
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87545
Telephone: 505/667-3644
15. FOUCH, THOMAS
Chief, Branch of Energy Minerals
USGS
P.O. Box 25046, MS 916
Denver Federal Center
LAKEWOOD, COLORADO 80225
Telephone: 303/776-1644
16. GROSSLING, BERNARDO
Natural Resources Advisor
Inter-American Development Bank
801-17th Street
WASHINGTON, D.C. 20577
Telephone: 201/634-8583
17. GOODWIN, JR., GEORGE
Chief Librarian
USGS
950 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-4305
18. HESTER, JAMES
Chief, Environmental Officer
USAID
WASHINGTON, D.C. 20523
Telephone: 202/632-0207
19. HORNE, GREGORY
Geologist
Wesleyan Univ.
MIDDLETON, CONNECTICUT
Telephone: 203/347-949
20. HOOVER, DONALD
Geophysicist
USGS
Box 25046, MS 964
Denver Federal Center
DENVER, COLORADO 80225
Telephone: 303/776-1326
21. IVES, RICHARD
Foreign Activities Specialist/Hydrologist
Bureau of Reclamation
Room 7633
WASHINGTON, D.C. 20240
Telephone: 202/343-5236 Telex: 248613 DOTA UR
22. KRUSHENSKY, RICHARD
Deputy Chief, Latin America
Office of International Geology
USGS
917 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6060
23. LANDIS, EDWIN
Geologist
USGS
Box 25046, MS 972
Denver Federal Center
DENVER, COLORADO 80225
Telephone: 303/776-7756
24. LEWIS, JOHN
Professor
George Washington University
WASHINGTON, D.C. 20052
Telephone: 202/626-6287
25. LUKIS, PANDELIS
Jefe Proyecto
Defense Mapping Agency
Inter American Geodetic Survey
U.S. Embassy
GUATEMALA
Telephone: 67770
26. LOHRDING, RON
Assistant Director
Los Alamos National Laboratory
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87545
Telephone: 505/667-4960
27. MCDOWELL, ROBERT
Geologist
USGS
928 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6929
28. MORGAN, BENJAMIN
Assistant Chief Geologist
USGS
911 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6640
29. PLUNKETT, JERRY
Vice Chancellor-Research & Technology
University of Denver
DENVER, COLORADO 80208
Telephone: 303/871-2368
31. QUINONEZ, FRED
Director Distrito
USGS
SAN JUAN PUERTO RICO
GVO BOX 4424 San Juan, P.R. 00936
Telephone: 809/753-4414

32. RAINES, GARY
Deputy Chief, Office of Mineral Resources
USGS
913 National Center
RESTON, VIRGINIA 22092
Telephone: 703/648-6111
33. SABADELL, ALBERTO
Project Manager, Office of Energy
USAID
WASHINGTON, D.C. 20523
Telephone: 703/235-8918
34. TROCKI, LINDA
Mineral Economist
Los Alamos National Laboratory
MS F605, P.O. 1663
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87544
Telephone: 505/667-2234
35. DUFFIELD, WENDELL
Geologist
USGS
2255 North Gemini Drive
FLAGSTAFF, ARIZONA
Telephone: 602/527-7205
36. WHETTEN, JOHN
Division Leader
Earth & Space Sciences Division
Los Alamos National Laboratory
LOS ALAMOS, NEW MEXICO 87544
Telephone: 505/667-3644
37. WHITE, RANDALL
Sismologo
USGS
345 Middlefield Road
MENLO PARK, CALIFORNIA 94025
Telephone: 415/323-8111
38. ZOELLNER, DAVID
Assistant Administrator, Int'l Programs Division
National Rural Electric Cooperative Association
1800 Massachusetts Avenue, N.W.
WASHINGTON, D.C. 20036
Telephone: 202/857-9696 Telex: 64260