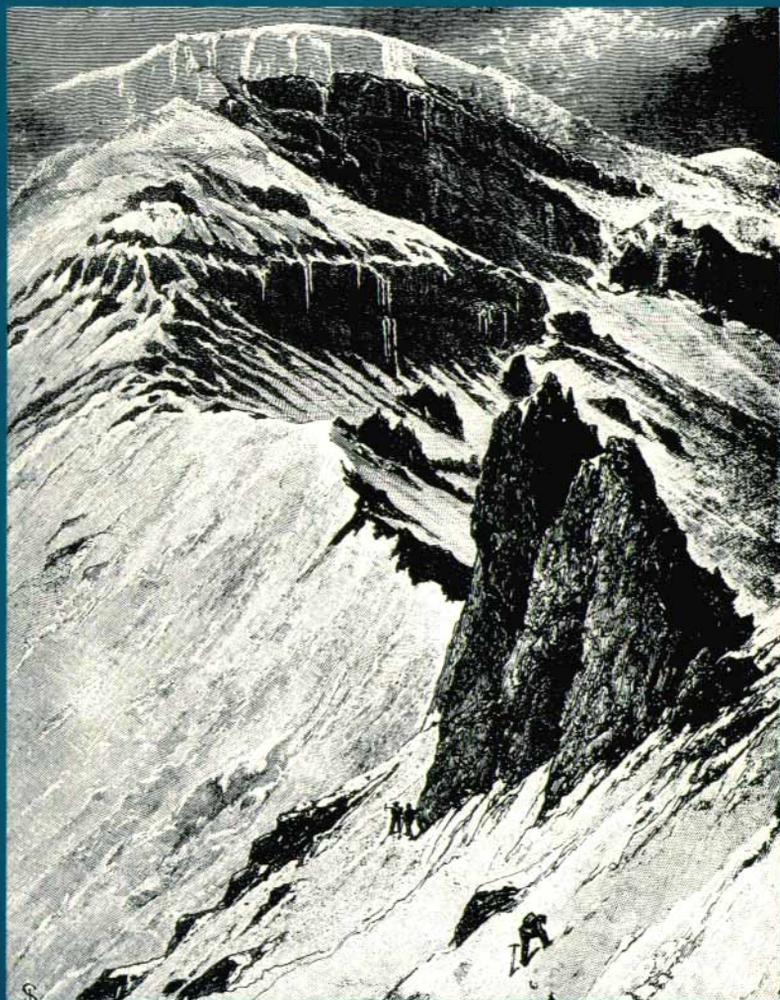


MONTAÑAS, GLACIARES Y CAMBIOS CLIMATICOS



ENCUENTRO CIENTIFICO
MEMORIAS
ORSTOM - FUNDACYT
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL



MONTAÑAS, GLACIARES Y CAMBIOS CLIMATICOS

MEMORIAS

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
ORSTOM - FUNDACYT**

28 octubre - 1 noviembre /96

**Memorias del Seminario
MONTAÑAS, GLACIARES Y CAMBIOS CLIMATICOS**

© EPN

Editores: Remigio Galárraga - Bladimir Ibarra

Diseño y artes: Create diseño gráfico - Telf 523 714

Impresión: PPL Impresores - Telf: 520 273

Impreso en Ecuador

Marzo 1997

INDICE

PRESENTACION	5
PONENCIAS DEL SEMINARIO	
Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en el Ecuador	
Luciano Andrade	9
Escenarios hidrológicos en La Mica	
Luciano Andrade	23
Climate change and Glaciation in Mountain	
M. Williams	35
Estado de la Red de Monitoreo existente e impacto de los Eventos ENSO	
B. Francou, H. Sémiond	43
La red de Monitoreo Glacio-Hidrológica en el Ecuador. Investigación fundamental y aplicaciones.	
H. Semiond, A. de la Cruz	53
El Glaciar de Chacaltaya (Bolivia) Tendencias al balance de masas.	
E. Ramírez, B. Francou	63
Biogeochemical Responses to Climate Changes	
M. Williams	75
Utilización de los Modelos de Circulación General en la creación de escenarios.	
E. Palacios	83
Estado del arte de la investigación climática en la ESPOL	
J. L. Santos	97
APENDICE	
El proceso del cambio climático en el Ecuador	
L. Cáceres	107
Recursos hídricos en el Ecuador	
R. Galárraga	119

PRESENTACION

Los recursos hídricos provenientes del escurrimiento superficial de las montañas y más específicamente de glaciares ubicados en los Andes tropicales de Perú, Bolivia y Ecuador, son una fuente de abastecimiento de agua potable y suministro de energía eléctrica para grandes conglomerados humanos asentados en las ciudades de Lima, La Paz y Quito.

En los últimos 50 años, en dichos países han ocurrido desastres naturales ocasionados por avalanchas, aluviones y erupciones volcánicas de nevados y volcanes, que han causado la muerte a más de 50 000 personas.

Los pronósticos climáticos en base a la red hidrometeorológica del Ecuador, conjuntamente con la información básica que se debe levantar en nuestros glaciares nos puede permitir anticipar con un margen de tiempo prudencial, de aproximadamente tres meses, las posibles catástrofes naturales que puede devenir de esos eventos, tales como El Niño de 1982.

En Perú el retroceso de los glaciares ha significado una reducción de los caudales de generación hidroeléctrica de muchas centrales ubicadas en las zonas de montaña, localizadas muy cerca de glaciares importantes, por lo que el diseño realizado hace veinte años ha dejado de ser adecuado a las circunstancias actuales.

En Bolivia se registra un lento pero persistente retroceso de glaciares, los cuales son monitorizados por la Universidad Mayor de San Andrés y el ORSTOM, lo cual ha significado, a más de la disminución de los usos recreativos y sus ingresos, en glaciares como el de Chacaltaya, la disminución de caudales que servían para cubrir necesidades vitales de la población, como el suministro de agua potable. Igualmente, se ha llegado a demostrar una disminución del rol regulador de los glaciares en los caudales de generación hidroeléctrica para la ciudad de La Paz.

El cambio climático monitorizado en los Estados Unidos, en las planicies de las Montañas Rocallosas, muestra que existe un incremento de precipitación en las zonas montañosas y una disminución en las planicies. Al existir más nieve en las montañas, producto del incremento en precipitación, existirá un incremento del escurrimiento superficial en ríos y por lo tanto un mayor arrastre de contaminantes tales como el monóxido de carbono y el amonio.

Por las razones mencionadas, los científicos reunidos en Quito advierten a la comunidad científica ecuatoriana y a los organismos nacionales que tienen relación con la administración de nuestros recursos naturales, la necesidad de dictar políticas orientadas a fortalecer los proyectos de investigación e incentivar a la masa crítica de investigadores y de organismos competentes a fin de promover el estudio de los glaciares como posibles fuentes de agua, como centro de posibles desastres naturales y como un indicador sensible del cambio climático en los trópicos.

El evento científico, cuyas principales ponencias recogemos en las presentes Memorias ha sido financiado por el FUNDACYT, el ORSTOM y la Escuela Politécnica Nacional y ha contado con la decidida colaboración de científicos nacionales y extranjeros de mucha valía, así como de varias instituciones entre las cuales podemos citar: INAMHI, ESPOL, IFEA, UNIVERSITY OF COLORADO-BOULDER, UNIVERSIDAD MAYOR SAN ANDRES DE BOLIVIA, ELECTROPERU del Perú y la Escuela Politécnica Nacional.

Esperamos que la presencia de tan distinguidos expositores contribuya, por medio de las presentes Memorias, a: familiarizarnos con el estudio de cambios climáticos y de los glaciares andinos como posibles fuentes de agua fresca y de buena calidad; definir las investigaciones y las técnicas más adecuadas para el estudio de los glaciares tropicales andinos como indicadores sensibles de los posibles cambios climáticos; y, difundir y discutir los estudios realizados sobre la hidrología y glaciares en zonas de montaña del Ecuador.

Finalmente, esperamos que el trabajo presentado sirva para hacer conciencia sobre la necesidad de trabajar urgentemente de manera regional y multidisciplinaria, pues el retroceso acelerado de los glaciares será testigo del cambio climático y del uso irracional de nuestros recursos e incluso nos, obligará a revisar nuestros símbolos patrios, pues el Chimborazo, cubierto de nieve y hielo en nuestro escudo, será solo una montaña de roca.

LOS EDITORES

PONENCIAS DEL SEMINARIO

REGIMEN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ECUADOR

Dr. Ing. Laureano Salvador Andrade Chavez
Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

El régimen de lluvias del Ecuador, como fenómeno extremadamente variable en el tiempo, tanto como en su distribución superficial, se analiza con la presentación de dos casos de estudio. El primero, trata la caracterización de la lluvia al interior del año, como elemento directamente condicionante de la ocurrencia de caudales mínimos en el sur ecuatoriano; análisis relacionado con un proceso continuo en el tiempo, pero discretizado a nivel mensual. Y el segundo, aspectos sobresalientes de las lluvias intensas de Quito; fenómenos asociados a eventos, como tormentas, y que sus comportamientos demuestran características singulares, como son: independencia de la geografía, tendencias de aumento de las intensidades máximas en el tiempo, sesgo natural positivo de los patrones de tormenta y cierta distribución en grupos de duraciones reales cortas, medias y largas.

ABSTRACT

The precipitation regime in Ecuador, as an extremely variable phenomenon in time as well as in space, is showed by means of two case studies. The first is the characterization of precipitation during the year as an element that is directly related to the occurrence of minimal flow rates in southern Ecuador. This analysis is based on a continuous process in time, but discretized at a monthly level. The second case study presents relevant aspects of intense precipitation in Quito. These phenomena are related to events, like storms and whose behaviour show particular characteristics as there are: geographical independence, trend to increasing maximum intensities, natural positive skew of the storm patterns and some tendency to grouping in short, medium and large real duration storms.

CASO 1: CARACTERIZACION DE LA LLUVIA AL INTERIOR DEL AÑO

El texto que se expone a continuación recoge una parte del trabajo presentado y defendido en 1990 (1). En él, por primera vez de forma numérica, se asocia la ocurrencia de caudales mínimos en el sur ecuatoriano con el fenómeno El Niño, y se demuestra que los estiajes de mayor severidad se asocian al evento opuesto, ahora conocido como La Niña o el Viejo.

MARCO FISICO, INFORMACION BASICA

El análisis se orienta a considerar la distribución al interior del año de la lluvia como elemento condicionante de la ocurrencia de estiajes. Las precipitaciones en conjunto con los factores propios de la superficie de drenaje y la actividad antrópica definen el régimen de caudales en los períodos de aguas bajas.

El área de estudio, ver Gráfico 1, comprende el sur ecuatoriano, por debajo del paralelo 3 de latitud sur, el océano Pacífico y los límites con Perú, con una superficie aproximada de 35.000 km². Se debe notar que los límites orientales del área considerada no están definidos.

De norte a sur el área es cruzada por los ramales de la cordillera de los Andes, que la divide en tres regiones: occidental o costa; zona montañosa y la región oriental o simplemente oriente.

El análisis de la distribución de las áreas con la altura muestra que, aproximadamente el 72% de la superficie total se localiza por sobre los 1000 m de altitud, situación que demuestra la enorme influencia de los masivos montañosos en los procesos climatológicos e hidrológicos que tienen lugar en este territorio. La cordillera central sirve de divisoria de aguas de los ríos que escurren a los océanos Pacífico y Atlántico.

La llanura occidental ocupa alrededor del 10% del área total. La parte montañosa incluye las laderas occidentales, los valles intermontañosos, y las laderas orientales de los Andes, esta última está cubierta por bosques tropicales y una densa red hidrográfica, en donde se localizan también los nacimientos del río Amazonas.

La zona de estudio ha sido poco estudiada, sin embargo de estar caracterizada por la gran variedad de condiciones climáticas y físicas presentes.

El clima, de acuerdo a Pourrut y otros (2), es tropical megatérmico seco en la llanura occidental, variando a ecuatorial mesotérmico semi-húmedo en la ladera occidental de los Andes y en los valles intermontañosos. En la ladera oriental de la cordillera central como en el oriente propiamente, el clima es tropical megatérmico húmedo.

De acuerdo a otras clasificaciones, por ejemplo Alisov (3), el clima de la región oriental es ecuatorial, en donde las características climáticas varían relativamente poco en el transcurso del año, y la humedad se mantiene alta; entre los límites de la zona montañosa el clima varía sensiblemente con la altitud; mientras que en la región occidental el clima es subecuatorial, que se forma por la acción del desplazamiento de la zona de convergencia intertropical.

El clima del sur ecuatoriano está determinado por la relativa proximidad a la línea ecuatorial, las particularidades orográficas dadas por la cordillera de los Andes y los procesos de circulación atmosférica en las latitudes ecuatoriales y tropicales. En estos procesos influyen fuertemente el fenómeno "ENSO - El Niño, Oscilación del Sur".

La influencia de la barrera montañosa en el movimiento del aire, de acuerdo a Barri (4), depende de sus dimensiones (altura, longitud ancho y distancia entre las cadenas montañosas consecutivas) y las particularidades de las corrientes de aire (orientación del viento en dirección del obstáculo, perfiles verticales de velocidades del viento y su estabilidad). Si en calidad de ejemplo, se asume que la velocidad del viento es de 10 m/s y normales gradientes de tem-

peraturas de las corrientes de aire, las masas húmedas pueden superar obstáculos de hasta 545 m de altitud; según el mismo autor, el ancho del obstáculo que provoca el bloqueo de masas de aire, es aproximadamente 36 km. Por lo anotado es claro que, la cordillera central de los Andes, con altitudes mayores a 3000 msnm, es un obstáculo importante al paso de las masas de aire orientales y occidentales, por consiguiente, se constituye en principal límite climático en la zona, aspecto que se demuestra adelante.

La red hidrográfica está constituida por los sistemas de los ríos Jubones, Puyango, Catamayo, Mayo y Santiago.

La presente regionalización de la precipitación, como se indicó antes se orienta a entender el comportamiento de los caudales mínimos en la zona de estudio.

Se considera en el análisis datos de 58 puntos de observación, distribuidos no uniformemente; la mayor concentración de estaciones se da en la región intermontañosa con el 69% para un 49% de área; en la zona oriental se observa la menor, con apenas 15% para el 36% del área, y la región occidental con el 16% de las estaciones para un 15% del área.

En promedio, en la zona intermontañosa una estación corresponde a 380 km² de área, en la costa - a 480 km² y en el oriente - a 1.260 km².

La distribución de las estaciones con la altura, en general, es uniforme hasta los 3000 m de altura, por sobre esta cota solamente se dispone 2 estaciones (3%), correspondientes al 10% del área. Se nota la escasa presencia de estaciones en las laderas exteriores de las cordilleras.

El análisis de la representatividad de la información de lluvia en el tiempo, muestra que el 60 % de los puntos tiene más de 20 años de datos, el 60 % de las estaciones registran solamente la variable lluvia.

En síntesis, la información disponible sin ser óptima permite fundamentar razonablemente la regionalización propuesta.

INFLUENCIA DIRECTA DE LA PRECIPITACION EN LOS CAUDALES MINIMOS

La influencia directa de la lluvia en el caudal mínimo se valora mediante la característica numérica K_x , definida por la relación entre la suma de precipitaciones del período seco julio-diciembre, y la lluvia anual.

La variación de esta característica en el sur ecuatoriano permite definir áreas sujetas a la acción de vientos occidentales ($K_x < 0.4$) y orientales ($K_x > 0.4$).

El valor crítico $K_x = 0.4$ se obtuvo a partir del análisis de la forma de los hietogramas de lluvias mensuales, pues unos presentan sesgos positivos, con clara influencia occidental; otros tienden a distribuciones simétricas, que reflejan el régimen oriental amazónico; y ciertos diagramas de los valles intermontañosos, una distribución bimodal, que sugiere la incidencia de masas de aire tanto del occidente como del oriente.

En valores medios, como se muestra en el Gráfico 2, K_x varía en la

región occidental entre 0.1 y 0.2; en las laderas occidentales y valles intermontañosos K_x fluctúa entre 0.2 y 0.5; y en la zona oriental, $K_x > 0.5$.

Es importante resaltar que la característica K_x gradualmente crece en dirección oeste - este y se puede adoptar como índice del grado de humedad de la zona de estudio.

En la zona montañosa se observa un comportamiento racional del valor K_x con la altitud. Para valores H mayores a 2.000 m, K_x varía de 0.3 a 0.5; para $400 < H < 2.000$ - entre 0.1 y 0.3. De esta forma, esta característica K_x , que trata de representar la desigualdad intraanual de la lluvia, complementariamente considera la parte de la lluvia de origen orográfico.

La influencia de otros factores climáticos en el caudal de estiaje, se refleja de cualquier forma a través de la variación de la lluvia y la evapotranspiración.

FENOMENO EL NIÑO - OSCILACION DEL SUR Y SU INCIDENCIA EN LOS CAUDALES MINIMOS DE LA ZONA.

En los últimos años, este fenómeno se observó en 1953, 1957-1958, 1965, 1972-1973, 1976-1977 y 1982-1983. La condición de fenómenos extraordinarios se comprueba fácilmente mediante análisis de anomalías de lluvias con datos de estaciones del sur ecuatoriano, en contraste con anomalías de temperatura del agua y de presiones atmosféricas de la región.

Dado que se analiza en este caso el aumento anómalo de la lluvia en el período de estiaje, como resultado de este fenómeno el caudal de aguas bajas de los ríos de los territorios occidentales y de los valles intermontañosos con influencia occidental aumenta notablemente. Por tanto, las series de lluvias mensuales y de caudales mínimos resultan no homogéneas. Por ejemplo, los coeficientes de variación de las series de 30 días consecutivos de caudales mínimos, sin considerar los valores de los años del ENSO, alcanzan 0.2-0.3, y considerando estos, 0.6-0.8.

En el Gráfico 3, se aprecia claramente que los valores mínimos de esta relación se dan para los territorios occidentales, mientras que el valor 1 característico para las estaciones de la zona oriental, refleja que este fenómeno no incide en las series de caudales mínimos.

CONCLUSIONES

- Se aprecia que en apenas 35.000 km² de superficie, el clima varía notablemente: de tropical megatérmico seco en el occidente, a tropical megatérmico húmedo en el oriente, pasando por ecuatorial mesotérmico semi-húmedo en los valles intermontañosos.
- Se demuestra que la cordillera central de los Andes se presenta como principal límite climático de la zona sur ecuatoriana, por su condición de obstáculo infranqueable para las masas de aire, originadas en el occidente o en el oriente.

- Como característica potente para regionalizar los caudales mínimos y que considera la amplitud de la variación climática se presenta el coeficiente K_x , que gradualmente crece de oeste a este, y que refleja el grado de humedad del territorio.
- Se evalúa la relación directa del fenómeno El Niño, que modifica notablemente los caudales de estiaje, y que son críticos cuando la ocurrencia del fenómeno opuesto, denominado La Niña (Anti, contrario a El Niño).

CASO 2: ASPECTOS SOBRESALIENTES DE LAS LLUVIAS INTENSAS DEQUITO

INTRODUCCION

El cálculo de caudales máximos e hidrogramas de crecidas en la práctica ingenieril regional se realiza, con frecuencia, por métodos indirectos, que utilizan, en calidad de información de entrada, datos de lluvias y características físicas de las cuencas.

La identificación, clasificación, asignación de frecuencias, relación con la zona de influencia, tendencia de los perfiles de las lluvias intensas e intensidades máximas son los temas tratados, y son los resultados de mayor relevancia obtenidos en el trabajo de tesis: "Investigación de hietogramas críticos y evaluación del efecto de simultaneidad de tormentas en Quito (5)".

Tradicionalmente, en términos ingenieriles, el tema de las lluvias intensas se consideraba agotado al conocer las curvas intensidad - duración - frecuencia y las recomendaciones generales sobre la escogencia del perfil de tormenta crítico.

AREA DE ESTUDIO, INFORMACION UTILIZADA

El área de estudio comprende el valle de Quito, con una extensión urbana de aproximadamente 150 km², localizada al pie del volcán Pichincha; la zona urbana de la ciudad se encuentra entre los 2800 y 3000 m sobre el nivel del mar.

La información básica utilizada consiste en registros de lluvias de las siguientes estaciones: Quito - Observatorio (instalada en 1891), Izobamba (1967), Ñaquito (1975), Tola (1977), Chorrera (1977) y Quito - Aeropuerto (1959). Cabe precisar que la estación meteorológica Quito - Observatorio dispone de registros pluviométricos desde 1898, pluviográficos semanales entre 1916 y 1928, y pluviográficos diarios desde 1929. Cabe considerar que las láminas semanales no permiten deducir adecuadamente las intensidades para duraciones menores a 30 min.

En el Gráfico 4 se aprecia el área de estudio.

CARACTERISTICAS DE LAS TORMENTAS

Duración

El análisis de duración se realizó con datos de 289 perfiles de tormentas, seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios:

- consideración de tormentas con máximas lluvias acumuladas por año calendario; en cualquier caso, se incluyen eventos (obviamente no todos) mayores o iguales a 15.6 mm de precipitación puntual mínima, con datos de Quito - Observatorio;
- se observó particularmente aquellas tormentas que presentan las intensidades máximas para duraciones bajas;
- el tiempo de inicio de la tormenta se estableció cuando la intensidad excede 0.5 mm/h;
- la condición de estado de fin de tormenta se consideró en el instante cuando la intensidad de lluvia decrece a 0.5 mm/h;
- se respetó el criterio de Huff (6), que considera únicamente tormentas individuales, separadas entre sí por un intervalo de tiempo mayor a 6 horas.

En el Gráfico 5 se aprecia la distribución empírica de frecuencias de las lluvias intensas seleccionadas, cuya configuración sugiere una forma compuesta trimodal, correspondiente a tormentas de corta, media y larga duración, posibles de asociar con eventos de origen local, zonal o regional, respectivamente. Se deduce también la mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas correspondientes al rango bajo de duración. En el Cuadro 1 se resumen las duraciones características obtenidas.

CUADRO 1
DURACIONES CARACTERISTICAS DE LAS
LLUVIAS INTENSAS

Tormentas de duración	Tiempo a la moda (h)	Intervalo (h)
Rango Bajo	3.33	0.58 - 7.33
Rango Medio	10.00	7.33 - 12.50
Rango Alto	14.20	12.50 - 32.00

Relaciones Intensidad vs. duración real

Las lluvias observadas de diferente duración pueden ser comparadas mediante relaciones gráficas de tipo:

$$i = a / d^b$$

en donde: i es la intensidad media de la lluvia en mm, d es la duración en horas, a y b son constantes determinadas de los datos. Cabe resaltar que las curvas no corresponden a las intensidades máximas registradas, sino que representan una función entre la duración real de las tormentas consideradas y las intensidades medias, correspondientes.

CUADRO 2.
CONSTANTES DE LAS RELACIONES INTENSIDAD
MEDIA VS. DURACION REAL

Estación	a	b
Quito-Observa.	28.12	0.962
Iñaquito	25.03	0.938
Izobamba	24.87	0.928
Tola	30.15	1.029
Quito-Aerop.	22.06	1.043
Chorrera	19.17	0.829

Las curvas intensidad vs. duración real de las lluvias intensas no presentan entre ellas variabilidad importante en las tendencias. Por otra parte, no ha sido posible deducir dependencia geográfica alguna, por lo que se concluye en que, la dispersión dada se debe solamente a la casualidad y al volumen muestral disponible. Se ha podido verificar la independencia entre la función intensidad de lluvia media vs. duración real y la lluvia anual en el área de estudio. Esta última variable si tiene un comportamiento conocido: reducción importante de su valor, de forma gradual, en el sentido sur-norte. Por ejemplo, para el año 1993, el número de días con lluvia en Izobamba fue de 108, en Iñaquito - 81, en Quito-Aerop.- 63 y solamente 25 en Tola, situación que demuestra claramente lo indicado. En términos más generales, Varas (7) anota que no encontró dependencia geográfica alguna en el comportamiento de tormentas de Chile. En el Gráfico 6 se presenta la relación entre la intensidad y la duración para Quito-Observatorio.

Perfiles de tormenta

Los perfiles de tormentas, definidos también como patrones, se determinaron bajo los siguientes condicionantes detallados a continuación, en términos de escenarios.

- Escenario 1, que consiste en analizar el comportamiento de las tormentas de forma separada, en función de las duraciones establecidas, clasificadas en rangos bajo, medio y alto.
- Escenario 2, que toma en consideración todas las tormentas. esto es todo el rango de variación de las duraciones.

Adicionalmente, los dos escenarios se analizan en función de tres niveles de pérdidas iniciales: que son 0, 12.7 y 25.4 mm (0, 1/2 y 1 pulgada).

En este análisis, las pérdidas iniciales se han incluido con el propósito de detectar variaciones importantes en el perfil de las tormentas. Si se considera el balance hídrico en cuencas de drenaje, la lluvia al inicio del evento no forma caudal y pasa a constituir las pérdidas iniciales, que son la retención por la vegetación y almacenamiento en depresiones, y que no se consideran parte del pro-

ceso de infiltración. Lo indicado tiene sentido al analizar la formación de tormentas en diferentes superficies de drenaje: suelos desnudos, suelos con cubierta vegetal moderada o suelos con cubierta vegetal densa, tema de actualidad en relación con los problemas de manejo de cuencas hidrográficas.

Los perfiles de las tormentas considerados en este estudio son los propuestos por Huff, como curvas adimensionales y que se clasifican en cuartiles y al interior de cada uno de ellos, en deciles.

Los resultados obtenidos se incluyen en el Cuadro 3, en el cual los cuartiles considerados corresponden a los definidos por Huff.

CUADRO 3
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LOS PERFILES DE TORMENTAS
POR RANGOS DE DURACION Y POR CUARTILES

Pérdidas iniciales	Rango consid.	No. de eventos	% de Total	Cuartiles			
				1	2	3	4
0 mm	- bajo	138	49	66.0	17.0	10.0	7.0
	- medio	63	22	63.5	12.7	11.1	12.7
	- alto	82	29	50.0	16.0	16.0	16.0
	- total	283	100	61.0	16.0	11.6	11.6
12.7 mm	- total	272	100	76.0	6.6	6.6	11.0
25.4 mm	- total	157	100	81.0	2.5	4.5	12.1

Del Cuadro 3 se deduce que, en los escenarios analizados, la mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas corresponde marcadamente al cuartil 1. Si se considera las duraciones de las tormentas, se observa que a medida que la duración real de la misma aumenta, decrece la frecuencia de ocurrencia de tormentas en el primer cuartil; y al tomar en cuenta las pérdidas iniciales en forma creciente, aumenta también la frecuencia de ocurrencia de tormentas del primer cuartil; situación considerada lógica. La distribución de frecuencias se incluye en el Gráfico 7, en donde los deciles son de Huff. La distribución de las tormentas al interior del primer cuartil se detalla en el Cuadro 4.

Del análisis del Cuadro 4 se deduce que, si bien hay una tendencia de los perfiles de las lluvias intensas a comportarse de acuerdo a la curva de Huff 10 % del primer cuartil, este comportamiento no es marcado, pues las frecuencias de ocurrencia de las otras curvas es ligeramente menor. Sin embargo, se debe precisar que de acuerdo a los datos de la columna 6 de la misma tabla, a las dos primeras curvas (10 y 20 %) corresponde en promedio aproximadamente el 25 % de la frecuencia total. En el Gráfico 8 se aprecia la distribución de frecuencias de los perfiles de Huff por cuartiles.

CUADRO 4
DECILES DE MAYOR FRECUENCIA AL INTERIOR
DEL PRIMER CUARTIL

Pérdidas iniciales	Rango Conside	En el Cuartil 1	Número de Curva frecuencia máxima en el Cuartil 1		Frecuencia Curvas 10 + 20%
0.0 mm	- bajo	66.0	10 - 20	50 - 15	29.7
	- medio	63.5	90 - 25	80 - 15	15.0
	- alto	50.0	10 - 22	80 - 17	29.3
	- total	61.0	10 - 19	50 - 14	26.2
12.7 mm	- total	76.0	10 - 17	60 - 14	25.7
25.4 mm	- total	81.0	10 - 14	70 - 15	19.7

Tendencia de las intensidades máximas de lluvia

El comportamiento de las intensidades máximas de lluvias en el tiempo se analizó mediante medias móviles, técnica que permite detectar tendencias. La base de datos utilizada corresponde a los registros históricos de Quito - Observatorio.

En el Gráfico 9 se muestra la variación cronológica de la intensidad promedio (medias móviles), considerando 3 valores a la vez, para diferentes intensidades máximas correspondientes a las duraciones: 30 minutos, 1, 2, 3, 6 y 12 horas. En la figura se aprecia particularmente tendencias claras de aumento de la intensidad de lluvia máxima con el tiempo para las duraciones de 30 minutos y 1 hora, a razón de 20 y 15 mm de incremento en alrededor de 70 años, respectivamente.

En la medida que la duración de la lluvia aumenta, la tendencia es más atenuada, lo cual se asume, que obedece a procesos distintos de formación de lluvias (locales y regionales), cuya independencia se verifica mediante análisis correlacionante entre intensidades máximas de lluvia de altas y bajas duraciones. Concretamente, los coeficientes de correlación calculados de las series de intensidades máximas de lluvia de 30, 60 y 120 minutos con intensidades de 24 horas, son menores a 0.1.

Los justificativos para el incremento de la intensidad de lluvia pueden ser:

- aumento de la rugosidad de la superficie que provoca mayor resistencia al paso de las masas de aire húmedas, favoreciendo los procesos convectivos;
- aumento del particulado en la atmósfera, producto de la combustión de sustancias que contienen ácidos sulfurosos y nitrosos, constituyendo núcleos más activos para el aglutinamiento de humedad.

Reducción de las intensidades con el área de influencia

La necesidad de evaluar, particularmente en zonas montañosas, el efecto de la reducción de la intensidad de lluvia con el área de influencia de la tormenta, se justifica en el hecho de que la inobservancia de este fenómeno en los cálculos redundan en la grosera sobreestimación de caudales máximos.

En la práctica regional, se acoge con no poca frecuencia, las recomendaciones del US Weather Bureau⁽⁸⁾ (USWB) sobre el tema, presentadas en forma de curvas, en donde se observa la dependencia de la intensidad de lluvia a más del área, con la duración de las tormentas.

Sin embargo del escaso número de estaciones pluviográficas localizadas en el área de estudio (apenas 6 en aproximadamente 350 km², de Quito y parte del valle de Tumbaco), se ha podido trazar mapas de isoyetas de 4 tormentas, para las siguientes duraciones seleccionadas: 30 minutos, 1, 3 y 6 horas. Las duraciones puntuales de las tormentas, si bien son significativas, no corresponden a las críticas registradas, por lo cual, las curvas obtenidas para el área de Quito, no son extremas. Por otra parte, también se observó la dependencia de la curva de reducción de la intensidad de lluvia con la duración, sin embargo, la tendencia no es tan marcada como sugiere el US Weather Bureau. Con fines comparativos la curva determinada para Quito se incluye en el Gráfico 10.

Al respecto, cabe anotar, que debe necesariamente introducirse en el cálculo la frecuencia (o período de retorno) de ocurrencia de los eventos, como lo justifican por ejemplo Shaw⁽⁹⁾ sobre el trabajo del National Research Council (1975), de U.K.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar la independencia de la geografía, al menos en el área de estudio, respecto a la duración real de las tormentas. La distribución de frecuencias de las duraciones reales permite diferenciar rangos de duraciones: bajo, medio y alto, posibles de asociar con procesos climáticos locales, zonales y regionales.
- Los perfiles de las tormentas tienden mayoritariamente a agruparse al interior del primer cuartil, y dentro de él, no se observa un marcado alineamiento con curvas de deciles dados.
- Se detecta el aumento de la intensidad de lluvia en el período multianual, particularmente para duraciones bajas, fenómeno que podría estar asociado con el avance de la frontera urbana.
- Se demuestra la dependencia de la intensidad de tormenta con el área de incidencia, relación que depende también de la duración de la lluvia considerada; sin embargo, en el tratamiento del tema debe ser necesariamente incorporada la probabilidad.
- Se recomienda ampliar el estudio de las intensidades de lluvia de zonas montañosas, incorporando información de otras estaciones localizadas en los valles andinos.

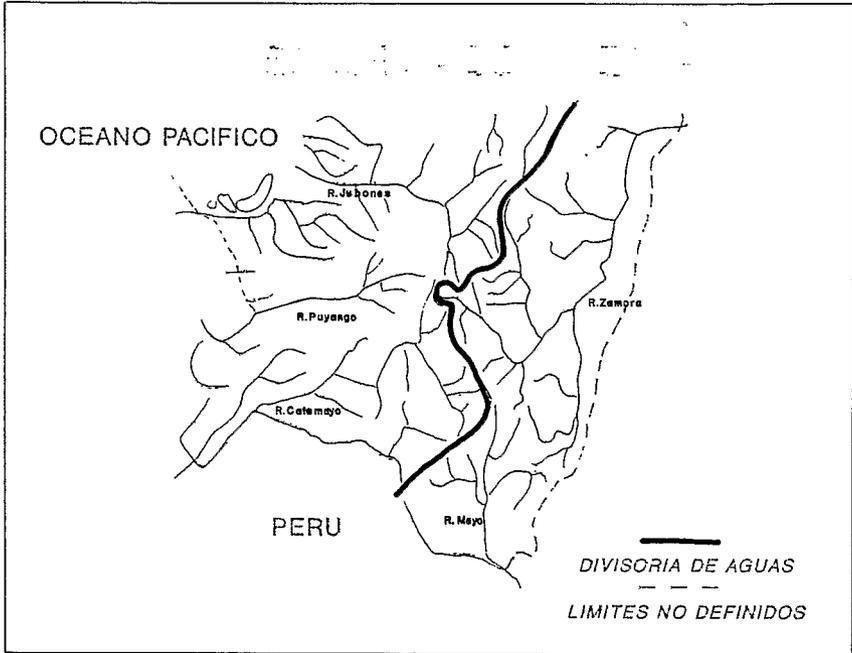


GRAFICO N° 1

VARIACION DE K_x

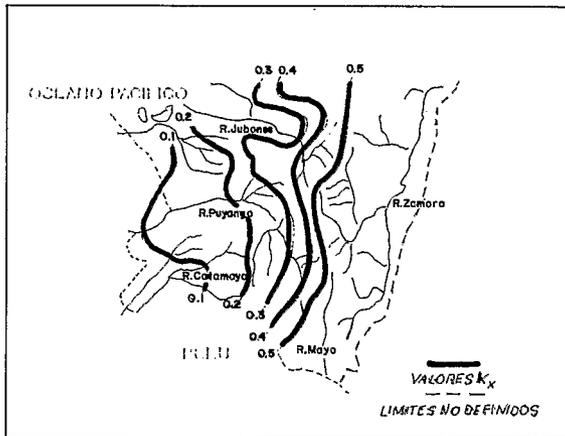


GRAFICO N° 2

INFLUENCIA DEL FENOMENO DEL NIÑO

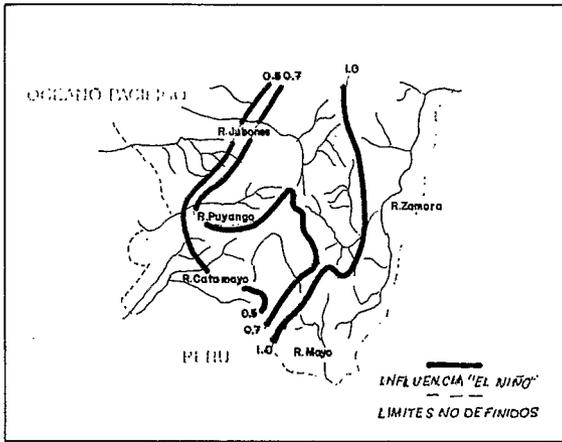


GRAFICO N° 3

AREA DE ESTUDIO Y LIMITE URBANO DE QUITO

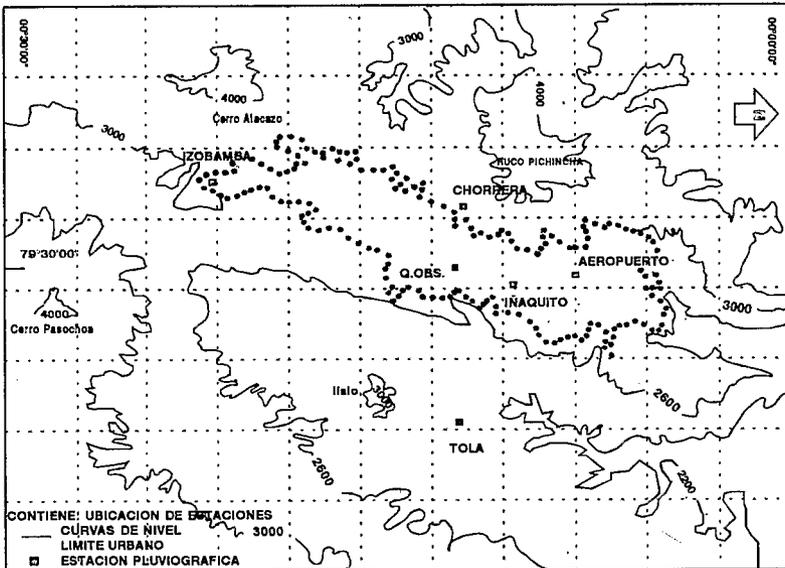


GRAFICO N° 4

FRECUENCIAS DE LAS DURACIONES
Est. Quito - Observatorio

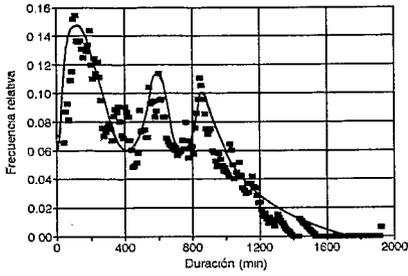


GRAFICO N° 5

RELACION INTENSIDAD Vs. DURACION REAL
Est. Quito-Observatorio

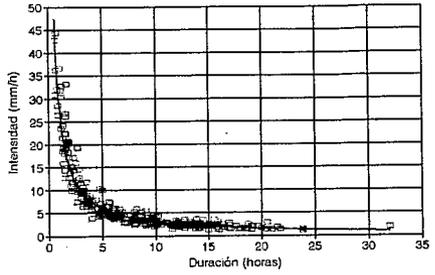


GRAFICO N° 6

FRECUENCIAS CONSIDERANDO PERDIDAS
POR CUARTILES

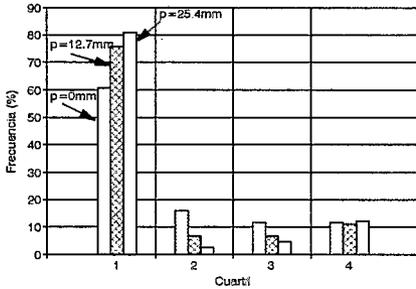


GRAFICO N° 7

FRECUENCIAS POR DURACIONES Y
POR CUARTILES

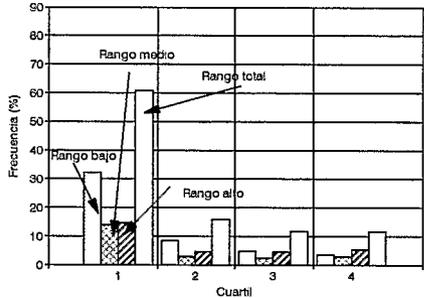


GRAFICO N° 8

Intensidades Maximas (mm/h)
Periodo de Media Movil(intensidad)= 3

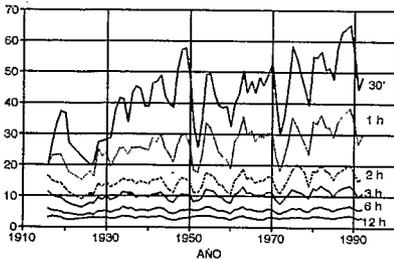


GRAFICO N° 9

VARIACION DE LA INTENSIDAD CON EL AREA
Comparación de relaciones para Quito

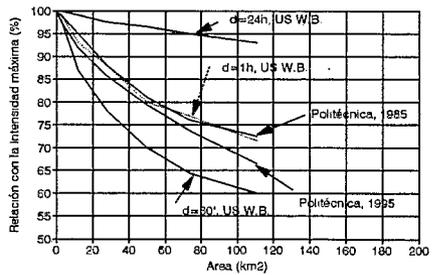


GRAFICO N° 10

Reconocimiento

Al Observatorio Astronómico de Quito y al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por el acceso a la información básica y las facilidades ofrecidas para la realización de los trabajos.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrade Laureano, (1990). Método de cálculo de caudales mínimos para el sur ecuatoriano - Disertación Doctoral. Instituto Hidrometeorológico, San Petersburgo.
2. Pierre Pourrut, (1995). El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía. Orstom. Quito. p. 13-25.
3. Alisov V. I., Poltarau V. V. (1974). Climatología. MGU, (en ruso).
4. Barry Rodger (1984). Mountain wather and climate. Methuen.
5. Andrade L., Beltrán F. (1955). Patrones de tormenta para Quito. II Jornadas de Hidráulica. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
6. Huff F. A. (1967). Time distribution of rainfall in heavy stoms. Water Resources Research, 3(4), p. 1007-1019.
7. Varas E. (1988). Apuntes de ingeniería. Modelo determinístico para estimar crecidas, Santiago, p. 22-23
8. Chow v. t. (1964). Handbook of Applied Hidrology. McGraw-Hill, p. 9-57
9. Shaw E. (1988). Hydrology in practice. VNR, p. 208.

ESCENARIOS HIDROLOGICOS EN LA MICA

Dr. Ing. Laureano Salvador Andrade Chávez

Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

La creciente demanda de recursos hídricos, en particular para consumo humano y riego, obliga la extensiva utilización de las fuentes de agua; las obras de infraestructura previstas para satisfacer las necesidades del vital elemento tienen niveles mayores de complicación ingenieril. Por otro lado, la dinámica del régimen climático e hídrico de alta montaña, en particular de los Andes, es poco conocido, los sistemas pueden ser altamente vulnerables a la presión antrópica. En este contexto, surge la pregunta: ¿es de esperar que el comportamiento hidrológico observado en el período 80 - 90, de los cuerpos hídricos, sea representativo para los próximos decenios?. Este trabajo pretende aportar a la discusión sobre el tema.

ABSTRACT

The growing demand for hydrologic resources, in particular for human consumption and irrigation, require the extensive use of water resources; the infrastructure necessary for the satisfaction of the needs of this vital element every time reach higher levels of technical complication. On the other hand few is known about the dynamics of the climatical and hydrological regime of high mountain andean regions. These systems can be highly vulnerable to antropic pression. In this context the question raises: Can we expect the observed hydrologic behavior during the eighties to be representative of the future decades?. This paper pretends to contribute to the discussion on this theme.

INTRODUCCION

La evaluación de las disponibilidades hídricas del lago La Mica y otros cuerpos hídricos de la cuenca alta del Río Napo, localizados sobre la cota 3.900 msnm, al pie del volcán Antisana, son objeto de interés en la perspectiva de su utilización para abastecimiento urbano de la ciudad de Quito. Especial atención merece el diseño hidrológico del embalse a conformarse, como respuesta al caudal de demanda y la alta garantía requerida.

En este artículo no se analizan las particularidades hidráulicas del diseño previsto, ni las variantes definidas por la Empresa Municipal de Agua Potable

y Alcantarillado de Quito (EMAAP-Q), que involucran la captación de menor o mayor número de ríos, sino que se orienta al tratamiento exclusivamente de la hidrología de la zona, caracterizada por:

- el limitado volumen disponible de datos hidrométricos y climáticos de base (11 años)
- la particular localización de los cuerpos hídricos considerados (al pie del glaciar Antisana)
- la escasa investigación de la dinámica de los glaciares y de la hidrología subterránea de la zona.

Las particularidades anotadas introducen en el cálculo de las aportaciones cierta incertidumbre, que se analiza en el presente informe. El autor y la Escuela Politécnica Nacional (EPN) pretenden, con este aporte, contribuir a la discusión sobre el tema y al desarrollo de una opinión técnica y pública favorable a la inversión en investigaciones climatológicas e hidrológicas de áreas de montaña.

Se ha considerado adecuado analizar y discutir sobre las particularidades del régimen hídrico esperado en los próximos decenios en términos de posibles escenarios hidrológicos, que pueden en menor o mayor grado ocurrir.

Se presenta el debido reconocimiento a la EMAAP-Q por facilitar el uso de la información básica. Con fines ilustrativos y comparativos, y únicamente con estos propósitos, se incluyen referencias sobre resultados del documento (1).

El contenido de este trabajo constituye parte del informe (2); la metodología utilizada es propia del autor y los resultados y criterios asumidos son de su responsabilidad.

INFORMACION UTILIZADA

- Carta topográfica de la zona de estudio con implantación general de las captaciones, ubicación de estaciones de aforo y sitio de localización de la presa La Mica, a escala 1: 50.000 (EMAAP-Q, 1993).
- Serie de caudales medios mensuales de la estación Río Antisana D.J. Diguchi, considerada base para el estudio hidrológico, con valores correspondientes al período mayo/79 - abril/90, y distribuida en años hidrológicas (EMAAP-Q, 1993).
- Datos de aforos de las estaciones hidrométricas incluidas en el Cuadro 1 y correspondientes al período 1979 - 1990 (EMAAP-Q, 1993).
- Curva de variación estacional, correspondiente a la estación Antisana D.J. Diguchi (EMAAP-Q, 1993).
- Curvas de duración general de valores medios diarios de las estaciones referidas en el Cuadro 1, (EMAAP-Q, 1993).
- Datos morfométricos del embalse La Mica y de los cuerpos hídricos involucrados, (EMAAP-Q, 1993)
- Variables del clima, en valores medios mensuales de la estación La Mica (1984

- 1991); y con intermitencias, datos de lluvias de La Mica para el período 1959 - 1966. (EMAAP-Q, 1995).
- Registros de lluvias medias mensuales de las estaciones Papallacta y Baeza, incluidos en el estudio de Factibilidad - Proyecto hidroeléctrico Quijos (EPN - EEQ, 1994).

Cuadro 1

ESTACIONES HIDROMETRICAS CONSIDERADAS
(Ver localización en Gráfico 1)

Río - Estación	Código	Número de aforos
Antisana-D.J. Diguchi	L8	513
A-Jatunhuaycu	S22	721
C-Desaguadero	S24	679
E-Alambrado	S26	413
F-Sarpache	S27	400
Moyas	S28	237
Socavón	S29	137
B-Antisana	S23	727
Diguchi	S30	440
Del Salto	S32	---
H-Quijos	S35	76
I-Quijos	S36	74
J-Quijos	S37	75

ESCENARIOS HIDROLOGICOS

Se consideran los siguientes escenarios de comportamiento del sistema hidrológico La Mica, que definen distintas series de caudales de aportaciones.

Escenario Hidrológico 1 .- En los próximos decenios el comportamiento hidrológico de los cuerpos hídricos se asume similar al observado en el período 1979-1990. Se utiliza por tanto las series de caudales históricos disponibles, que corresponden obviamente al período indicado.

Escenario Hidrológico 2 .- En los próximos decenios el comportamiento hidrológico se asemejará a la tendencia de las series multianuales observadas en el período 1979 - 1990, pero mayoradas en el 10%, en consideración de que la media muestral es menor a la media poblacional.

Escenario Hidrológico 3.- A criterio del autor, esta es la situación más probable, y consiste en la conformación de series multianuales de caudales medios mensuales, corregidos en función de asumir coeficientes de escurrimiento máximos limitantes para las cuencas de aportaciones.

El análisis que respalda los Escenarios 2 y 3 mencionados se incluye a continuación del tratamiento del aspecto metodológico.

METODOLOGIA

La metodología aplicada en este estudio se resume a continuación:

- Verificación de la información fisiográfica de los cuerpos hídricos de interés.
- Procesamiento y análisis de la información de aforos con el fin de establecer las ecuaciones de regresión entre la estación hidrométrica base (Antisana D.J. Diguchi) y las secciones de interés de los otros cuerpos hídricos, pues solamente para el río Antisana antes de la junta con el río Diguchi se dispone de series continuas de caudales a nivel mensual.
- Análisis de errores de las características estadísticas de las series, conformadas
- Determinación de intervalos de confianza para los parámetros estadísticos poblacionales sobre la base de los valores muestrales.
- Análisis de curvas de masas de las lluvias anuales de algunas estaciones de la zona. Para el efecto se han tomado en cuenta datos de Papallacta y Baeza, estaciones localizadas en la cuenca alta del río Quijos, con las cuales se observa cierta coincidencia de la tendencia multianual en valores acumulados. En esta base se define el Escenario Hidrológico 2.
- Balance hídrico de las cuencas de drenaje de la zona, que permite estimar la relación entre la precipitación y el caudal generado y configurar el Escenario Hidrológico 3. Cabe mencionar que no existe información hidrogeológica suficiente para evaluar la incidencia de las aguas subterráneas en el balance.

ECUACIONES DE CORRELACION ENTRE ESTACIONES

Como paso previo a la determinación de los caudales medios se realizó el cálculo y valoración de las ecuaciones de regresión entre la estación base (Antisana D.J. Diguchi) y las secciones de interés de los diferentes ríos. En el Cuadro 2 se incluye un resumen de las ecuaciones de traspaso de caudales.

Como se puede observar en el cuadro, las correlaciones aunque no son óptimas son aceptables para la estimación de caudales en los sitios sin registros continuos. La particularidad que presenta la cuenca hidrográfica de la estación base de contener al lago La Mica, puede ser, en parte, el justificativo para que las ecuaciones de correlación no tengan coeficientes de escurrimiento altos, y que demuestren la homogeneidad climática e hidrológica de la zona. Vale mencionar que, para llegar a las ecuaciones de correlación indicadas, se ha tenido que eliminar, en un proceso un tanto subjetivo, los valores anómalos, que inciden notoriamente en el ajuste estadístico. Esta situación incorpora incertidumbre en el tratamiento hidrológico de la zona.

ANALISIS COMPARATIVO DE CAUDALES MEDIOS

En el Cuadro 3 se indican los valores de caudales medios anuales obtenidos por la Escuela Politécnica Nacional y por la EMAAP-Q para el período 1979 - 1990

Cuadro 2

ECUACIONES DE REGRESION			
Estación Y	Estación X	Ecuación	r
Desaguadero	Antisana DJ Diguchi	$Y = - 0.5130 + 0.5803 X$	0.88
Jatunhuaycu	Antisana DJ Diguchi	$Y = 0.2012 + 0.0581 X$	0.65
Antisana B	Antisana DJ Diguchi	$Y = 0.4588 + 0.1027 X$	0.67
Del Salto	Antisana DJ Diguchi	$Y = - 0.0039 + 0.0213 X$	---
Diguchi AJ A	Antisana DJ Diguchi	$Y = - 0.0022 + 0.1211 X$	0.74
H-Quijos	Antisana DJ Diguchi	$Y = - 0.1000 + 0.0310 X$	0.66
I-Quijos	Antisana DJ Diguchi	$Y = 0.1637 + 0.0285 X$	0.66
J-Quijos	Antisana DJ Diguchi	$Y = - 0.0991 + 0.1257 X$	0.66

(Período de disponibilidad de datos), de forma diferenciada para los ríos de la zona. En él se aprecia que las diferencias de los resultados obtenidos por la EPN y la EMAAP-Q son realmente insignificantes.

Las series obtenidas de caudales medios mensuales del período 1979-1990, constituyen muestras, que no reflejan el comportamiento de la variable en el perfil multianual, y por tanto, sus valores deben ser reajustados.

Uno de los procedimientos para ajustar los valores muestrales a poblacionales es la aplicación del concepto de intervalos de confianza. En este caso, con nivel de significación asumido en 5 %, se determinan los valores extremos para la media y la varianza; los resultados se incluyen en el Cuadro 4.

Cuadro 3

CAUDALES MEDIOS ANUALES CALCULADOS PARA EL PERIODO 1979-1990

Río - Estación	Caudales EPN (m ³ /s)	Caudales EMAAP-Q (m ³ /s)	Diferencia absoluta (%)
- Estación de base	1.966	1.968	0.1
- Desaguadero	0.628	0.624	0.6
- Antisana B	0.661	0.668	1.0
- Diguchi	0.084	0.090	6.7
- Del Salto	0.038	0.040	5.0
- Jatunhuaycu	0.315	0.318	0.9
- Quijos H	0.051	0.062	17.8
- Quijos I	0.072	0.078	7.7
- Quijos J	0.148	0.142	4.2

Cuadro 4

INTERVALOS DE CONFIANZA DE LA MEDIA, VARIANZA Y COEFICIENTE DE VARIACION

Cuerpos hídricos considerados	Parámetro Estadístico	Valores		
		Mínimo	Medio	Máximo
Caudales de: Desaguadero y Antisana B	- Caudal Medio	1.132	1.288	1.444
	- Varianza	0.026	0.054	0.166
	- Coeficiente de variación	0.014	0.179	0.282
Caudales de: Desaguadero, Antisana B y Quijos H,I,J	- Caudal medio	1.364	1.560	1.758
	- Varianza	0.042	0.087	0.268
	- Coeficiente de variación	0.150	0.189	0.294

Los parámetros estadísticos poblacionales pueden variar entre los límites indicados, sin embargo, el análisis de masas residuales de lluvias anuales respecto a la media para la zona, efectuado sobre la base de información del período 1962 - 1992, permite establecer que el período de disponibilidad de información de caudales refleja una tendencia al decrecimiento de la lluvia (período seco); es decir, la media del período de cálculo realmente es menor a la media del período multianual (Ver Gráfico 2). Esta relación definida para la estación pluviométrica con más amplia información en la zona, que es Papallacta, sugiere una mayoración de la lluvia anual en alrededor del 14 %. Valor semejante al obtenido, como variación de la media de los caudales a cada extremo del intervalo de confianza (aproximadamente 13 %).

Lo indicado puede en parte confirmar la hipótesis:

$$Q_{\text{muestral}} < Q_{\text{poblacional}}$$

Para obtener series estadísticamente comparables, con los datos de la EMAAP-Q, y conformar un único escenario de este tipo, se adopta un coeficiente de mayoración general para todos los cuerpos hídricos, igual a 1.1.

En congruencia con lo señalado la relación establecida, y definida en el presente informe como Escenario 2, y que afecta a todos los caudales mensuales por igual, es:

$$Q_{\text{poblacional}} = 1.1 * Q_{\text{muestral}}$$

El criterio anterior de mayoración de los caudales, sin embargo de tener su justificativo, no es el único, por que el caudal de algunas cuencas no es solamente el resultado de los aportes originados en la lluvia, sino también de otros.

BALANCE HIDRICO

En base a la información hidrométrica disponible correspondiente al período 1979-1990, se establece el balance hídrico para las cuencas de la zona de interés; los valores principales se incluyen en el Cuadro 5.

La relación entre la lámina de escurrimiento y la precipitación, conocida como coeficiente de escurrimiento, que generalmente es menor a 0.6 en valores multianuales, se presenta muy alto, principalmente para ciertas cuencas de la zona.

En el Cuadro 5 se aprecia que existen cuencas hidrográficas que tienen un balance hídrico muy positivo y que corresponden a aquellas localizadas al pie de los glaciares: Desaguadero C (C=0.95), Quijos H (C=0.69), Quijos I (C = 0.98), Quijos J (C= 3.01). Coincidentemente, de entre las subcuencas afluentes al río Quijos, la J es la mejor orientada en relación al glaciar Antisana y presenta un balance de masas extraordinariamente alto (ver Gráfico 1).

Adicionalmente, se observa que las cuencas alejadas o menos influenciadas del glaciar tienen como coeficientes de escurrimiento valores menores a 0.6 (ríos Diguchi, Del Salto y Jatunhuaycu). En este contexto, cabe suponer, que el coeficiente de escurrimiento anual máximo puede ser para la zona del orden de 0.6.

Cuadro 5.

CAUDALES Y COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO DE LAS CUENCAS DE APORTE

Río-Estación	Area (km ²)	Escenario 1 (m ³ /s)	C Obtenido	C Asumido	Escenario 3 (m ³ /s)
-Antisana-DJ					
Diguchi	142.0	1.966	0.56	0.56	1.966
-Desaguadero	27.0	0.628	0.95	0.60	0.397 (-)
-Antisana B	46.4	0.661	0.58	0.58	0.727(+)
-Diguchi	8.0	0.084	0.43	0.43	0.093(+)
-Del Salto	3.6	0.038	0.43	0.43	0.042(+)
-Jatunhuaycu	41.1	0.315	0.31	0.31	0.347(+)
-Quijos H	3.0	0.051	0.69	0.60	0.044 (-)
-Quijos I	3.0	0.072	0.98	0.60	0.044 (-)
-Quijos J	2.0	0.148	3.01	0.60	0.030 (-)

(*) Caudales medios que corresponden al Escenario 1.

(-) Reducción de caudales bajo la hipótesis de coeficiente de escurrimiento límite = 0.6.

(+) Mayoración de los caudales por la aplicación del coeficiente 1.1, valor justificado en el numeral 3.2.

ANALISIS INTERPRETATIVO DE LOS COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO

Los factores que podrían incidir de alguna forma en los valores altos de C, se analizan a continuación.

- Deficiencias en los aforos; evento poco probable por la considerable frecuencia de mediciones.
- Inconsistencia estadística, poco posible, ya que el error, en el presente caso del caudal medio anual, no es mayor al 5.2%, mientras que el error de la lluvia anual es menor aún. (3.4 %).
- La precipitación registrada en la estación La Mica es menor a la lluvia media de la cuenca. Posible, sin embargo, el factor de mayoración de la lluvia (se considera) no puede exceder el 10 % si se toma en cuenta el tamaño de la cuenca (27 km²), y la relativa proximidad, aspecto sujeto a investigación.
- El agua excedente en la cuenca puede tener entonces dos orígenes que son: el aporte como resultado del retroceso del Glaciar Antisana, como caudales superficiales y afloramientos de agua subterránea; o el aporte de aguas subterráneas de cuencas vecinas.

En cualquier caso, la información disponible al momento es insuficiente para evaluar la situación, sin embargo, el hecho de que las cuencas vecinas tengan coeficientes de escurrimiento altos, hace menos probable la última hipótesis.

El interés de la comunidad científica regional sobre el tema, se refleja en el Seminario Internacional "Aguas y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales", de La Paz, junio de 1995. Algunas ponencias tratan de forma directa el tema, tal es el caso de Jordán E.³, quién menciona que "Glaciares actuales en la zona tropical de los Andes se restringen a alturas con más de 4.600 m en Colombia y 4.800 m en Bolivia. El retroceso de las áreas glaciadas en los últimos 50 años en los Andes tropicales fue más dramático que en otras partes del mundo. ...".

Francou B., y otros, en el mismo Seminario⁴, afirman "A partir del estudio de los glaciares en Bolivia y Perú, surgen dos observaciones: 1) un retroceso generalizado, que se acelera desde el principio de los años 1980 (Kaser et al., 1990; Ames et al., 1995); 2) una fuerte variación de los balances de masa según los años, como lo han demostrado los resultados alcanzados en el Glaciar de Zongo en Bolivia entre 1991 y 1993 (Francou et al., 1995).

Lo expuesto exige analizar la relación clima - glaciar Antisana mediante investigaciones a mediano y largo plazos. Se considera también importante, iniciar estudios hidrogeológicas que identifiquen el origen de las aguas subterráneas, las áreas de recarga y si estas son susceptibles de mantenerse en la etapa de operación del embalse.

Del análisis de los coeficientes de escurrimiento se recomienda asumir como valores máximos para las cuencas exceditarias $C = 0.6$. Esta consideración modifica las series mensuales de caudales, criterio considerado Escenario 3.

Al aplicar este criterio a todas las cuencas, la disponibilidad de caudales totales decrece, y por tanto, las aportaciones medias al embalse. En el caso par-

ticular de la cuenca del río Desaguadero la reducción sería del orden de 0.230 m³/s.

En el Cuadro 6 se resumen los valores de caudales medios anuales en consideración de los diversos Escenarios propuestos, cabe resaltar que el Escenario 2 de la EPN es aproximadamente coincidente con el propuesto por la EMAAP-Q.

GENERACION DE SERIES SINTETICAS

La limitación observada de la serie disponible de caudales medios mensuales en el período 1979-1990, cuyos datos no conforman un ciclo completo de variación, incorpora una incertidumbre adicional en el análisis.

Esta incertidumbre se trata de superar mediante la extrapolación estocástica de las series. Con este objeto se conforman 50 series sintéticas de caudales medios mensuales para un período de 40 años cada una.

Cuadro 6

CAUDALES POBLACIONALES DE ACUERDO A LOS ESCENARIOS

Río-Estación	Caudales Escenario 1 (m ³ /s)	Caudales Escenario 2 (m ³ /s)	Caudales Escenario 3 (m ³ /s)
-Desaguadero	0.628	0.691	0.397
-Antisana B	0.661	0.727	0.727
-Diguchi	0.084	0.093	0.093
-Del Salto	0.038	0.042	0.042
-Jatunhuaycu	0.315	0.346	0.346
-Quijos H	0.051	0.056	0.044
-Quijos I	0.072	0.079	0.044
-Quijos J	0.148	0.163	0.030

El modelo de simulación estocástico seleccionado fue el estacional Marcoviano, introducido inicialmente por Thomas y Fiering (1962) para la generación de caudales mensuales⁵, el cual preserva los siguientes parámetros estadísticos mensuales: media, desviación típica y coeficiente de correlación. El modelo no sesgado asume un coeficiente de asimetría de las series mensuales cercano a 0.

Los coeficientes de variación corregidos y los errores determinados para los coeficientes de variación y asimetría muestrales fueron calculados de acuerdo a Rozhdestvenski A.V., et al.⁶ Se aprecia que mientras los errores para

el coeficiente de variación son del orden del 20% de su valor; los errores del coeficiente de asimetría son altos, pues en ciertos meses superan el 100% de su valor. Esto es resultado de la escasa longitud de la serie estadística, por lo cual los coeficientes de asimetría determinados no son consistentes. Esta conclusión justifica plenamente la aplicación de un modelo de simulación no sesgado.

La EMAAP-Q utilizó el método de los fragmentos, que admite la posibilidad de incluir la autocorrelación anual en los caudales, sin embargo, la limitada información registrada disponible puede afectar igualmente los resultados.

Una alternativa que permitiría mejorar la simulación estocástica es la aplicación de uno u otro Modelo Desagregado Funcional, como lo refieren Bras y Rodríguez-Iturbe (1993), Hall (1983) y Salas y otros (1980). Pero, las principales limitaciones son:

- el gran número de parámetros requeridos, que para el presente caso de aplicación (La Mica) son excesivos en términos de los datos disponibles. De acuerdo a Salas⁷ el modelo desagregado mensual básico, aplicado a una sola estación, requiere 156 parámetros, cuando el número de valores disponibles en la serie es de 11 años por 12 meses, igual a 132. Este fenómeno en estadística se conoce con el nombre de parsimonia de los parámetros, y constituye una gran limitación de este tipo de modelos.
- Hall⁸ indica que la desventaja fundamental de este método es la discontinuidad en la estructura de correlación introducida al final de cada año hidrológico por la aplicación de diferentes factores de escala en meses consecutivos.

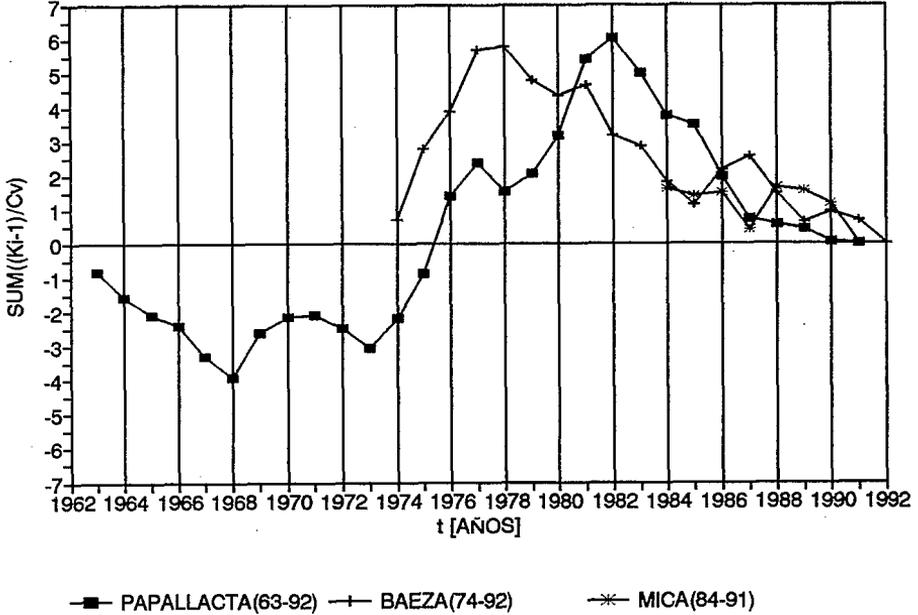
La longitud de la serie histórica es limitante en la generación de caudales sintéticos como apoyo al diseño de embalses. En este sentido, es válido el comentario incluido por Fleming G.⁹ sobre las conclusiones de Burges; una de ellas dice "...30 años de registros de caudales es inadecuado para definir los parámetros estadísticos usados en generación de series largas de caudales para el diseño de reservorios".

Además, bajo la óptica de un posible escenario, por la incidencia temporal del retroceso del glaciar Antisana en los caudales, las series anuales no pueden ser entonces caracterizadas como procesos estacionarios, por lo cual el modelo de simulación estocástico anual adoptado por EMAAP-Q resulta un tanto incierto, al igual que el utilizado por la EPN. Con la información disponible al momento no es posible formular un modelo no estacionario.

A esto se suma la siguiente recomendación, referida por varios autores: para alcanzar resultados satisfactorios con simulación matemática, es necesario restituir los caudales al estado natural, es decir en ellos no debe incidir el proceso de almacenamiento que modifica los caudales, como lo es la presencia del lago La Mica y la influencia del glaciar. No obstante, el volumen útil del actual lago no supera los 2 millones de m³, situación que no da lugar a una regulación significativa en valores medios mensuales. Por ello, la EPN al igual que la EMAAP-Q no han considerado este aspecto.

GRAFICO 2

CURVAS DE MASAS PRECIPITACION ANUAL



NOTAS AL TEXTO

- 1 Proyecto de Agua Potable La Mica-Quito Sur. Informe Final de Hidrología. EMAAP-Q, 1993.
- 2 Revisión del Informe Final de Hidrología - Informe Técnico Definitivo. Proyecto de Agua Potable La Mica-Quito Sur. Escuela Politécnica Nacional, noviembre 1995.
- 3 Jordán E. Estado actual de la Glaciación en los Andes de Bolivia y Colombia. Memorias del Seminario "Aguas Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales. La Paz, junio, 1995.
- 4 Francou B. et al. "Balances Glaciares y Clima en Bolivia y Perú". Seminario Internacional "Aguas, Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales. La Paz, junio, 1995.
- 5 Referido por Hall M. J. Stochastic processes in hydrology. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering - Delft. 1982.
- 6 Rozhdestvenski A. V., Chebotarev A. I. Métodos Estadísticos en Hidrología. Gidrometeoizdat. San Petersburgo, 1974.
- 7 Salas, J. D. y otros, 1980. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, Colorado, pp.421-459.
- 8 Hall, M. J., 1983. Stochastic processes in hydrology. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering. Delft.
- 9 Fleming, G. (1975), Computer Simulation Techniques in Hydrology. Elsevier, pp. 40-41.

CLIMATE CHANGE AND GLACIATION IN MOUNTAINOUS AREAS

Mark W. Williams

Department of Geography and

Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder

ABSTRACT

A continuous climate record since 1951 at Niwot Ridge in the Colorado Front Range shows a decline in mean annual temperature, an increase in annual precipitation amount, and a decrease in mean daily solar radiation for the summer months.

The changes in climate at Niwot Ridge are consistent with lowland warming causing advection of water vapor to higher elevations, which in turn causes increased orographic precipitation and increased cloudiness at higher elevations. The changes in climate at Niwot Ridge are not in synchrony with lowland warming in the Great Plains to the east of Niwot Ridge and serve as a reminder that climate in alpine areas is driven by local conditions and may be asynchronous with regional and global climate trends.

INTRODUCTION

Surface waters in alpine ecosystems may be more sensitive to climate change than ecosystems at lower elevations, and may act as early warning indicators for ecosystem changes at lower elevations. Although the area of alpine ecosystems is limited, snowpacks in these areas account for the major source of runoff for stream flow and groundwater recharge over wide areas of the mid-latitudes. Many alpine regions of the Earth are susceptible to environmental damage that will affect both their ecological health and the regional economies [Dozier and Williams, 1992]. Small changes in the flux of energy, chemicals and water to alpine ecosystems may result in large changes in climate, ecosystem dynamics and water quality. Furthermore, these ecosystem changes may occur in alpine areas before they occur in downstream ecosystems.

Our knowledge of the climatic characteristics of mountain regions is limited by both paucity of observations short records that seldom span one hundred years and a sparse station network and insufficient theoretical attention given to the complex interactions of spatial scales in weather and climate phenomena of mountains [Barry, 1992]. Simulations from a global climate model (GCM) with and without the Rocky Mountains have shown that the entire climate of the North

American continent is strongly influenced by this region [Manabe and Broccoli, 1990]. However, relationships between climatic changes at lower elevations and mountains are complex, such that GCM simulations may not be readily extrapolated to higher altitudes [Barry, 1992]. For example, records for five stations in the Canadian Rocky Mountains spanning the years 1916-1988 show important topoclimatic differences, with only a 100-year record from Banff showing an overall positive trend in mean annual temperature [Luckman, 1990]. Climate-warming scenarios have been extrapolated from low elevations to the Rocky Mountains [e.g. von Katwijk et al., 1993], but the efficacy of such extrapolations is unknown.

SITE DESCRIPTION

The Colorado Front Range rises directly from the Denver-Boulder-Fort Collins metropolitan area.. This unique geographical setting results in alpine basins of the this portion of the continental divide being located just west of large urban and agricultural activities. Green Lakes Valley is a headwater catchment with an area of 700 ha and ranging in elevation from 3,250 m to about 4,000 at the continental divide (Figure 1). The catchment appears typical of the high-elevation environment of the Colorado Front Range, and includes Niwot Ridge, where research has been conducted since the early 1950's [Caine and Thurman, 1990].

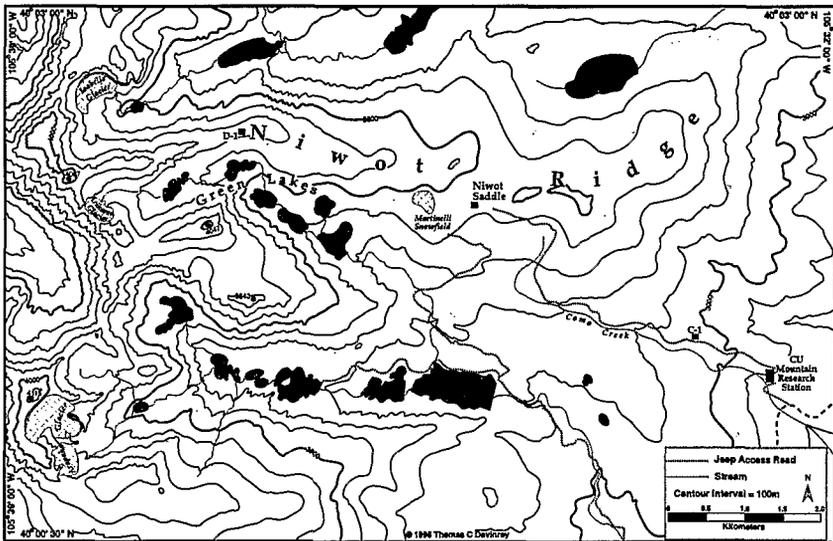


Figure 1

Topographic map and aerial photograph of Green Lakes Valley and Niwot Ridge
(figure will be revised).

Several research sites are located on Niwot Ridge, which is an alpine tundra ecosystem extending eastward from the Continental Divide. Climate data have been collected continuously since the early 1950's at the D1 and C1 stations (Figure 1). D1 is an alpine site located at 3,750 m; C1 is located in a sub-alpine ecosystem at 3,048 m. The Long-Term Ecological Program (LTER) network operates a high-elevation tundra laboratory at the Saddle, located between D1 and C1 at an elevation of 3,500 m. Also located at the Saddle is a subnivean laboratory where snowpack meltwater samples are automatically collected. Just below the Saddle at treeline is T-van, where NOAA has measured atmospheric carbon dioxide since 1968.

METHODS

Climate data have been collected at the D1 and C1 sites on Niwot Ridge by the University of Colorado at Boulder since 1952. Precipitation amount at D1 was collected by an unshielded gage from 1952 to 1964 and with a Belfort recording gage with Alortype shield (and additional snowfence shielding) from 1964 to the present. Mean daily temperature was measured from 1952-1987 using a Belfort hygro-thermograph and from 1987 to the present using a Campbell model # 207 thermistor. Global solar radiation as mean daily total during the summer months (June, July and August) was measured from 1970-1987 with a Belfort actinometer, from 1988-1989 with a Kipp-Zonnen CM-11 pyranometer, and from 1990 to the present with a LiCor LI-200. Calibration of new instruments involved a minimum of two years of overlap between the old and new instruments at D1. Accuracy of monthly precipitation totals are ± 20 mm and accuracy of monthly mean temperature values are $\pm 1^\circ\text{C}$. Additional information on methods, accuracy, and treatment of missing data are presented in Greenland (1989).

RESULTS

The long-term climate record from D1 shows a decrease in annual temperature and an increase in annual precipitation amount (Figure 2). A simple linear regression analysis shows the decrease in temperature from 1953 to 1992 to be significant ($r = 0.55$, $p < 0.05$), with a slope of -0.07 C. The low annual temperatures in the early 1980's were in part a result of an El Nino effect, Greenland [1989] discusses these years in more detail; removal of these years still results in a significant decrease in annual temperature. The decrease in annual temperature is driven by lower summer temperatures (June, July and August). To illustrate, Barry [1973] reported a significant decline in summer temperatures at the C1 site from 1953 to 1971 of -0.07 C. This decrease in annual temperature over the last 40 years indicates that some mountain environments may not follow the trend of increasing annual temperatures suggested by GCM models.

Annual precipitation values at D1 demonstrate high interannual variability with a trend of increasing annual precipitation (Figure 2). A linear regression shows the increase in annual precipitation amount from 1953 to 1992 to be significant ($r = 0.34$, $p < 0.05$), with a slope of 6.6 mm/yr. The annual values of pre-

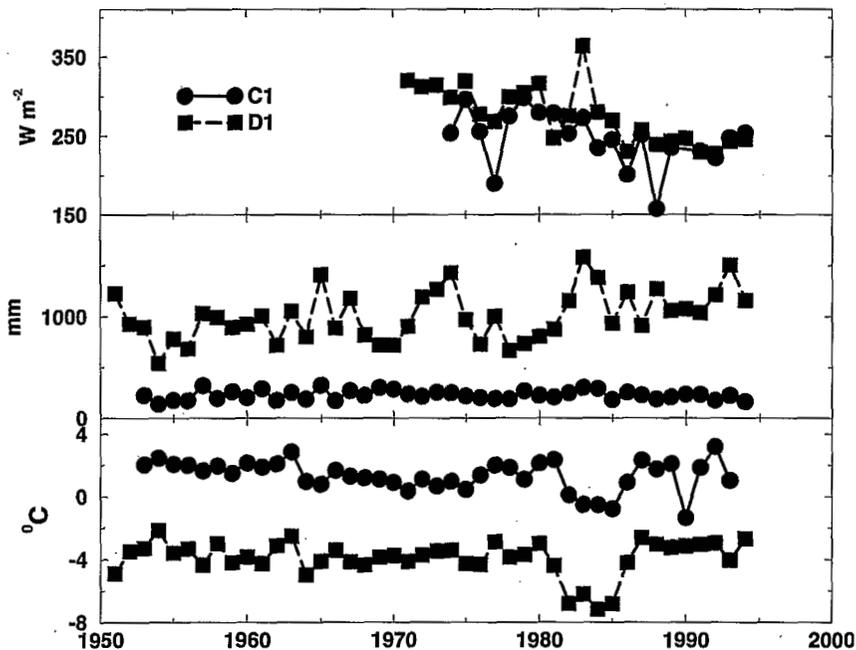


Figure 2

Climate data from the D1 site (3,750 m) on Niwot Ridge; regression lines included. Annual temperature and precipitation amount from 1953 to 1992; mean daily solar radiation during summer months (June, July and August) from 1973 to 1993. There has been a significant decrease in annual temperature and a significant increase in annual precipitation amount; mean daily solar radiation during the summer months has decreased significantly. (Adapted from Williams et al., 1996)

precipitation amount from Silver Lake place the Niwot Ridge values at D1 into a better temporal perspective; Silver Lake is located about 4.5 km southeast of D1 (Figure 1). The upward trend present in the D1 data appears to be continuous from the dry period of the mid-1920's to the present at Silver Lake [Greenland, 1989].

Reasons for this trend of cooler temperatures and increased precipitation are unknown. Barry [1990] has proposed a conceptual model of the possible effects of climatic warming trends in mountain areas (Figure 3). Climate warming may result in an increase in water vapor content and cloud cover at higher elevations, leading to an increase in annual precipitation. Barry suggests that there will also be an increase in the amount of snowfall in the short term. Solar radiation data from D1 appear to support the conceptual climate model of Barry. Daily mean solar radiation during the summer months has decreased significantly

CLIMATE CHANGE IN ALPINE ENVIRONMENTS

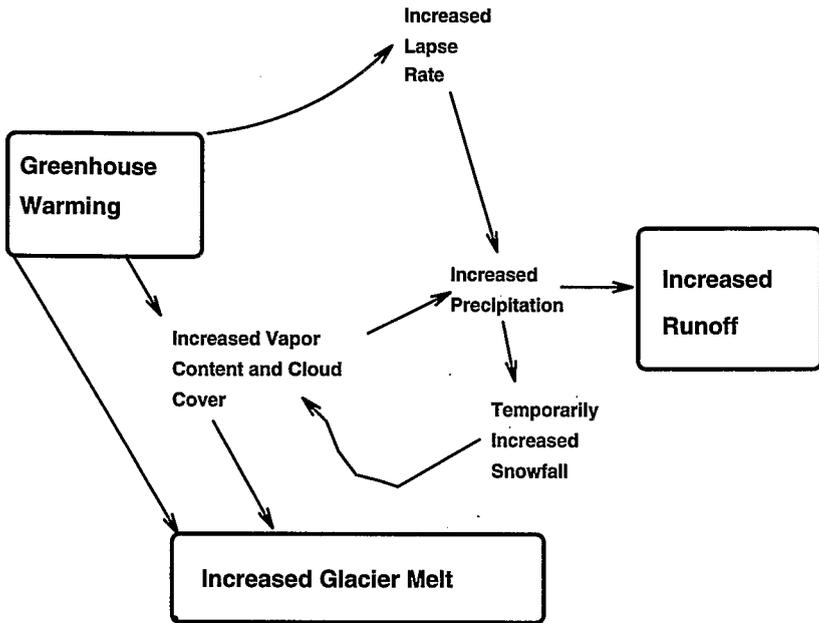


Figure 3

Conceptual model of the effects of climate warming in mountain areas, from Bary (1990)

since solar radiation measurements began in 1973 ($r^2 = 0.69$, $p < 0.05$), at a rate of $4 \text{ Wm}^2/\text{yr}$. (Figure 2). An increase in cloudiness during the summer is the only reasonable explanation for the decrease in solar radiation.

DISCUSSION

There has been a significant change in climate at Niwot Ridge and the Green Lakes Valley over the last 40 years. Radiogenic greenhouse gases are increasing at Niwot Ridge, yet there is a decrease in annual temperature rather than an

increase. The historical climate record at Niwot Ridge is counter-intuitive to the usual predictions of global warming. The cooler temperatures at Niwot Ridge appear to be part of a regional cooling trend. A comparison of temperature records from 1953 to 1991 for three Colorado Rocky Mountain climate stations (elev. 3,000 3,500 m) paired with three stations in the Colorado plains (elev. 1,250 1,300 m) show a cooling trend for the past four decades, with an increase in the lapse rate and an increase in diurnal temperature ranges [Brown et al., 1992].

Additional support for climate cooling and increased precipitation at high elevations is provided by long-term records of snow depth and snow-water equivalent (SWE) at Davos (1,540 m), Switzerland. Snow depth on 1 January has increased from about 300 mm in the 1930's to about 500 mm up to 1990 [Fohn, 1990]. Furthermore, SWE on 15 April has substantially exceeded that on 1 January since about 1975, whereas the two values were similar from 1950 to 1965 [Fohn, 1990], indicating more snowfall in late winter.

These results suggest that high elevations may respond differently than lowlands to global warming. Non-linearities in climate driven by precipitation as snow must be resolved, including increased summer cloudiness and increased spring and summer snowfall. One possible non-linearity is a positive feedback loop driven by increases in snowfall. Warming at lower elevations may result in the advection of increased water vapor to higher elevations and increased orographic precipitation as snow. An increase in snow amount and perhaps snow later in the spring and summer would cause an increase in albedo, less absorption of incident solar radiation, and consequent atmospheric cooling. Atmospheric cooling in turn lowers saturation vapor pressure, increasing precipitation and continuing the positive feedback loop. Late-lying snow on the ground may provide the moisture source for increased cloud cover during the summer months. We recognize that there may be other processes which explain these observations and suggest that a search for such processes represents a fertile ground for further research.

Extrapolation of GCM results to high-elevation areas must be done with care. The coarse spatial resolution of most GCM's is far too low to provide any meaningful data for alpine areas. The 4.5 X 4.5 mesh of T-42 simulations have a pixel size of about 500 X 500 km; the Sierra Nevada mountains cannot be distinguished from the Rocky Mountains at such resolution. Moreover, model outputs are conventionally presented for sea level and ignore changes that would occur over elevated mountainous regions. More empirical data on the climate of high-elevation areas is needed before meaningful predictions can be made about responses of that climate to forcings caused by increases in greenhouse gases. There has been a failure to recognize the need for climate studies in areas of elevated and complex terrain. A program of sustained measurement and monitoring programs in mountain regions is needed.

Examination of the glacial record places the climate record of Niwot Ridge into a temporal perspective. Alpine glaciers advance and retreat in response to local, not global, climate [Gillespie and Molnar, 1995]. An exhaustive review of mountain glaciers shows that the maximum advances of mountain and continental glaciers were often asynchronous [Gillespie and Molnar, 1995]. The asynchronism of mountain and continental glaciations serves as a reminder that climate in mountain terrains need not be synchronized with global and continental climate. What is important about the climate trends at Niwot Ridge is that they do not conform to the predictions by some regional and global GCM scenarios of a warmer and dryer climate in the near future. The climate of high-elevation

catchments is influenced by regional synoptic air patterns, but in ways that are not always similar or intuitive. Extrapolation of GCM results to mountain areas must be done with care. More empirical data on climate and ecosystem processes of high-elevation areas are needed before meaningful predictions can be made about responses of high-elevation ecosystems to altered regional and global forcings caused by increases in greenhouse gases and land use changes.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Mark Losleben for his discussions about the climate data. T. Bardsley, C. Yang and C. Seibold provided field and laboratory assistance. This research was funded by NASA Earth Observing System grant NAGW-2602, by National Science Foundation grants BSR 8012095, BSR 8514329 and DEB 9211776 through the Niwot Ridge Long-Term Ecological Research Project.

REFERENCES

- Barry, R., A climatological transect on the east slope of the Front Range, Colorado, *Arctic Alpine Res.*, 5, 889-110, 1973.
- Barry, R., Changes in mountain climate and glacio-hydrological responses, *Mtn. Res. Devel.*, 10, 161-170, 1990.
- Barry, R., Mountain climatology and past and potential future climatic changes in mountain regions: a review, *Mtn. Res. Devel.*, 12, 71-86, 1992
- Brown, T. J., R. G. Barry and N. J. Doesken, An exploratory study of temperature trends for paired mountain-high plains stations in Colorado, *Sixth Conference on Mountain Meteorology*, 181-184, American Meteorological Society, Boston, MA, 1992.
- Caine, N. and E. M. Thurman, Temporal and spatial variations in the solute content of an alpine stream, Colorado Front Range, *Geomorphology*, 4, 55-72, 1990.
- Dozier, J. and M. W. Williams, Hidrology and hydrochemistry of alpine basins, *Eos, Trans, Amer. Geophys. Union*, 73, 33, 1992.
- Fohn, P., Schnee and Lawinen, in *Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer warmeren Atmosphere*, edited by D. D. Vishcher, pp 33-48, Versuchsanstalt fur Wasserbau, Hidrologie und Glaziologie, Eidgenossische Hochschule, Zurich, Switzerland, 1990.
- Gillespie, A. and P. Molnar, Asynchronous maximum of mountain and continental glaciers, *Rev. Geophys.*, 33, 311-364, 1995.
- Greeland, d., The climate of Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA, *Artic Alpine Res.*, 21, 380-391, 1989.
- Luckman, B., Mountain areas and global change: A view from the Canadian Rockies, *Mtn. Res. Devel.*, 10, 193-195, 1990.
- Manabe, S. and A. J. Broccoli, Mountains and arid climates of middle latitudes,

Sci., 247, 192-195, 1990.

von Katwijk, V. V., A. Rango, and A. E. Childress, Effect of simulated climate change on snowmelt runoff modeling in selected basins, *Water Resources Bulletin*, 29,755-766, 1993.

Williams, M. W., M. Losleben, N. Caine, and D. Greenland, Changes i climate and hydrochemical responses ina high-elevation catchment, Rocky Mountains, *Limnol. Oceanogr.*, 41, 939-946, 1996.

ESTADO DE LA RED DE MONITOREO EXISTENTE E IMPACTOS DE LOS EVENTOS ENSO SOBRE EL BALANCE DE MASA DE LOS GLACIARES EN BOLIVIA Y EN EL PERÚ

Bernard Francou, ORSTOM, La Paz, Bolivia
Hubert Sémiond, IFEA, Quito, Ecuador

RESUMEN

Debido a su alta sensibilidad a la variabilidad climática, los glaciares tropicales son buenos indicadores del cambio climático. La aceleración del retroceso de los glaciares en los Andes Centrales desde el principio de los años 1980 y los impactos de esta evolución sobre los recursos hídricos y los riesgos naturales, han justificado la instalación de una red de monitoreo basada sobre algunos glaciares representativos de la cordillera. Esta red consiste actualmente en un transecto de seis glaciares equipados entre el Ecuador y los 16° de latitud Sur. Datos de balance de masa y de balance hidrológico han sido obtenidos en Bolivia desde 1992, mientras que en el Perú, informaciones sobre el balance en la parte baja de dos glaciares de la Cordillera Blanca son disponibles desde el año 1977. Estos datos sirven para estudiar la respuesta de los glaciares a la variabilidad climática a escala anual. En Bolivia y en el Perú (y posiblemente en el Ecuador), la perturbación climática provocada por los eventos ENSO se registra en los balances de masa y se marca por notables valores negativos, particularmente en los glaciares que tienen un rango altimétrico limitado. Esos años, los glaciares alimentan una hidrología abundante, que viene a compensar una tendencia a un déficit pluviométrico, lo cual se observa particularmente en los Andes del Sur del Perú y en Bolivia. Las estaciones meteorológicas de la altura registran una desviación positiva de las temperaturas, lo que es conforme al recalentamiento global de la atmósfera tropical que se observa durante esos eventos.

**Glaciers as reliable indicators of climatic variability in the Tropical Andes
State of existing monitoring network and effects of ENSO events on glacier
mass balance in Bolivia and Peru**

ABSTRACT

The high sensitivity of Tropical glaciers to climatic forcing makes it possible to use them as reliable indicators of climatic changes. The increase in glaciers retreat in the Central Andes since the early 1980s and the resulting impact on water

resources and increased natural hazards associated with glaciers have provided justification to establish monitoring of representative glaciers. The glaciers monitoring network presently consists of a transect of six instrumented glaciers between the Equator and 16 degrees South. Mass and hydrological balance data have been obtained for the glaciers in Bolivia since 1992. In Peru, information about mass balance is available since 1977 in the lower part of two glaciers of the Cordillera Blanca. This information allows us to define more precisely the specific responses of these glaciers to climatic variability at short time scale. In Bolivia and Peru (possibly in Ecuador), the climatic perturbations induced by ENSO events are strongly recorded in glacier mass balances and are marked by significant negative balances particularly on glaciers with narrow elevation range. During these years, glacier runoff is abundant and balances low level precipitation, this being particularly clear in Southern Peru and Bolivia. ENSO events are detected by strong positive temperature anomalies at the meteorological stations of high Andes, situation which reflects global warming of the Tropical atmosphere during these events.

¿PORQUE LOS GLACIARES TROPICALES MUESTRAN UNA SENSIBILIDAD PARTICULAR A LA VARIABILIDAD CLIMATICA ?

Esta especificidad proviene de las características propias del clima tropical, que se resumen en tres principales:

- Las montañas tropicales son caracterizadas por un limitado rango de variación de temperaturas a escala anual ($< 3^{\circ}\text{C}$). En las zonas que tienen suficiente humedad para mantener una cobertura de glaciares, la isoterma 0°C anual se encuentra todo el año a la altura del glaciar. Así que, en la parte inferior del glaciar, la ablación domina la acumulación todos los meses del año. Esto tiene como consecuencia que la *gradiente vertical del balance* (GVH) tiene un valor elevado, siempre superior a 1000 mm 100 a -1.
- El verano corresponde a la temporada de precipitaciones (octubre-marzo en los Andes): el balance neto del glaciar depende fuertemente del flujo de energía que llega al glaciar durante esta temporada; por esta razón, la variabilidad de la nubosidad y de las precipitaciones tienen una gran influencia sobre el balance de masa del año: una nubosidad permite a un fuerte flujo de energía entrar sobre el glaciar, lo que provoca en pocos días una transformación de la nieve en nevisca (densidad 0.4/0.5), una disminución del albedo, los cuales a su vez aceleran brutalmente el derretimiento del hielo.
- El aumento de la temperatura desplaza el límite inferior de las precipitaciones sólidas, de tal modo que la lluvia constituye un aporte importante de calor sensible al glaciar.

Como consecuencia de esas características, los factores que controlan la fusión del hielo pueden producirse todo el año sobre un glaciar tropical, sobre todo en las zonas húmedas donde la isoterma 0°C está al nivel del glaciar, mientras que en las latitudes medias/bajas, la variación en la fusión interviene solo en verano, es a decir durante un periodo de solo 4/5 meses.

Se puede decir en conclusión que el glaciar tropical es un buen indicador del clima: puede registrar la variabilidad climática a escala anual, particularmente un cambio de temperaturas. Es el caso particularmente en las regiones húmedas. Por supuesto, la respuesta del balance de masa a la variabilidad climática se traduce por un cambio notable en la geometría del glaciar (retroceso/avance del frente), sobretodo si la zona de equilibrio (ELA) puede acercarse al límite superior del glaciar, imponiendo en este caso un régimen de ablación sobre toda su superficie.

ESTUDIAR LOS GLACIARES TROPICALES, UNA NECESIDAD PARA APRECIAR, CON UNA ALTA RESOLUCION, LA EVOLUCION CLIMATICA DE UNA ZONA CLAVE DEL PLANETA.

Incrementando por su respuesta una señal climática de pequeña intensidad, el glaciar proporciona un diagnóstico confiable de la variación climática a muy corto plazo, que puede ser un año. La resolución es particularmente alta al nivel del decenio. Así que el glaciar tropical constituye una herramienta ideal para verificar los pronósticos de los modelos del clima basados sobre un reforzamiento del efecto invernadero debido al aumento de la concentración de los gases antropogénicos de la atmósfera. Esta evolución se traduce no solo por un aumento de la temperatura, sino también por un crecimiento de la humedad en la tropósfera tropical, como lo han demostrado Hastenrath y Kruss (1992) a partir de un diagnóstico del Glaciar Lewis (Kenya).

La aceleración del retroceso de los glaciares desde el principio de los años 1980 es una tendencia casi general en las montañas del mundo, según el World Glacier Monitoring Service (IAHS-ICSU, Zurich). Esta evolución puede ser relacionada a un aumento de la temperatura medida al nivel mundial (IPCC, 1992). En el Trópico, el movimiento de retroceso de los glaciares aparece más marcado que en las zonas extratropicales. Por ejemplo, según Hastenrath y Kruss (1992), los glaciares del Kenya han perdido 40% de su superficie entre 1963 y 1987. Cifra comparable a los glaciares de tamaño similar (<1 km²) de la Cordillera Blanca del Perú (fig.1). Aceleración que se nota también en la Cordillera Real de Bolivia, basándose sobre el estudio del Glaciar de Chacaltaya: pérdida de 50 % de la superficie entre 1940 y 1996 (Francou et al., en preparación).

A ESTE RITMO DE RETROCESO, LA DESAPARICION DE LA MITAD DE LOS GLACIARES DE LOS ANDES TROPICALES ES PREVISIBLE EN LOS PROXIMOS DECENIOS, LO QUE VA A AFECTAR LOS RECURSOS HIDRICOS Y ACENTUAR LOS RIEGOS GEODINAMICOS.

Si bien las masas de hielo del Trópico tienen un rol menor a escala mundial, como por ejemplo en el control del nivel de los océanos; localmente tienen un rol importante en los recursos hídricos. Tres capitales, La Paz, Quito, Lima, que concentran más de 10 millones de habitantes, regiones costeras del Pacífico y valles interandinos se abastecen de aguas de origen glaciar. Esta evolución puede ser-

crítica cuando el escurrimiento glaciar atenúa la variabilidad estacional (temporada seca de más de 3 meses, como en el Sur de Perú y en Bolivia) e inter-anual (año secos, como los años ENSO en Bolivia y en el Sur-Perú) (Francou et al., 1995).

En el mismo tiempo, el retroceso acentúa la inestabilidad de las masas de hielo: formación de lagunas de represa natural, avalanchas, vaciados intempestivos de esas lagunas (Ames y Francou, 1995).

LA FORMACION DE UNA RED DE MONITOREO DE GLACIARES A TRAVES DE LOS ANDES CENTRALES SE JUSTIFICA POR MOTIVOS DE INVESTIGACION FUNDAMENTAL Y APLICADA.

Solo existían los siguientes estudios de glaciares: 1) inventarios generales de los glaciares (Norte Perú, Bolivia, Ecuador); 2) programas de monitoreo parcial en la Cordillera Blanca del Perú en relación con los riesgos relacionados directamente (avalanchas) o indirectamente (vaciado de lagunas) con el movimiento de glaciares por parte de Electroperú SA, Huaraz.

En 1991, ORSTOM propuso a varios asociados andinos un programa integrado de monitoreo global de glaciares. El objetivo es instalar, sobre algunos glaciares representativos y presentando directas aplicaciones en el campo de los recursos hídricos (abastecimiento de agua potable, de agua para el riego y energía hidráulica), un equipo estandar que permita estimar a largo plazo el balance de masa y el balance hidrológico. Pero rápidamente se ha sentido la necesidad de completar este equipo con estaciones destinadas a medir sobre el glaciar el balance energético, solo método adecuado para identificar los procesos y abrir la posibilidad de desarrollar modelos de funcionamiento hidrológico tomando en cuenta la variabilidad climática. El primer glaciar equipado fue el Glaciar de Zongo en Bolivia en 1991-93 (fig. 2). Después vinieron otros glaciares, en el Perú (Artesonraju) y en el Ecuador (Antisana) (cuadro I). Así se estructura una red, apoyada sobre contrapartes regionales diversas, agrupando empresas especializadas en el manejo de las aguas (COBEE en Bolivia, EMAAP-Q en el Ecuador, Electroperú en el Perú), universidades (UMSA, Bolivia, EPN, Ecuador) o servicios nacionales (SENAMHI, Bolivia, INAMHI, Ecuador), siendo el objetivo que esta red pueda funcionar con la sola participación de los países andinos.

EJEMPLO DE UNA RESPUESTA DE LOS GLACIARES DEL AREA ANDINA A UNA SEÑAL CLIMATICA DE FUERTE INTENSIDAD Y DE CORTA DURACION: LOS EVENTOS ENSO

Se sabía que los eventos ENSO afectaban la pluviometría al nivel de los altos Andes (Francou y Pizarro, 1985 ; Aceituno, 1988): el déficit pluviométrico afecta particularmente el Sur del Perú y Bolivia, y por supuesto disminuye la acumulación de nieve en la parte alta de los glaciares. Esto se observa en los registros largos obtenidos a partir de las perforaciones (ice cores, Thompson et al. , 1984).

El impacto del ENSO sobre el balance global del glaciar fue demostrado sobre los glaciares del Perú y de Bolivia (Ribstein et al., 1995 ; Francou et al.,

1995). En el Perú, utilizando el modelo lineal de Lliboutry para la determinación de la variabilidad del balance, se pudo observar que la ablación es particularmente fuerte en las zonas bajas de los glaciares durante las fases negativas del ENSO, y al contrario atenuada durante las fases positivas (Francou et al., 1995 (fig. 4). En Bolivia, se ha observado que el escurrimiento del glaciar de Zongo se correlaciona bien, mediante un retraso de 4 a 6 meses, con el índice de Oscilación Sur (SOI Darwin-Tahiti) (fig. 4). Como se ha verificado también que la acumulación es de menor cantidad en esos años, se puede decir que la casi periodicidad del ENSO controla una parte notable de la variabilidad del balance de masa de los glaciares andinos (por lo menos en el Perú y en Bolivia, esperando los primeros resultados en el Ecuador). Por ejemplo, durante la fase negativa de 5 años de duración del ENSO de 1991-1996, los balances de los glaciares de Zongo y de Chacaltaya fueron muy negativos 4 años: perdieron más de dos veces la cantidad de agua que recibieron por las precipitaciones sólidas y la ELA (altitud de la línea de equilibrio) fue 200 a 300 metros más alta que durante los años donde esos glaciares presentan un balance equilibrado, como en 1992-93. Para un pequeño glaciar tal como el Chacaltaya, esta pérdida acumulada de los 5 últimos ciclos podría corresponder a no menos del 10% de su volumen total (Francou et al., en preparación).

Las razones de esta evolución desde el principio de los años podrán ser analizadas a partir de los resultados del balance energético que practicamos desde 1993 sobre el Glaciar de Zongo. Pero, conociendo la sensibilidad de los glaciares tropicales al cambio de temperaturas, combinando estrechamente este parámetro con otros, se puede relacionar esos balances negativos con las variaciones de temperaturas observadas en las estaciones altandinas. Se puede en efecto observar en dos estaciones vecinas de los glaciares, Querococha (4000 m snm) en la Cordillera Blanca y San Calixto-La Paz (3600 m snm) en la Cordillera Real, la clara desviación positiva de las temperaturas máximas y mínimas durante los acontecimientos ENSO (fig. 5). El recalentamiento de la tropósfera es un hecho clásicamente observado en todo el Trópico, particularmente en torno a la cuenca del Pacífico.

CONCLUSIONES

- La sensibilidad extrema de los glaciares tropicales a la variabilidad climática permite observar los cambios climáticos en esta zona.
- Una red de glaciares monitoreados es una necesidad para identificar las principales variables que proceden del cambio climático, particularmente temperaturas, humedad y flujos radiactivos.
- Un monitoreo de glaciares con finalidad climatológica tiene que ser vinculado a objetivos de investigación aplicada para justificar y cubrir los gastos referentes a una vigilancia de largo plazo: recursos hídricos y riesgos naturales relacionados a los glaciares constituyen las mejores oportunidades.
- Existe un interés particular por manejar, paralelamente a esos programas de monitoreo, programas que consisten a aprovechar la presencia de masas de

hielo frío acumuladas en la alta altitud para conocer, analizando los registros conservados, la evolución del clima desde siglos o milenios. Es una manera de apreciar la magnitud de la respuesta de esos glaciares a las grandes oscilaciones del pasado y compararla con su evolución actual (programa de L.G.Thompson en Bolivia, con el cual el ORSTOM colabora).

Cuadro 1
EQUIPO PRESENTE SOBRE LOS GLACIARES DE LOS ANDES
CENTRALES EN 1996

GLACIERS	ABLATION STAKE NETWORK	ACCUMULATION STAKE NETWORK + SNOW PITS	TOPOGRAPHY (STAKES + GLACIER TERMINUS)	LIMNIGRAPHIC STATION	RAIN GAUGES (P) and THERMOGRAPHIC STATION (T)
ZONGO (bo)	X	X	X	X	P-T (XXX)
CHACALTAYA (bo)	X	X	X		P-T (XX)
ARTESONRAJU (pe)	X	X	X	X	P)
YANAMAREY (pe)	X	X	X		P-T
ANTISANA (eq)	X	X	X	X	P-T
COTOPAXI (eq)	X				P-T

(XX) : 20 años

: Balance energético sobre el glaciar

REFERENCIAS

- Aceituno, P. (1988) : On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: Surface climate. *Monthly Weather Review*, 116 : 505-524
- Ames, A, y Francou, B. (1995): Cordillera Blanca. Glaciares en la Historia. *Bull. Inst. Fr. Et. And.*, 24, 1: 37-64
- Francou, B. y Pizarro, L. (1985) : El Niño y la Sequía en los Altos Andes centrales (Perú y Bolivia). *Bull. Inst. Fr. Et. And.*, 14, 1-2 : 1-18.
- Francou, B., Ribstein, P., Sémioud, H. y Rodríguez, A. (1995) : Balances de glaciares y clima en Bolivia y Perú: impactos de los eventos ENSO. *Bull. Inst. Fr. Et. And.*, 24, 3 : 661-670.
- Hastenrath, S. y Kruss, P.D. (1992): The dramatic retreat of Mount Kenya's glaciers between 1963 and 1987 : greenhouse forcing. *Annales de Glaciology*, 16 : 127- 134.
- Ribstein, P., Tiriau, E., Francou, B. y Saravia, R. (1995): Tropical climate and glacier hydrology. A case study in Bolivia. *Journal of Hydrology*, 165 : 221-234.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, H. y Morales Amao, B. (1984): El Niño-Southern Oscillation events as recorded in the stratigraphy of the Tropical Quelccaya Ice Cap. *Science*, 22: 50-53.

CORDILLERA BLANCA (PERU)
Terminus retreat of 3 glaciers

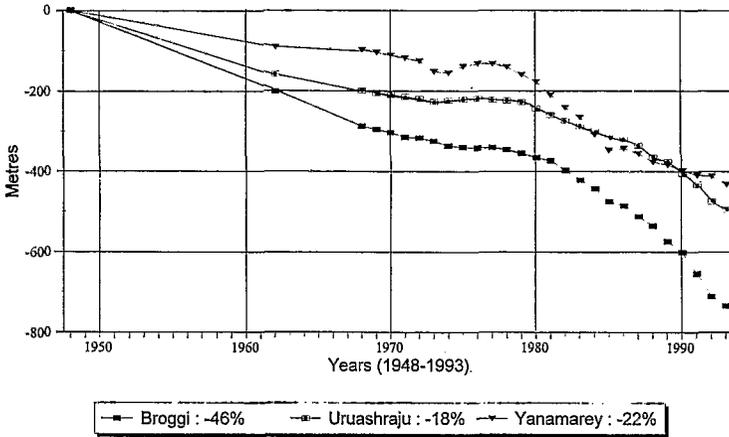


Fig. 1: Retroceso del término de tres glaciares en la Cordillera Blanca en el Perú. Los porcentajes indican el retroceso acumulado desde 1948 (Fuentes: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Huaraz, Perú)

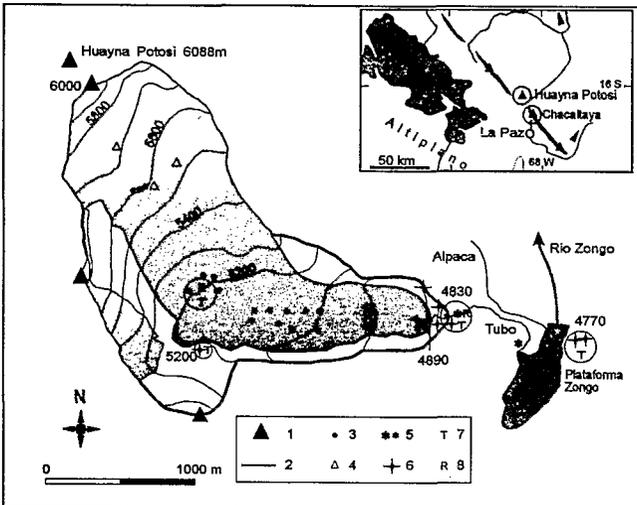


Fig. 2: Ejemplo de monitoreo de glaciar: Glaciar Zongo, Bolivia. 1. Picos más altos, 2. Límite de las cuencas, 3. Balizas de balance, 4. Pozos de acumulación, 5. Estaciones limnimétricas, 6. Pluviómetros, 7. Termógrafos, 8. Radiación global. Las estaciones para estimar el balance energético se encuentran sobre el glaciar a 5 500m, 5 150 m(permanente) y 4 900 m.

YANAMAREY AND URUASHRAJU GLACIERS

BETA-T (1700 m a.s.l.)

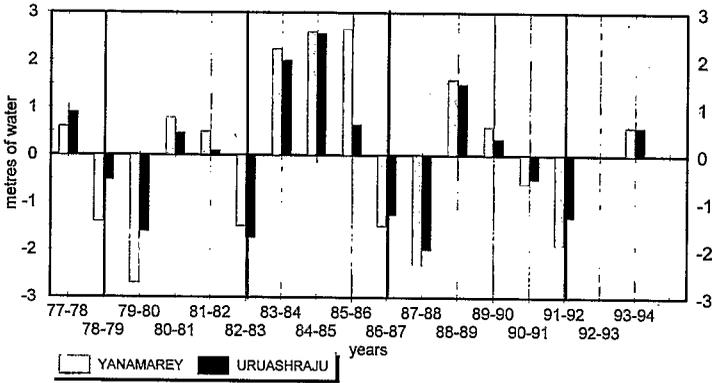


Fig. 3: Variación de balance (t: parámetro de la variación de balance en función del tiempo según el modelo lineal de Liboutry) desde 1977 sobre dos glaciares de la Cordillera Blanca, Uruashraju y Yanamarey. Los valores negativos corresponden a períodos del IOS (Índice de Oscilación Sur) negativos. Los trazos gruesos indican años ENSO

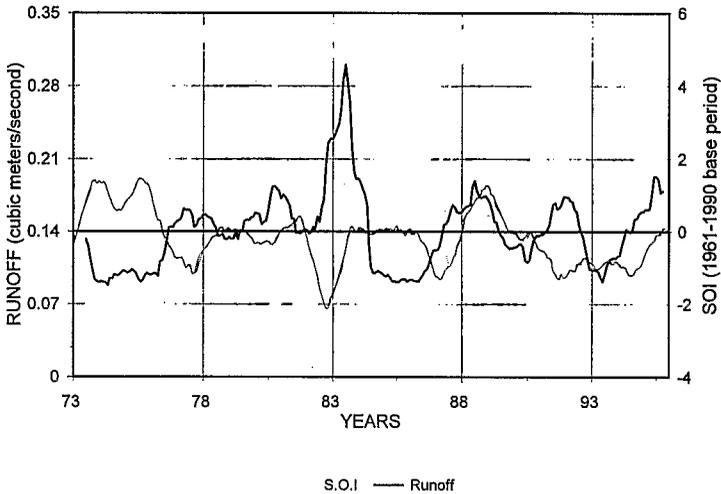


Fig. 4: Esguimiento en el Glaciar de Zorgo y IOS. Promedios móviles de 12 meses en ambos casos

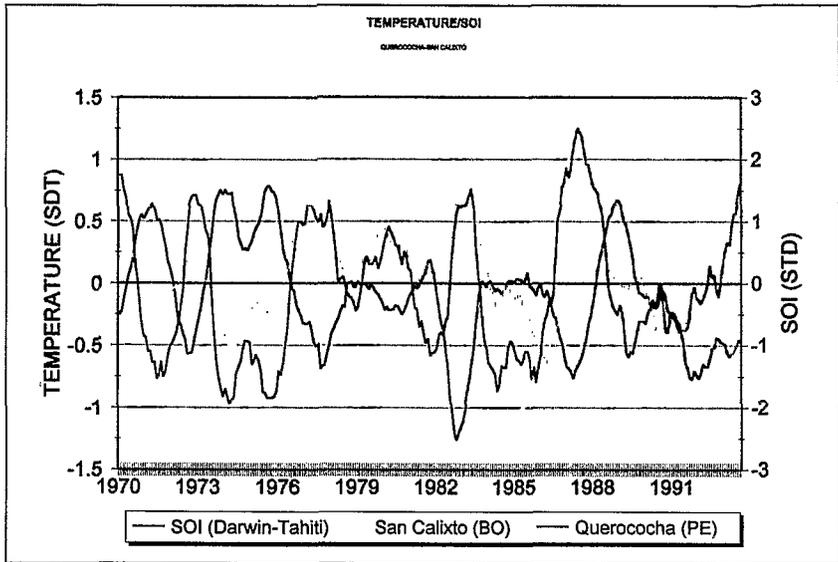


Fig. 5: Promedio de temperaturas en Querococha y San Calixto y IOS (Indice de Oscilación Sur). Promedios móviles de 12 meses en ambos casos.

LA RED DE MONITOREO GLACIO-HIDROLOGICO EN EL ECUADOR : INVESTIGACION FUNDAMENTAL Y APLICACIONES

Hubert Semiond, I.F.E.A, Quito, Ecuador

Alfredo de la Cruz, EMAAP-Q, Quito, Ecuador

El presente informe tiene como objetivo presentar de manera general la red de monitoreo de glaciares en Ecuador, lo que se ha hecho y lo que se debe hacer, así como mostrar las particularidades de estos estudios en el Ecuador.

PARTICULARIDADES DEL ESTUDIO EN EL ECUADOR

1/ Particularidades geográficas

a/ Ubicación ecuatorial

La ubicación ecuatorial de los nevados hace que el estudio en el Ecuador juegue un rol especial en el programa «Nieve y Glaciares Tropicales» de la ORSTOM y sus contrapartes en América del Sur. Esta característica es de primera importancia porque debido a ello el régimen de precipitaciones difiere bastante del existente en Bolivia o Perú y porque la zona ecuatorial es un lugar clave para numerosos fenómenos climáticos. Por ejemplo el fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) tiene diferentes efectos meteorológicos entre el Sur y el Norte del país.

b/ Morfología y ubicación de las cordilleras

En el Ecuador no hay cordilleras cubiertas de glaciares en forma continua ya que los nevados están aislados unos de otros por decenas de kilómetros y los volcanes tienen una forma cónica. En consecuencia los glaciares no están encerrados por ninguna cadena montañosa, ni tienen influencia de ninguna barrera de roca o de hielo que modifique el aporte calorímetro según el albedo, mediante cambios al régimen de los vientos. Aquí no existen tantos micro-climas ni tantos efectos de interrelación que impiden la percepción del cambio climático general en los glaciares. En consecuencia se espera observar una respuesta más clara de los glaciares a los cambios climáticos generales. Además la forma cónica de los glaciares hace que un mismo nevado posea todas las orientaciones y ello permite seguir en un mismo lugar la evolución de varios glaciares, lo que es mucho más difícil hacer a lo largo de una cadena montañosa.

Debido a que en el Ecuador hay tres cordilleras: la Oriental, la Central o Real y la Occidental, es muy interesante estudiar la evolución de los glaciares de cada una de ellas en el transcurso del tiempo.

Además, el deshielo parece muy alto en estos glaciares, así, por ejemplo se observó un retroceso de 60 metros durante un año en el glaciar 15α del Antisana. Este retroceso es mas importante que lo que se puede observar en otros países.

2/Particularidades históricas

Desde el siglo pasado varios exploradores han iniciado, sin saberlo realmente, el monitoreo de los glaciares, ya que muchos de ellos han ascendido los volcanes del país y han hecho dibujos, descripciones y comentarios de los lugares visitados. Tales documentos son numerosos en el Ecuador y constituyen una fuente documental única en los Andes. Esta es una característica muy importante para el estudio de los cambios climáticos, puesto que permite seguir la evolución general de los glaciares desde hace más de un siglo.

El primero de los trabajos mas completos sobre los glaciares del Ecuador, fue realizado por Edward Whymper, andinista y alpinista inglés muy conocido en Europa por sus ascensiones a los Alpes y sus grabados. El permaneció en Ecuador entre el 9 de diciembre de 1879 y el 20 de julio de 1880. Durante esta época hizo las primeras ascensiones a los principales volcanes del país. Según su costumbre hizo muchos dibujos de los glaciares encontrados con un deseo de verdad científica y dejó varios documentos de mucho interés. Todos sus grabados y sus observaciones están recopilados en su libro «Viajes a través de los MAJESTUOSOS ANDES del Ecuador».

Por ejemplo, en la figura 1 se puede observar y medir el retroceso de los glaciares del Sincholagua de manera espectacular y precisa. Con este tipo de documentos se puede estimar el cambio climático ocurrido desde esa época. Gracias a la ley de glaciología que dice que la proporción entre la superficie de acumulación y la superficie de ablación de un glaciar es constante en el tiempo. Conociendo actualmente este cuociente sobre los glaciares cercanos, se lo puede aplicar al antiguo glaciar del Sincholagua, porque es un cuociente regional. Así observando el dibujo de Whymper y recorriendo esta montaña se puede realizar mediciones exactas y conocer la altura de la línea de equilibrio de esa época sobre el Sincholagua. Con la desaparición del glaciar podremos saber cuanto ha subido esa línea hasta provocar todo el deshielo. Como la altura de la línea de equilibrio es una función de la temperatura se puede estimar el recalentamiento que ocurrió desde esa época.

A inicios de nuestro siglo otro explorador realizo observaciones sobre los glaciares ecuatorianos, es el Alemán Hans Meyer quien escribió «En los ALTOS ANDES del Ecuador». En este libro Meyer ha realizado muchas observaciones acerca del estado de la glaciación de los nevados del país. Además realizó planos muy precisos de los nevados y tomó numerosas fotografías de los mismos. Entonces, 23 años después de Whymper, esto ha constituido otra fuente documental sobre los glaciares ecuatorianos.

Desde los años 40 el ejército ecuatoriano realiza una cobertura de fotografías aéreas de alta calidad y con gran frecuencia. De esta manera dispo-

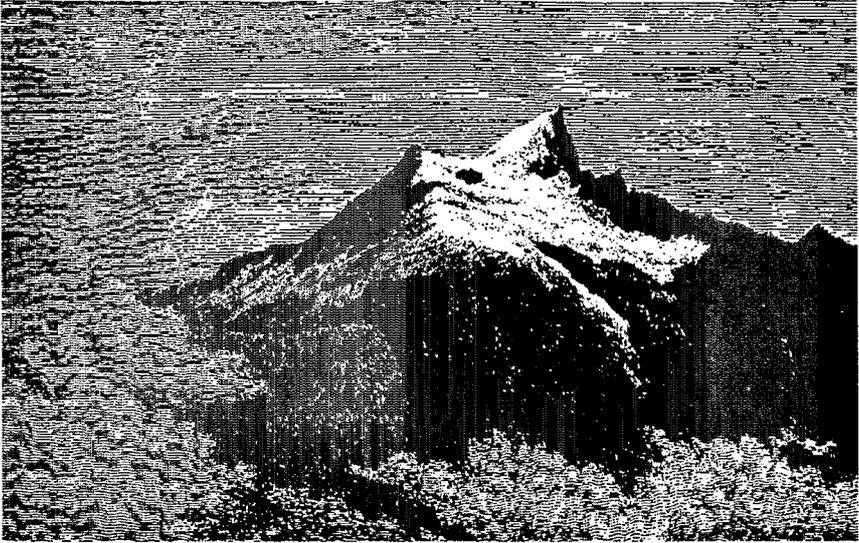
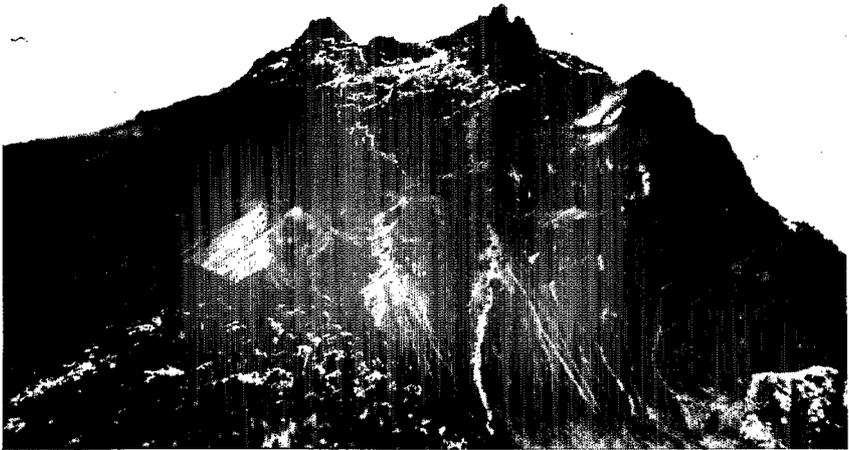


Figura 1. El Sincholagua según Whymper, 1880



El Sincholagua actualmente

nemos de documentos de capital interés. Con estas fotografías se puede observar el retroceso de las lenguas terminales de todos los glaciares. Así mismo si esas variaciones dependen de otros factores tales como el comportamiento mecánico del hielo, sobre un período de cincuenta años, se puede hacer observaciones interesantes sobre el cambio climático. Además se puede hacer observaciones sincronizadas sobre los cambios acaecidos en lenguas con diferentes orientaciones (figura 2).

La última fuente de datos sobre los glaciares ecuatorianos constituye el trabajo realizado por Stefan Hastenrath quien hizo una compilación de todos los datos citados anteriormente, desde dibujos de Whymper hasta las fotografías aéreas. Sin buscar grandes interpretaciones, Hastenrath proporciona una buena herramienta de trabajo puesto que utiliza todos los datos glaciológicos existentes en el país.

Todo lo expuesto hace del Ecuador un país que dispone de una historia única sobre sus glaciares intertropicales que permitirá seguir la evolución del clima durante más de un siglo.



Figura 2. Los glaciares del Chimborazo, después de Meyer, en 1907

IV/ APLICACIONES : EL PROGRAMA ANTISANA

El Antisana : un aportante activo de agua al proyecto Mica Quito Sur

La aplicación más importante del monitoreo de los glaciares en Ecuador constituye su aporte al manejo y suministro de agua potable para Quito, ciudad que se alimenta de las captaciones del río Pita que nace en el Cotopaxi y del proyecto Mica-Quito Sur que se alimenta del nevado Antisana.

La Empresa de Agua Potable de Quito, (EMAAP-Q), ha previsto construir una presa en la salida del lago Mica Cocha para suministrar agua potable al sector sur de Quito. La cuenca de esta laguna se encuentra junto a glaciares del Antisana, algunos de los ríos captados por el futuro proyecto tienen sus fuentes al pie del nevado. Es decir que el proyecto tiene gran parte de su origen aguas provenientes del glaciar. Los cálculos demuestran que el área de las cuencas aportantes del proyecto, están constituidos en el 6% por territorio cubierto de glaciares y nieve. Cabe suponer según estimaciones preliminares que el aporte de aguas nivales o glaciales al proyecto es superior a ese porcentaje.

Esto se debe a que en primer lugar la media anual de precipitaciones en una estación meteorológica de la cuenca, da un total anual de unos 700 mm, pero los resultados de una perforación hecha en la cumbre del nevado en febrero pasado, nos indica que allí la precipitación neta de agua es igual a 1200 mm de agua, (valor promedio de los últimos 5 años). Además como en la cota 3907 msnm la evaporación medida con tanque tipo A es muy alta, casi igual a la suma anual de las precipitaciones (Informe Mica Quito Sur, Edgar Ayabaca, Alfredo de la Cruz, 1993), lo cual implica que una gran parte de los 700 mm de lluvia anual se evapora. Al contrario, el valor obtenido en la cumbre, es el resultado del balance hídrico. En cotas más bajas, la nieve y el hielo disminuyen relativamente poco ya que la sublimación y la evaporación son bajas en razón del frío. Así se tiene que toda el agua que desciende de la cumbre se concentra en los afluentes de los glaciares, donde la evaporación tampoco es alta. Además las infiltraciones son más fuertes en toda la cuenca donde el suelo está constituido por cenizas volcánicas, al contrario que en el glaciar donde el frío y la base de roca limitan mucho la infiltración de las aguas. A esta cantidad de agua se suma el agua debido al retroceso del glaciar. En efecto, se ha podido observar que los glaciares tienen un balance negativo, es decir que cada año sale más agua del glaciar que lo que se precipita durante el año sobre el glaciar (se observó 60 m de retroceso del glaciar 15α del Antisana entre junio de 1994 y junio de 1995).

Las mediciones realizadas por la EMAAP-Q demuestran que de los ríos de esta zona egresa más agua que la que reciben mediante las precipitaciones. Probablemente esta situación se podrá explicar por medio de los aportes del glaciar. Las incógnitas a las cuales se buscará dar respuestas están relacionadas con las causas por las que hay mayores precipitaciones en la cumbre, porque allí hay menos evaporación e infiltración con los mecanismos por los cuales el glaciar pueden entregar más agua que la que recibe.

Es menester señalar que el nevado además constituye un embalse de regulación de caudales que entregan mayores volúmenes de agua durante las

estaciones secas cuando se produce una alta fusión glaciar. Como ejemplo contrapuesto se puede citar al lago Santa Lucía que no recibe aportes de agua provenientes del Antisana y que por eso se seca durante algunos meses.

Equipos de medición en el glaciar 15α

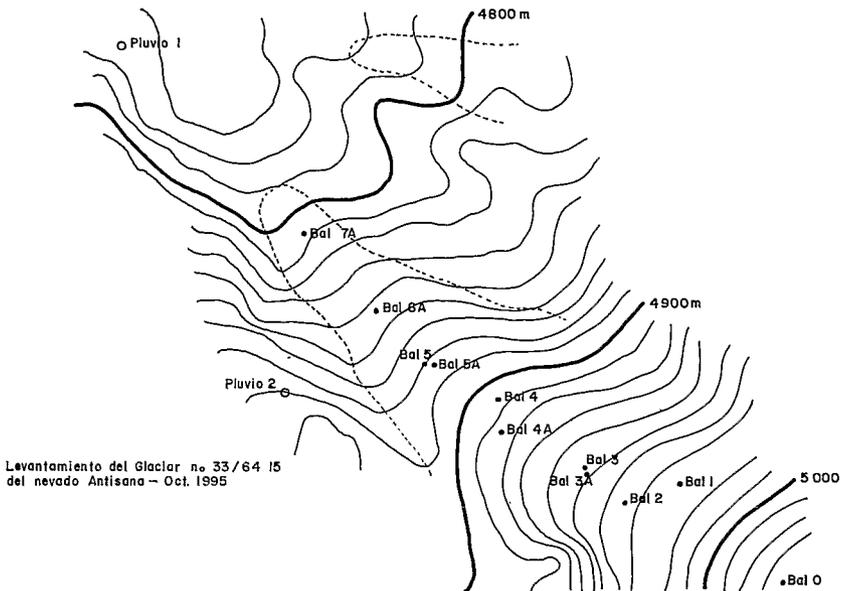
a/ Los equipos (figura 3)

Desde agosto de 1994 se han instalado algunos equipos en las cercanías del glaciar 15α, ya que la ORSTOM con la EMAAP-Q y el INAMHI empezó su estudio. Este glaciar fue seleccionado por cuanto es uno de los pocos glaciares que tienen juntos una lengua terminal bien definida y un afluente que permite medir casi toda el agua que entrega el glaciar.

En primer lugar se instaló una red de balizas para medir la ablación, que están ubicadas entre las cotas 4800 msnm y 5100 msnm. Además se colocaron tres pluviómetros de tipo tanque totalizador en las cotas 4550 msnm, 4785 msnm, 4890 msnm.

Desde aquel entonces los aforadores de la EMAAP-Q realizan mediciones mensuales en cada instrumento.

En enero de 1996 la EMAAP-Q y la ORSTOM construyeron una estación limnigráfica en la cota 4500 msnm que controla el caudal superficial del glaciar 15α. Pero, debido al gran volumen de sedimentos que llevan las aguas se han producido muchos problemas que impiden la obtención de buenas mediciones. Al momento se hacen las correcciones del caso.



En febrero 1996 un equipo de la ORSTOM llevó a cabo una perforación de 12 m de profundidad en la cumbre del Antisana, lo cual ha permitido recoger datos precisos y valiosos.

En julio se cambió la red de balizas, y se colocó dos nuevos pluviómetros y un termógrafo a 4890 msnm.

Durante el mes de noviembre 1996 se instaló una estación tipo Campbell a 5100 msnm que mide en forma continua temperatura, humedad, radiación solar y albedo.

b/ Primeros resultados

La información recopilada no permite realizar amplias interpretaciones, razón por la cual a continuación solo se exponen algunos resultados.

- La pluviometría :

- * figura 4 : los datos muestran que existe una correlación media entre los diferentes pluviómetros.
- * figura 5: se establece la distribución estacional de las precipitaciones durante el año 1995 y se define el inicio del año hidrológico en enero (segun otras fuentes)
- * figura 6 : se puede ver una gradiente pluviométrica positiva entre el campamento (3930 msnm) y cerca del glaciar (4550 msnm - 4890 msnm), es una consecuencia tanto de la altitud como de la ubicación.

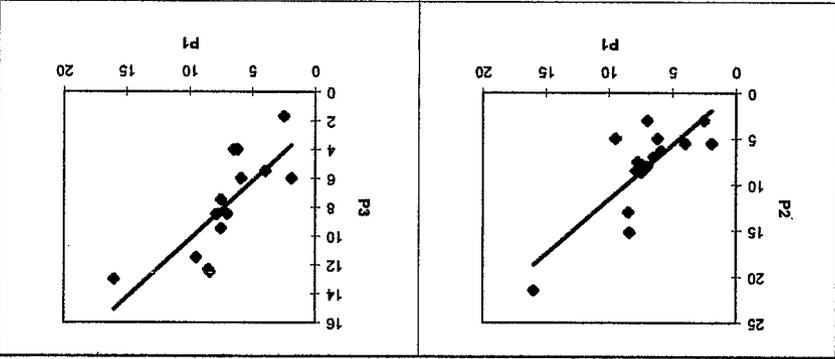
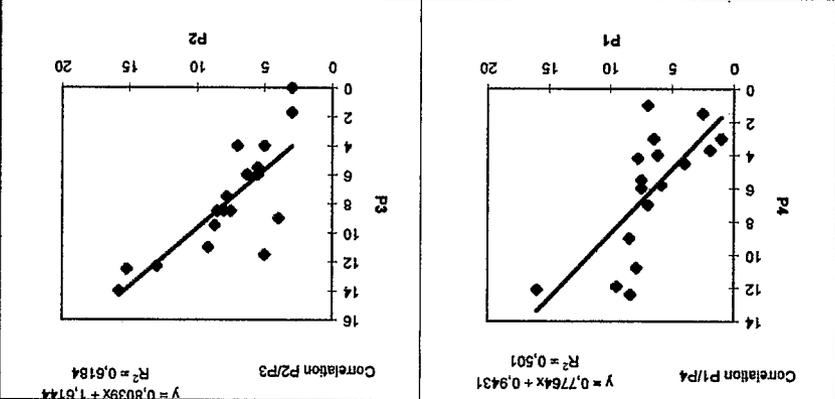
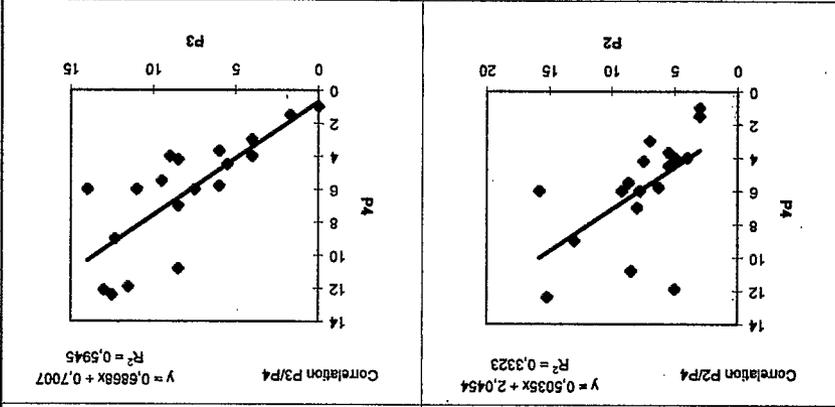
- Los caudales :

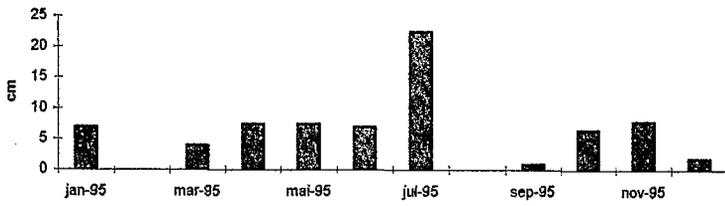
- * se puede observar la secuencia de los caudales desde el 5 de mayo de 1996 hasta el 14 de mayo de 1996. Es un régimen típico de ríos con origen glaciar. En la mitad de cada día se puede observar una crecida correspondiente a la fusión de la nieve y el hielo debido a las radiaciones solares y variaciones de la temperatura;
- * observando dos días con mayor precisión se puede constatar que la crecidadiurna empieza a las 9h30 y asciende rápidamente hasta iniciar su descenso a las 14h30. La tapa de resección es mucho mas lenta que la de ascenso. Esto se debe al hecho de que cuando empieza la fusión en el glaciar, primeramente se llenan todas las «fisuras» del glaciar. Cuando el agua empieza a salir del glaciar la fusión es bastante fuerte y por eso el caudal es alto. En la tarde la fusión disminuye de manera mas lenta a medida que disminuyen las radiaciones y la temperatura.

Sería muy interesante buscar esta característica hidrológica en los ríos que descienden del glaciar a fin de medir el aporte en agua de la fusión.

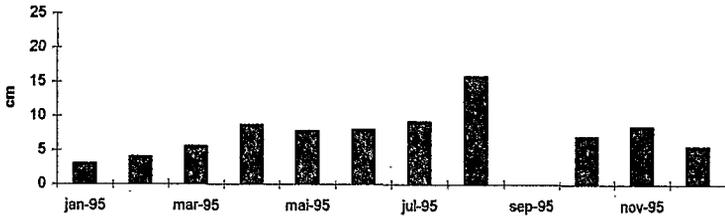
- La perforación:

- en febrero de 1996 un equipo de la ORSTOM efectuó una perforación de 12 m en la cumbre del Antisana (5765 msnm), cuyos resulta-

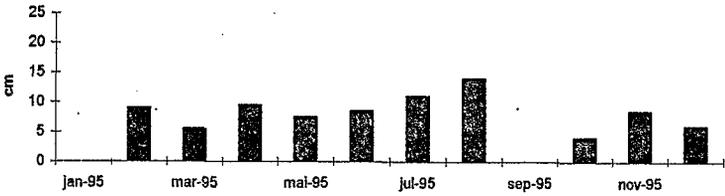




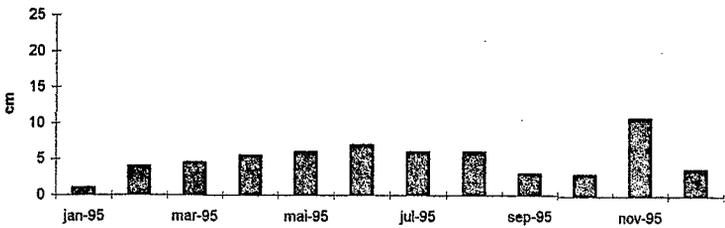
Pluvio 2 alt. 4785m total=750mm

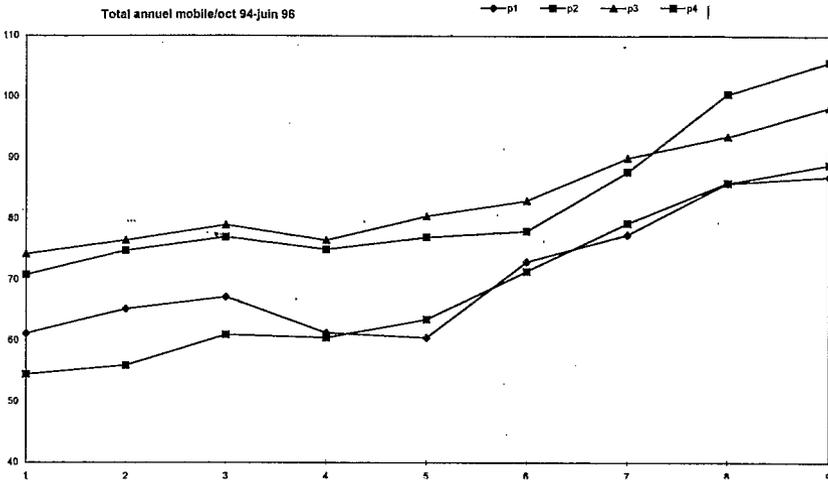


Pluvio 3 alt. 4555m total=765mm



Pluvio 4 alt. 3930m total = 605mm





dos han permitido definir dos parámetros : la densidad y la concentración en O^{18} .

- en este tipo de medición lo más importante es establecer la señal que marca el cambio de año. Usualmente el cambio de densidad es una buena señal, pero aquí debido a que no hay realmente una estación seca, no se observa ninguna variación de densidad. Gracias al estudio del O^{18} se puede ubicar y medir el cambio de año ya que ello revela una señal bien marcada. Conociendo una secuencia anual de las densidades se puede calcular las precipitaciones del año. Así tenemos un valor neto de acumulación, lo que se precipitó menos lo que se sublimó y menos lo que el viento retiró.

Se han obtenido valores bastante altos de aproximadamente 1200 mm anuales.

CONCLUSIONES

El estudio de los glaciares aquí en Ecuador gracias a su ubicación ecuatorial, a la morfología y a la sensibilidad de sus nevados, a sus documentos históricos y a la eficacia de los equipos de trabajo en el campo, va a dar próximamente resultados precisos y nuevos resultados sobre el cambio climático y también va a suministrar datos capitales para el manejo del futuro embalse en la laguna Mica Cocha.

REFERENCIAS

- E. Ayabaca A. de la Cruz (1993) : Informe final de hidrología, Proyecto Mica-Quito Sur
- B. Francou (1994-1996): Rapports de mission
- S. Hastenrath (1981) : The Glaciation of the Ecuadorian Andes
- H. Meyer (1907) : «En los ALTOS ANDES del Ecuador»
- E. Whympfer(1891) : «Viajes a través de los MAJESTUOSOS ANDES del Ecuador»

EL GLACIAR DE CHACALTAYA (BOLIVIA): TENDENCIAS DEL BALANCE DE MASA Y RETROCESO MEDIDO DESDE 1940

Edson Ramírez, Instituto de Hidráulica e Hidrología
(IHH-UMSA) CP-699 La Paz, Bolivia

Bernard Francou, Misión ORSTOM, CP 9214 La Paz, Bolivia

RESUMEN

Las regiones tropicales y subtropicales, al tener un régimen climático diferente al de las regiones de altas latitudes, hacen que la respuesta de los glaciares tenga características muy particulares que difieren de los glaciares de altas latitudes y cuyos estudios no son muy comunes aun.

Una de las características principales es que los períodos de acumulación, prácticamente coinciden con los períodos de mayor radiación solar, propicios para el proceso de ablación. Se ha tomado como elemento de estudio al Glaciar de Chacaltaya en Bolivia, por ser este un glaciar de pequeña superficie cuyo retroceso se ve muy acentuado en los últimos tiempos a consecuencia de los cambios climáticos.

1. MARCO GEOGRAFICO

El glaciar de Chacaltaya tiene una posición muy característica lo que hace que su estudio se convierta aun más interesante (Fig.1). Se encuentra sobre la Cordillera Real al NE del altiplano boliviano la cual presenta la particularidad de conformarse en un límite natural entre la Amazonía y el Altiplano boliviano (Ramírez et.al,1995). Se encuentra a su vez en la cabecera de la cuenca de La Paz que es precisamente donde se encuentra ubicada la ciudad de La Paz.

Tiene una superficie aproximada de 0.1 Km² con una extensión de 632 m de largo por 252 m en su ancho mayor.

Se ha estimado la altura máxima del glaciar a 5345 msnm y la altura más baja (frente del glaciar) a 5075 m.

Por su fácil acceso y el tamaño del mismo, se convierte en un glaciar modelo para apreciar los rápidos cambios que se producen en el a consecuencia de los cambios climáticos en particular por los cambios en la temperatura.

REGIMEN DE PRECIPITACIONES

A través de estudios realizados en la región (Mendoza,1994;Ramírez,1995), se ha observado que la principal fuente de humedad que provocan las precipitaciones en la zona proviene de las masas húmedas que llegan desde la Amazonía.

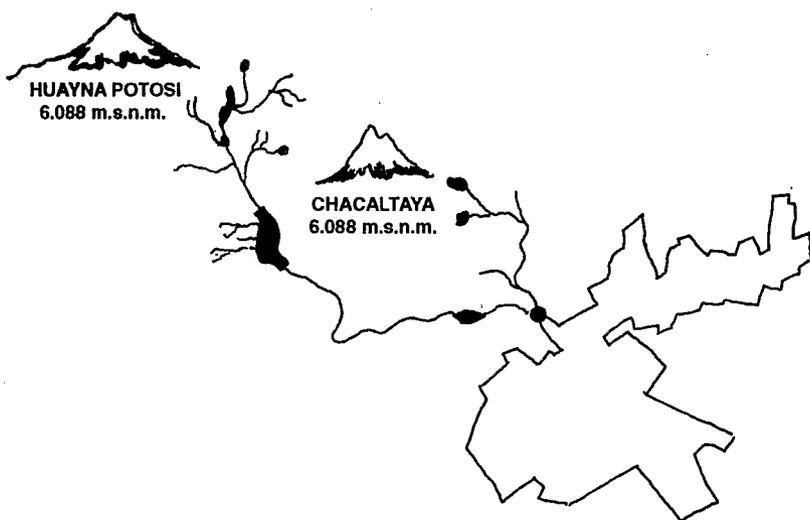


Fig.1 Ubicación del Glaciar de Chacaltaya

A nivel anual, se considera que el año hidrológico comienza en octubre y concluye en septiembre. En esta región se ha determinado que los valores de precipitación detrás de la cordillera (Amazonía) aumentan a medida que se incrementa la altitud (Ribstein et.al,1993) y una vez que atraviesa la cordillera estos valores van disminuyendo a medida que se baja en altitud.

Se estima un valor promedio anual de precipitación de 700 mm cercano al glaciar de Chacaltaya. Este valor es aproximado ya que las medidas de precipitación en altura se van dificultando a consecuencia de la presencia de nieve y excesivo viento.

A nivel mensual se ha encontrado que la distribución de las precipitaciones responde a características de tipo estacional, donde los mayores valores se presentan durante el verano (diciembre, enero, febrero y marzo) con un aporte del 67% de la precipitación total anual y las precipitaciones mas bajas se presentan durante el invierno (mayo, junio, julio y agosto), con un aporte de aproximadamente 8% de la precipitación total anual,tal como se observa en el figura No.2.

REGIMEN DE TEMPERATURAS

Si bien en la actualidad no existe una estación bien definida sobre el glaciar en la cual se hayan registrado períodos largos de observación de temperaturas, existe información con la que cuenta el Observatorio de Física Cósmica ubicado cerca al glaciar cuyos datos se encuentran en etapa de procesamiento (digitalización de bandas termográficas).

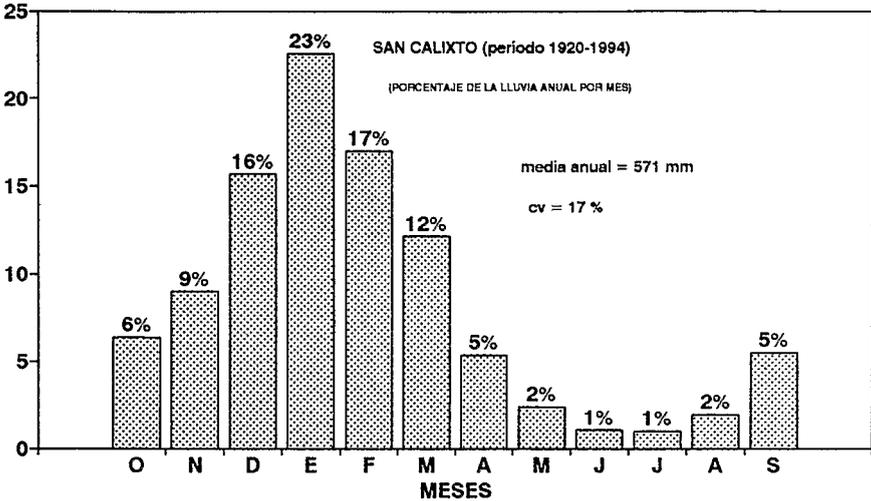


Fig.2 Distribución mensual de la lluvia en la ciudad de La Paz

Sin embargo de acuerdo a registros del Observatorio de San Calixto en la ciudad de La Paz, se tienen valores promedio de temperatura de 10.7°C (Segalín y Cabré,1988).

ELECCION DEL GLACIAR DE ESTUDIO

Chacaltaya, como se indicó anteriormente, al constituirse en un glaciar subtropical presenta características diferentes respecto a los glaciares de las regiones de altas latitudes, ya que tiene la característica de que el período de acumulación practicamente coincide con la época de mas alta radiación solar incidente sobre la superficie terrestre que se presenta durante el verano.

Al no existir suficientes estudios al respecto, surge la necesidad de estudiar los glaciares subtropicales.

En Bolivia se eligieron para tal efecto dos glaciares: El glaciar Zongo sobre el nevado Huayna Potosí y el glaciar de Chacaltaya. El primero por considerarse un glaciar de mayor magnitud y el segundo por ser un glaciar pequeño susceptible a cambios notorios y a una eminente desaparición del mismo.

El monitoreo de éste glaciar se inicia a través de un estudio de inventariación de glaciares (Jordan,1990) para luego continuar con monitoreo más específico a partir del año 1991 hasta la actualidad.

RESULTADOS OBTENIDOS

Balance de Masa.

Para la determinación del balance de masa, se dispuso un grupo de balizas a lo largo de lado Este del glaciar (Fig.3), eligiéndose este sector ya que el lado oeste

o lado izquierdo del glaciar forma parte de la pista de ski del mismo, lo que dificulta las mediciones respectivas.

Las balizas utilizadas constan de un juego de 5 estacas de 2m de longitud cada una lo que hace un total de 10m por baliza. Se utilizó así mismo una sonda a vapor que permite realizar la perforación sobre el hielo para introducir dichas balizas.

A través de la medición de la emergencia de cada baliza (longitud desde el extremo superior de la baliza a la superficie de nieve o hielo) fue posible la cuantificación del espesor de capa de hielo que se pierde o gana en el sector (ablación o acumulación).

Estas mediciones, a diferencia de las mediciones convencionales que se realizan una vez al año, en el glaciar de Chacaltaya, son realizadas cada mes, lo que permite poder obtener balances de masa mensuales.

El procedimiento utilizado para la determinación del balance, fue el de trazar curvas de nivel del glaciar y dividir la superficie del mismo a intervalos de 50m (Fig. 3).

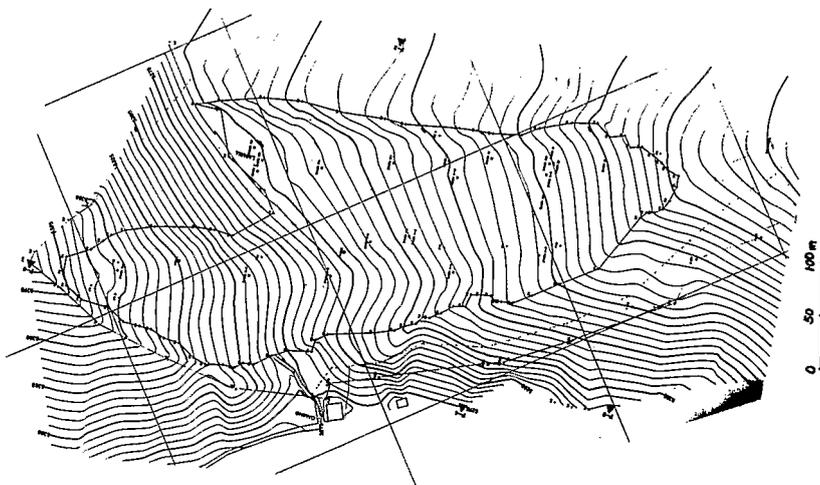


Fig. 3 Ubicación de balizas sobre Chacaltaya y división por rangos de altitud.

Por lo tanto, se obtuvo un balance promedio de las balizas ubicadas en cada intervalo permitiendo de esta manera conocer el comportamiento del glaciar a diferentes niveles o rangos de altitud.

Los resultados obtenidos desde el año 1991 a 1995 para los diferentes rangos de altitud se muestran en el cuadro No.1.

CUADRO NO.1
GLACIAR DE CHACALTAYA: BALANCE ESPECIFICO VS ALTITUD

Δh (m)	s (Km ²)	B91-92 s/S	B92-93 s/S	B93-94 s/S	B94-95 s/S
<5100	0.0048	-61.67	-7.65	-56.41	-86.06
5100-5150	0.0183	-256.09	-20.05	-239.69	-345.40
5150-5200	0.0327	-441.32	34.20	-407.12	-543.91
5200-5250	0.0252	-247.23	119.22	-225.90	-307.47
5250-5300	0.0138	-133.33	67.35	-126.45	-171.81
>5300	0.0056	-54.10	27.33	-51.31	-69.72
TOTAL	0.1004	-1193.75	220.40	-1106.89	-1524.38

La Fig.4 muestra los valores de balance de masa respecto a los rangos de altitud y se observa que las curvas son semejantes con un desplazamiento secuencial, lo que puede permitir la reconstrucción de un balance a partir de algunas balizas en el caso de que parte de ellas se hubiesen perdido por determinadas contingencias.

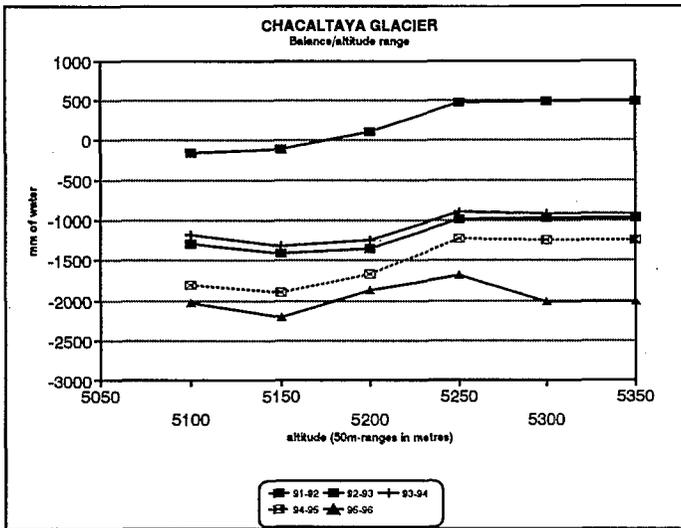


Fig.4 Glaciar de Chacaltaya: Balance de masa vs Rangos de altitud.

De igual manera, a los puntos así definidos para los rangos de altitud, se les aplicó un ajuste de tipo lineal para la determinación de la altitud de la línea de equilibrio (balance $b=0$, ELA) tal como se muestra en la figura No.5.

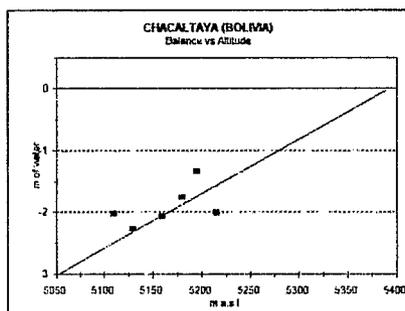
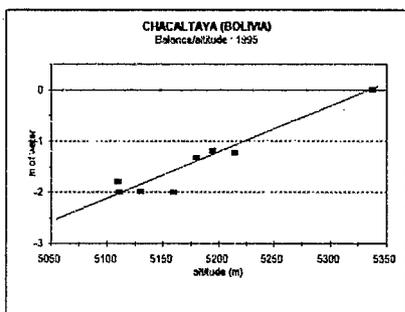
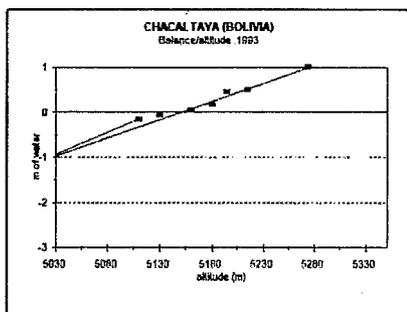
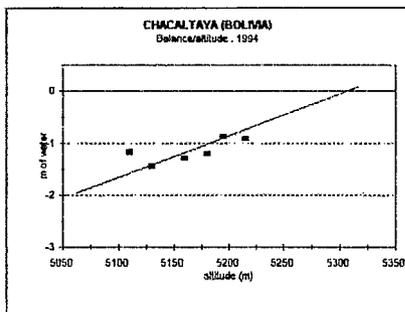
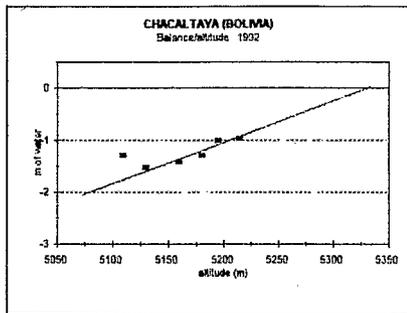


Fig..5 Ajuste lineal del Balance de Masa Chacaltaya

Una característica importante, fue el encontrar que para los años analizados las rectas de ajustes presentan un cierto paralelismo entre ellas lo que permite inferir que si bien los valores pueden cambiar dependiendo de si se tiene un año más positivo o más negativo, la pendiente de la recta de ajuste de estos puntos se mantendrá aproximadamente constante.

Este detalle permite a su vez poder tener cierto criterio de elección de

los puntos que deberán ser tomados en cuenta para su ajuste en posteriores observaciones.

De esta manera se ha estimado un valor promedio de ELA de 5175 msnm, aunque de acuerdo a los últimos registros se ha encontrado que este valor se encuentra por encima de la altitud máxima del glaciar, lo que indica que el glaciar en su conjunto se encuentra en la zona de ablación.

Un parámetro también importante que corrobora esta situación es el denominado AAR (del inglés Accumulation Area Ratio) que es la relación de área de acumulación respecto al área total del glaciar. Los valores determinados hasta el año 1995 se muestran en cuadro N°2.

**CUADRO N°2
POSICIONES DE LA LINEA DE EQUILIBRIO Y
PORCENTAJES DE RAZON DE AREA DE ACUMULACION**

AÑOS	ELA msnm	AAR %
1991-92	5332	2
1992-93	5149	77
1993-94	5318	4
1994-95	5338	0
1995-96	5385	

La Figura No.6 muestra en resumen los balances mensuales para el período de registro analizado conjuntamente con la curva de balance acumulado.

De este gráfico se puede apreciar que entre los meses de septiembre a diciembre se presenta generalmente una fuerte ablación, de diciembre a mayo existe una etapa de acumulación pero combinada con períodos de ablación de menor proporción respecto al anterior caso. De mayo a septiembre existe una relativa estacionariedad.

Para el primer caso, este efecto se explica a causa de que en este período existe una alta radiación incidente lo que provoca una elevación de la temperatura acompañada por baja nubosidad, consecuentemente baja precipitación. Esto provoca poca acumulación de nieve por lo tanto un albedo bajo (poca reflectividad).

En el segundo caso, el período, al coincidir con la época de lluvias, se caracteriza por una fuerte nubosidad y por lo tanto una disminución de la radiación incidente. Las altas precipitaciones provocan por lo tanto una mayor acumulación de nieve y consecuentemente un alto valor de albedo (0.9).

En el tercer caso, se tiene un período de relativa estacionariedad debido a que este coincide con la época de invierno caracterizada por bajas temperaturas y valores prácticamente nulos de precipitación. Si bien en este período existe una baja nubosidad que permite una incidencia directa de la radiación

solar, este efecto se contrarresta con las bajas temperaturas que evitan una ablación acentuada. En este período existe poco escurrimiento de fusión.

Adicionalmente, en la figura se observa el balance acumulado, que muestra que predomina la ablación (pérdida de masa) frente a la acumulación.

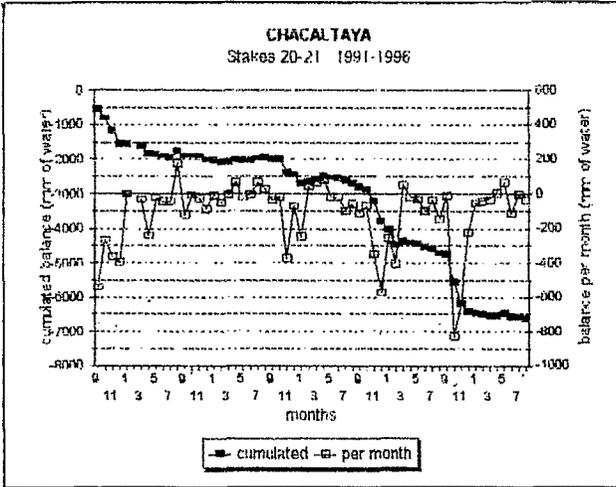


Fig. 6 Balance mensual y balance acumulado del Glaciar de Chacaltaya para el período 1991-1996

Retroceso del glaciar

La posición del frente del glaciar año tras año, es en un parámetro de comparación de la evolución de cambios que sufre un glaciar.

Para el caso de Chacaltaya propiamente, se ha realizado un seguimiento continuo de este retroceso a partir del año 1991 (año de inicio de la investigación). Adicionalmente se ha podido rescatar valiosa información de años anteriores a partir de algunas fotografías que muestran la extensión del glaciar.

Para el caso de los años de estudio la metodología aplicada fue utilizar cinco puntos representativos a partir de los cuales, tomados como referencia, se hicieron las mediciones al frente del glaciar y se adoptó un valor promedio para cada año.

Este análisis, mostró que entre el año 1940 a 1982 se produjo un retroceso promedio de 0.95 m/año; entre 1940 y 1993 2.01 m/año y entre 1982 y 1993 un valor promedio de 6.05 m/año.

Este último valor se fue manteniendo aproximadamente constante, sin embargo en el último año de medición se registró un retroceso de alrededor de 17 m.

La figura No.7 muestra claramente como el glaciar fue disminuyendo en el tiempo de acuerdo a levantamientos topográficos realizados en el lugar.

RETROCESO DEL GLACIAR DE CHACALTAYA PARA LOS DIFERENTES AÑOS DE ESTUDIO

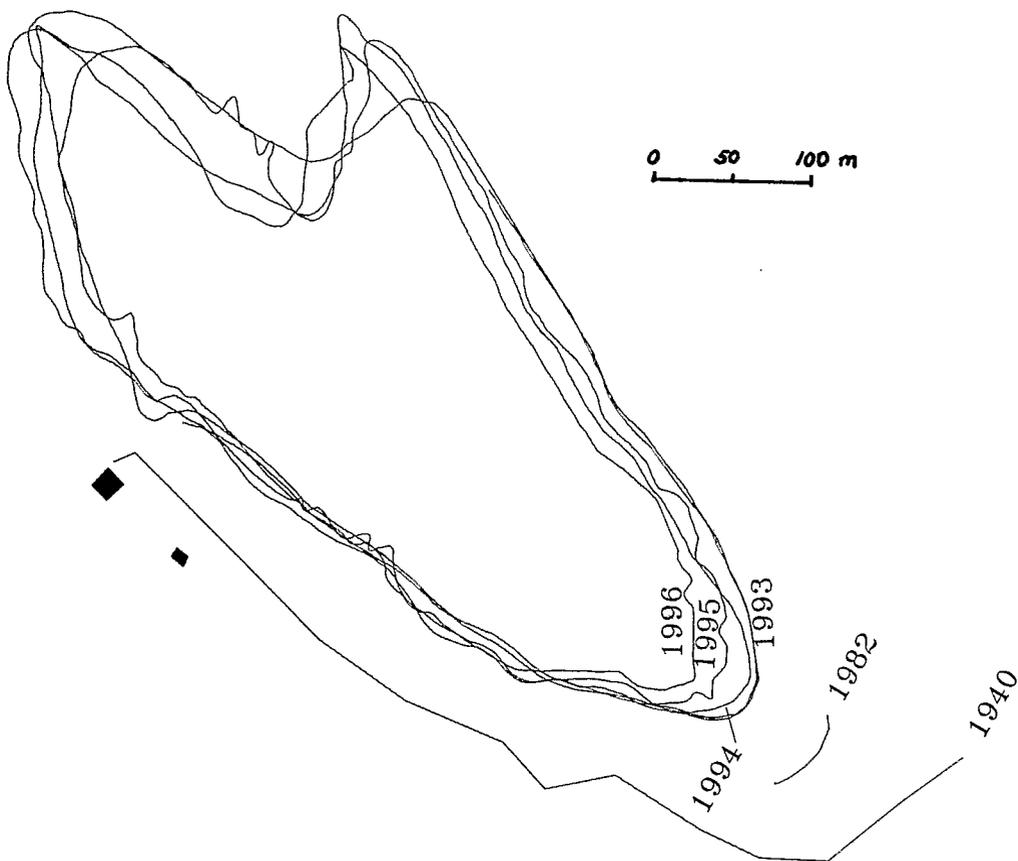


Fig. 7 Retroceso del frente del Glaciar de Chacaltaya

De acuerdo al análisis de áreas determinadas topográficamente para el Glaciar de Chacaltaya, se ha encontrado que desde el año 1940 a 1996 existe una disminución en superficie de aproximadamente un 45%.

Según las topografías de los últimos años, se ha encontrado la siguiente relación en disminución de superficie.

TRABAJOS RECIENTES

Con el fin de mejorar la precisión de los resultados en el estudio del glaciar, se ha realizado durante el año 1996 la ampliación de la red de balizas a través de la instalación de las mismas en el sector oeste del glaciar y en la parte alta.

CUADRO Nº.3

AREA DE LA SUPERFICIE DEL GLACIAR DE CHACALTAYA 1993-1996

Año	Area (m ²)
1993	94615
1994	88963
1995	86542
1996	83563

Estos puntos deberán permitir corroborar la información obtenida hasta el momento donde se consideraba un comportamiento común en ambos lados del glaciar para los diferentes rangos de altitud determinados.

Así mismo, se realizó un levantamiento topográfico de precisión enlazado con la red geográfica mundial al inicio de la temporada, donde se definió a su vez la posición de las nuevas balizas para su seguimiento respectivo.

En lo referente a la obtención de los parámetros meteorológicos, en el lugar, se encuentra en etapa de construcción y montaje una estación meteorológica que proporcionará información referente a: precipitación (pluviometría y pluviografía), temperatura (del ambiente y del suelo), viento y radiación solar.

TRABAJOS FUTUROS

En un futuro próximo, se prevé la instalación de una estación hidrométrica a la salida de la cuenca que, conjuntamente con la estación meteorológica, permita estimar el balance de masa a través del método hidrológico.

De igual manera, se prevé un estudio detallado del retroceso del glaciar a través de restitución aerofotogramétrica de fotografías de años anteriores y con vuelos que se estiman realizar cada año de aquí en adelante conjuntamente con la cooperación del Servicio Nacional de Aerofotogrametría de la Fuerza Aérea Boliviana.

REFERENCIAS

Francou, B., Bourges, J., Ribstein, P., Vargas, R., 1992 - Un Programa de Estudio de un glaciar tropical. Aplicaciones a los recursos de agua de una cuenca Andina, ORSTOM. La Paz, Bolivia.

Jordan, E., 1990 - Die Gletscher der Bolivianischen Anden. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 397p.

Mendoza, J., 1994 - Estudio del Régimen Pluviométrico en la cuenca del río La Paz, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Ramírez, E., 1995 - Influencia del Relieve sobre la Variabilidad Espacial y Temporal de las precipitaciones: Cuenca del río La Paz, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Ramírez,E., Mendoza,J., Salas,E., & Ribstein,P., 1995 - Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la Cuenca de La Paz. Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, 24(3): 391-401.

Ribstein,P., Hoorelbeke,R., Tiriou,E., Salas,E., & Cortez,J., 1993, Después del PHICAB, un nuevo proyecto hidrológico con ORSTOM. in: Seminario del Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia (ORSTOM, IHH-UMSA, SENAMHI, CONAPHI), La Paz, Bolivia.

Segalino & Cabre, 1988 - El Clima de La Paz, Resultados del Observatorio de San Calixto, La Paz, Bolivia.

BIOGEOCHEMICAL RESPONSES TO CLIMATE CHANGES IN MOUNTAIN AREAS, COLORADO, USA

Mark Williams, Paul Brooks, Tims Seastedt and Steven Schmidt
University of Colorado, Boulder, Colorado, USA

ABSTRACT

We have implemented a long-term snow fence experiment at the Niwot Ridge Long-Term Ecological Research (NWT) site in the Colorado Front Range of the Rocky Mountains in the USA to assess the effects of climate change on alpine ecology and biogeochemical cycles. The responses of carbon (C) and nitrogen (N) dynamics in high-elevation mountains to changes in climate are investigated by manipulating the length and duration of snow cover with the 2.6 x 60 meter snowfence, providing a proxy for climate change. Results from the first year of operation in 1994 showed that the period of continuous snow cover was increased by 90 days. The deeper and earlier snowpack behind the fence insulated soils from winter air temperatures, resulting in a 9 degree C increase in annual minimum temperature at the soil surface. The extended period of snow cover resulted in subnivial microbial activity playing a major role in annual C and N cycling. The amount of C mineralized under the snow as measured by carbon dioxide production was 22 grams per meter squared in 1993 and 35 grams per meter squared in 1994, accounting for 20% of annual net primary aboveground production before construction of the snowfence in 1993 and 31% after the snowfence was constructed in 1994. In a similar fashion, maximum subnivial nitrous oxide flux increased 3-fold behind the snowfence, from 75 micrograms N per meter squared in 1993 to 250 micrograms N per meter squared in 1994. The amount of N lost from denitrification was greater than the annual atmospheric input of N in snowfall. Surface litter decomposition studies show that there was a significant increase in the litter mass loss under deep and early snow, with no significant change under medium and little snow conditions. Changes in climate that result in differences in snow duration, depth and extent may therefore produce large changes in the C and N soil dynamics of alpine ecosystems.

INTRODUCTION

Much remains to be learned concerning C and N soil dynamics in alpine ecosystems. High-elevation ecosystems at mid-latitudes are characterized by a six to nine month period of continuous snow cover, with freezing temperatures and snow possible throughout the growing season. The harsh environmental conditions characteristic of these environments suggest that organisms in alpine ecosystems are on the edge of environmental tolerances. Consequently, these

organisms and biogeochemical processes mediated by them may be sensitive to small environmental changes in climate and other parameters. The combination of dormant vegetation, cold temperatures, and extensive snow cover in alpine areas suggests little or no biological activity occurs outside of the summer growing season. Significant levels of heterotrophic microbial activity in snow covered soils have been suggested by previous researchers, yet few studies have quantified the importance of this activity to C and N cycles.

How C and N soil dynamics in high-elevation catchments may respond to climate change is unknown. We implemented a long-term snow fence experiment at the Niwot Ridge (NWT) Long-Term Ecological Research (LTER) site in the Colorado Front Range of the Rocky Mountains in the USA to assess the effects of climate change on alpine ecology and biogeochemical cycles. The response of C and N dynamics in high-elevation mountains to changes in climate was investigated by manipulating the length and duration of snow cover with the 2.6 x 60 meter snowfence, providing a proxy for climate change. Here we report from our first year of results on how experimental manipulation of snow depth and duration effects subnival: i) soil temperature; ii) carbon dioxide emissions; iii) nitrous oxide emissions; and iv) decomposition rates of surface litter.

SITE DESCRIPTION

All experiments were conducted on the Niwot Ridge saddle at an elevation of 3,500 meters, located in the Colorado Front Range of the Rocky Mountains about 5 km east of the continental divide. This site is a United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO) Biosphere Reserve and a Long-Term Ecological Research (LTER) network site. Niwot Ridge is an interfluvium and was not glaciated during the Pleistocene. Soils are Cryochrepts and are approximately 2.0 meters in depth over granitic parent material. Soil carbon in the top 100 mm of soil ranges from 130 to 200 grams per kilogram, and soil N pools range from 9 to 15 grams per kilogram. Climate is characterized by long, cool winters and a short growing season of 1 to 3 months.

METHODS

A 2.6 x 60 meter snow fence was installed during October 1993, made of a composite Centaur polymer. The snow fence is removed at the start of the growing season and re-installed each subsequent October. The presence of the snow fence results in a gradient of snow depth and duration, from deeper and earlier snow accumulation to shallower and later snow accumulation. Snow depth was measured manually at grid points located every 10 meters on a 60 x 70 meter grid. Soil temperatures were measured with permanent thermistors having leads extending above the seasonal snowpack, at 0 and 0.15 meters soil depths every 10 meters along a central transect through and beyond the snow drift and lee areas caused by the snow fence.

Subnival C and N dynamics were measured as carbon dioxide and nitrous oxide flux at monthly to weekly intervals from January until sites were

snow free. Treatments were snow depth and duration at pre- (1993) and post- (1994) snow fence sites; additionally in 1994 both naturally deep and shallow sites were sampled as controls for the snow fence manipulation but this data is not included. The measurement program consisted of duplicate sites for the pre-snowfence treatment and triplicate sites for the post-snowfence treatment. Three replicates were sampled at each site, for a total of six samples for the pre-fence treatment and nine samples for the post-fence treatment on each sampling date. Gas samples were collected using 10-mm thick stainless steel disks covered with 50 micron stainless steel mesh, placed at the snow-ground interface, and connected to the snow surface with 1.6 mm (id) Teflon tubing. Gas samples were then collected at the snow-ground interface, at various heights within the snowpack, and in the atmosphere just above the snowpack, providing boundary conditions for a steady state diffusion model designed to account for snowpack porosity. All samples were collected in glass syringes and analyzed within 24 hours by gas chromatography (Hewlett-Packard 5880A) at the University of Colorado's Mountain Research Station.

Rates of surface litter decomposition were measured using the litter bag technique at two areas on Niwot Ridge, each with low, moderate and deep snow accumulation patterns. Known weights of foliage of alpine avens (*Acomastylis rossii*) were placed along three transects in low snow, moderate and deep snow sites across the alpine landscape. These sites correspond to different habitat types commonly called dry, moist and wet meadows. A similar experiment was done in the dry meadow community of *Kobresia myosuroides* behind the snowfence again with three replicates: deep snow at 5 meters from the fence, moderate snow at about 30 meters from the fence, and low snow at 55 meters from the fence. Bags were reweighed upon harvesting the following year, 325 days after placement in the field. Percent of original mass remaining was calculated as the initial mass minus final mass.

RESULTS

Snow depth behind the snowfence in 1994 increased 100% to 200% compared to pre-fence snow depths at the same measurement locations in 1993. To illustrate, maximum snow depth increased from 0.77 meters in 1993 to 1.60 meters in 1994. Snow duration behind the snowfence increased an average of 90 days, from December through May in 1993 to October through June in 1994. The increase in snow depth and duration behind the snowfence caused an increase in soil temperatures during the winter months. Minimum soil surface temperatures in 1993 were -14 degrees C and occurred at the first measurement in January when snow depth was relatively shallow at 0.32 meters. As snow depth increased and persisted in 1993, soil temperatures warmed at the rate of about 0.13 degrees C per day, becoming near 0 degrees C in April. In contrast, the deeper and earlier snowpack in 1994 resulted in much warmer soil temperatures than 1993. Minimum soil temperature in January of 1994 was -5 degrees C and soils gradually warmed towards 0 degrees C at the rate of 0.025 degrees C per

day. In both years, soil temperature was near 0 degrees C at the end of April and snowmelt began in the first to second week of May.

Before construction of the snowfence in the fall of 1993, no measurable carbon dioxide flux was produced under the snow until soil temperatures warmed above -5 degrees C in early March. The flux of carbon dioxide from under the snowpack then increased in an exponential fashion from 60 milligrams carbon dioxide per meter squared per day on 4 March 1993 to 600 on 18 May 1993. The amount of carbon dioxide flux then decreased rapidly to detection limits at the end of snowmelt as soils under the snowpack became saturated with water and likely anoxic. In contrast to pre-fence conditions in 1993, carbon dioxide flux in 1994 began earlier and was more variable. Carbon dioxide flux was near 450 milligrams carbon dioxide per meter squared per day in February of 1994, decreased to 40 milligrams carbon dioxide per meter squared per day in April 1994, then increased to near 500 in late April and May as snowmelt began and soils warmed to 0 degrees C. As in 1993, carbon dioxide flux in 1994 decreased to detection limits near the end of snowmelt as soils became saturated. Integration of the observed carbon dioxide fluxes over the snow season show that the total amount of C mineralized was large, 22 grams per meter squared in 1993 and 35 grams per meter squared in 1994.

Patterns of nitrous oxide flux under the snow in 1993 and 1994 were similar to that of carbon dioxide. No nitrous oxide flux was measured in 1993 until 4 April when soils had been partially thawed for about 30 days and warmed to -5 degrees C. Production of nitrous oxide increased throughout May under melting snow with a maximum flux of 75 micrograms N per meter squared per day. Post snowfence conditions resulted in nitrous oxide flux beginning in February 1994 and reaching 84 micrograms N per meter squared per day in March 1994, slightly higher than the maximum nitrous oxide flux measured in 1993. In a pattern similar to carbon dioxide flux, nitrous oxide flux in 1994 then decreased in late March and April to 20 micrograms N per meter squared per day, then increased by an order of magnitude to 250 as snowmelt began and soils warmed to 0 degrees C. Mean flux of nitrous oxide for the snowfence treatment was about twice that of the pre-fence treatment, 40 micrograms N per meter squared per day in 1993 compared to 82 in 1994.

Foliage of *Acomastylis* exhibited the greatest mass loss under deep snow conditions in both the snowfence and landscape treatments. Results from the snowfence manipulation showed that mass loss differed significantly with snow depth (ANOVA, $p=0.014$) and was significantly greater at the deep snowpack site (Student-Newman-Keuls multiple range test, $p<0.05$). Decay at moderate snow sites behind the snowfence was intermediate between the low and deep snow sites but was not significantly different from the deep snow site. The pattern for the landscape treatment was similar but not identical nor significant to that observed for the snowfence treatment

DISCUSSION

The construction of the snowfence increased both snow depth and duration of snow cover. The earlier snowpack caused by the snowfence in 1994 insulated soils from air temperatures (often less than -20 degrees C) in the early winter and resulted in higher minimum soil temperatures. This study as well as previous work suggests that soil temperature begins to warm under the seasonal snowpack by geothermal and stored soil heat once snow depths equal or exceed about 0.30 meters. It is interesting to note that soil temperatures warmed almost ten times faster in 1993 (0.13 degrees C per day) compared to 1994 (0.025 degrees C per day).

We propose that the trace gases measured under the snow are produced by a microbial population that becomes active once soils begin to thaw at temperatures of about -5 degrees C. Furthermore, free water becomes available for microbial activity once soil temperatures reach about -5 degrees C in part because of the lowering of the eutectic point of the solid and liquid phases of water as a result of the high solute content in soil water. The absence of vegetation above the snow at Niwot Ridge indicates that the majority of carbon dioxide we measured under the snow was due to soil microbial respiration. Moreover, the nitrous oxide production measured under the snow can only be produced by microbial activity and provides definitive evidence that microbial populations were active under the seasonal snowpack. Furthermore, both naturally shallow and deep snowpack controls in 1994 show similar results for soil temperature, carbon dioxide and nitrous oxide.

The increase in carbon dioxide production as soils warmed in 1993 suggests that temperature was the primary control on microbial activity. However, the order of magnitude increase in carbon dioxide flux from soil temperatures of -5 degrees C to 0 degrees C is too large to be because of direct effects on microbial activity and suggests other processes are contributing to this increase in carbon dioxide flux, such as increases in substrate availability, microbial growth, and microbial recruitment. In 1994, carbon dioxide flux in February was within 10% of the maximum subnival flux measured for the year and suggests that we initiated sampling too late to measure the exponential increase we report for 1993. The carbon dioxide flux then decreased in late March and April, suggesting that labile carbon sources and/or oxygen were depleted under the snowpack. Carbon dioxide flux (and nitrous oxide) then increased near the start of snowmelt, possibly because of additional soil thaw which may provide additional substrate and oxygen sources. Conversely, at this time there could be a shift in the microbial population from aerobic to facultatively anaerobic respiration, using nitrate as a terminal electron acceptor.

The similarity in maximum carbon dioxide flux rates from beneath preference and postfence snowpacks indicates that 500 to 600 milligrams carbon dioxide per meter squared per day may be an upper limit for soil heterotrophic respiration under snow for these systems. Although little research has been conducted on carbon dioxide flux from subnival soils in alpine ecosystems, these

results are consistent with those reported for an alpine site in Wyoming of 516 micrograms carbon dioxide per meter squared per day. Subnivial soil microbial activity is important on an annual basis to C cycling. Subnivial carbon dioxide flux in 1993 mineralized 20% of C from annual net primary aboveground production before construction of the snowfence in 1993 and mineralized 31% after the snowfence was constructed in 1994.

The extended period of snow cover results in subnivial microbial activity playing a major role in annual N cycling. Nitrous oxide fluxes measured in this study suggests that any inhibition of denitrification activity at low temperatures is partially overcome by high substrate availability. Furthermore, subnivial nitrous oxide flux is larger than measured summer fluxes and suggests that the annual nitrous oxide flux from alpine ecosystems may be dominated by subnivian production. The mean subnivial nitrous oxide flux from the pre-snowfence treatment in 1993 was slightly higher than that measured from both wet and dry meadows on Niwot Ridge during the growing season. Mean nitrous oxide flux from the snowfence sites in 1994 was greater than in the growing season at Niwot Ridge.

The increased rate of litter decomposition under deeper and earlier snowpacks is consistent with the increase in carbon dioxide and nitrous oxide flux from deeper and earlier snowpacks and indicates increased rates of C and N mineralization with earlier and deeper snow. With our experimental data, it is not possible to determine whether the enhanced decomposition with deeper snow was because of increased decay under the snow or during the snow-free season. Surface litter exhibits maximum rates of decay in response to the inverse relationship between thermal energy and moisture availability in the alpine. The snowpack enhances moisture content and increases winter soil surface temperatures, stimulating surface decomposition. Further, the enhanced moisture from deeper snowpacks reduces the period of moisture limitation on decomposition during the summer interval. Further research which investigates the relative amounts of losses of labile and recalcitrant C under the snow would help answer this question. While excessive snowcover is expected to ultimately reduce decomposition, the patterns generated in this study remained within the range causing enhanced decay.

Changes in C and N content from a 25-year snowfence experiment place the Niwot Ridge results in the context of climate change. At the Bridger Bowl IBP site in Montana, the C and N content of soils decreased significantly with increasing height of the snowfence compared to controls. Increasing snow depth and duration with a 4 foot and then 8 foot snowfence resulted in increasing rates of C and N mineralization and greater losses of C and N from the IBP site after 25 years (Weaver and Welker, unpublished results). Changes in climate that result in increased snow depth and duration will in general cause an increase in C and N mineralization in high-elevation ecosystems; decreased snow depth and duration will result in decreases in C and N mineralization rates.

ACKNOWLEDGEMENTS

Funding was provided by the National Science Foundation grant DEB9211776 to the Niwot Ridge LTER site, NASA Earth Observing System grant NAGW-2602 and by the National Park Service.

UTILIZACION DE LOS MODELOS DE CIRCULACION GENERAL EN LA CREACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO EN EL ECUADOR

Ing. Enrique Palacios Ch.
INAMHI, Ecuador

RESUMEN

Con los resultados de varios estudios científicos se prevé un rápido cambio climático global para el próximo siglo, entendiéndose que estos cambios tendrán menor certeza en la escala regional que a escala global; sin embargo es menester señalar que los efectos previstos tanto en los ecosistemas como en la sociedad ocurrirán en las escalas locales y regionales. Consecuentemente, para estudiar y determinar los impactos reales y su potencial direccionamiento en los diferentes sectores, es necesario la definición del escenario climático futuro en el Ecuador. Una de las fuentes de información mas importantes en los actuales momentos para crear los escenarios son sin lugar a duda las salidas de los Modelos de Circulación general (GCMs) del Sistema Climático, además es fundamental la adecuación y ajuste correspondiente para determinada localidad y región analizadas. En este estudio se presenta el escenario climático futuro para Ecuador en condiciones de una duplicación de la concentración de CO₂, utilizando conceptualizaciones estadístico-matemáticas como factores de ajuste, con la finalidad de incluir las acciones de forzantes interanuales e interestacionales presentes y que afectan a nuestro país.

ABSTRACT

The results from many scientific studies prevent a rapid global climate change for the next century, understanding that these changes have less certainty on regional scale than a global scale, however its necessary to sign that the anticipate effects on ecosystems and society will occur on local and regional scales. Consequently with that and in order to study and determinate the true impacts and its potential adresses, are necessary define the future climate scenarios. One of the most important source of information today for create scenarios are wherever the outputs or results from General Circulation Models of Climate System, however its necessary and fundamental the appropriateness and the corresponding adjustment for determinated locality and region. In this study is showing the results for the future climate scenario in Ecuador in doubled Carbon dioxid concentration conditions, statistics and techniques mathematics using as ajustment factors with the objective to include interannual and interseasonal forcing in our country.

I. INTRODUCCION

Los resultados que hasta la fecha se han obtenido de los Modelos de Circulación General actualmente existentes y operativos, son sin lugar a duda una buena alternativa técnica de soporte hacia la descripción cuantitativa de los procesos que se desarrollan dentro del sistema climático, lo que facilita un mejor entendimiento y estudio del cambio climático. Sin embargo no se descartan las complicaciones referentes al tratamiento de la información con la finalidad de llegar a determinar a nivel regional y/o local el cambio climático específicamente en el Ecuador, debido a la marcada variabilidad climática y orográfica.

Cabe señalar que debido al incremento gradual de la temperatura del aire en las capas bajas de la atmósfera ocasionado por la creciente concentración de los gases de efecto invernadero, construir y definir escenarios climáticos regionales es una investigación básica y fundamental dentro de los estudios de cambio climático, por cuanto son los escenarios y su definición para el país los que darán la información inicial para la realización de los estudios de impactos y vulnerabilidad ante el eventual nuevo condicionamiento climático nacional.

II. METODOS

Una de las herramientas operativas más importantes para la creación de los escenarios climáticos son las salidas de los modelos de Circulación General (GCMs) del sistema climático. Sin embargo, las condiciones actuales del alcance de los CGMs presentan limitaciones en relación a las simulaciones de los ciclos estacionales del clima a nivel regional.

Los escenarios climáticos definidos a partir de la adición de la diferencia entre 2XCO₂ y 1XCO₂ de las simulaciones de los GCMs, no muestran en detalle y en forma apropiada la variabilidad espacial y temporal, para lo cual fue necesario realizar los ajustes correspondientes con la finalidad de disminuir el rango de variación en el escenario climático futuro. Para los estudios de impacto de las consecuencias del calentamiento global, se efectuaron estimaciones de la razón y magnitud potencial del cambio en el clima.

Las variables climáticas que han sido consideradas son la temperatura estacional del aire y la precipitación. Los modelos climáticos utilizados con estas variables proporcionan estimaciones generales. Con estas estimaciones y contando con la serie climatológica nacional actualizada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se ajustaron los modelos, con la finalidad de escoger aquellos con mejor aproximación a las condiciones actuales, para luego definir el escenario climático respectivo. Los modelos climáticos, utilizados fueron los siguientes: CCCM, GFD3, GISS, y UK.

II.a. INFORMACION BASICA

La información meteorológica básica utilizada para la determinación de los escenarios climáticos en el Ecuador tiene el soporte del Banco Nacional de Datos del INAMHI, del cual se emplearon las series de temperatura del aire y precipitación

de 49 estaciones escogidas de manera estratégica dentro del país con series disponibles con un mínimo de 20 años de registros.

II.b. ZONAS REPRESENTATIVAS.

Para realizar una adecuada representación climática del país, en función de la homogeneidad climática de las diferentes zonas, se empleó la metodología del Vector Regional con el objeto de definir las estaciones meteorológicas con su ubicación geográfica, que se encuentran dentro de un mismo régimen climático, siendo el Vector Regional el común identificador de estas características.

En la conceptualización del Vector Regional se admite que las estaciones pluviométricas ubicadas en una misma zona climática, tienen totales pluviométricos anuales pseudo-proporcionales.

Para un año, las precipitaciones anuales x_i, y_i , de dos estaciones x, y de la misma zona puede expresarse:

$$x_i = (x_{med}/y_{med}) * y_i + e_i \quad \text{donde } e_i = \text{varianza}$$

Bajo esta condición los totales anuales de una estación X , pertenecientes a dicha zona puede representarse como:

$$x_i = x_{med} + G_x(r_x * W_i + a_i * 1 - r_x^2)$$

Igualmente partiendo de la comparación: que las estaciones pertenecen a una misma zona climática (Tabla 1) y a un Vector de Referencia representativo de la tendencia climática de dicha zona, se obtiene

$$Z = z_{med} + G_z * W_i$$

Empleando la técnica de Simples y Dobles Masas, se comprueba también que en una misma zona climática la relación existente entre lo acumulado de dos variables pluviométricas, es independiente de eventuales fluctuaciones climáticas, siendo modificado únicamente por fluctuaciones aleatorias si los datos son homogéneos.

Tabla 1

Años	NU	Estación	años	Xmed	Cvar	CORrxz
1984	4	Punto1	10	435	0.52	0.81
1983	4	Punto2	5	478	0.30	0.97
1982	4	Punto3	10	494	0.56	0.85
1981	4	Punto4	10	507	0.52	0.95
1980	4					
1979	4					
1978	4					
1977	3					
1976	3					
1975	3					

CORR. PROMED = 0.89

De esta forma se han definido 16 núcleos representativos de las diferentes condiciones climáticas del Ecuador.

II.c. MODELOS DE CIRCULACION GENERAL

A los GCMs por tener distinta grilla, fue necesario determinar para cada uno, su resolución sobre el Ecuador, obteniéndose de cada modelo el resultado de las condiciones actuales y las condiciones bajo un incremento de la concentración de CO₂ (Fig. 2).

Con la información básica de los puntos representativos de las zonas climáticas, se definieron los modelos que tienen mejor ajuste a las condiciones climáticas del país. además, con las series climatológicas se efectuaron los ajustes respectivos, creando series climáticas acordes a las condiciones reales y con información actualizada. Es decir, considerando las fluctuaciones inter-estacionales o de forzantes externos (Fenómeno El Niño) que inciden substancialmente en las distribuciones anuales y temporales de los parámetros de precipitación y temperatura del aire, principalmente.

Con el soporte computacional de un software adecuado donde los datos de entrada son los obtenidos por los modelos ajustados a los datos actualizados para cada punto seleccionado del país y con la utilización de los GCMs, se obtuvieron 2 salidas:

- a) La salida 1XCO2 (condiciones actuales) y 2XCO2 (condiciones futuras, bajo incremento del CO₂); la diferencia entre los dos nos define un escenario climático.
- b) Salida de cambios incrementales en las variables climáticas con incrementos de 0.2°C para la temperatura hasta 3.5°C, y desde el 5 % hasta el 30 % para la precipitación. Estos cambios incrementales fueron combinados con la base de datos de los puntos seleccionados, lo que ayuda para determinar las sensibilidades en los cambios de la Temperatura del aire y la Precipitación.

Para definir los escenarios de cambio climático, se seleccionaron tres modelos de mejor ajuste, con estos se efectuaron salidas del 1XCO2 de los GCMs, realizándose también una comparación regional entre la salida 1XCO2, con los datos climáticos observados. Los coeficientes de correlación entre 1X de los modelos y las condiciones actuales se calcularon, dando un coeficiente ponderado de correlación igual a 0.88.

Se calcularon los valores de 2X para los puntos, a partir de los correspondientes factores de corrección temporal (Tabla 2). En otros casos, donde la resolución de congruencia de los modelos dificultaba su resolución se usó la técnica del Análisis de Fourier, dando como resultado la 5ta. armónica que es la que mejor ajusta la bimodalidad en la distribución anual de la precipitación.

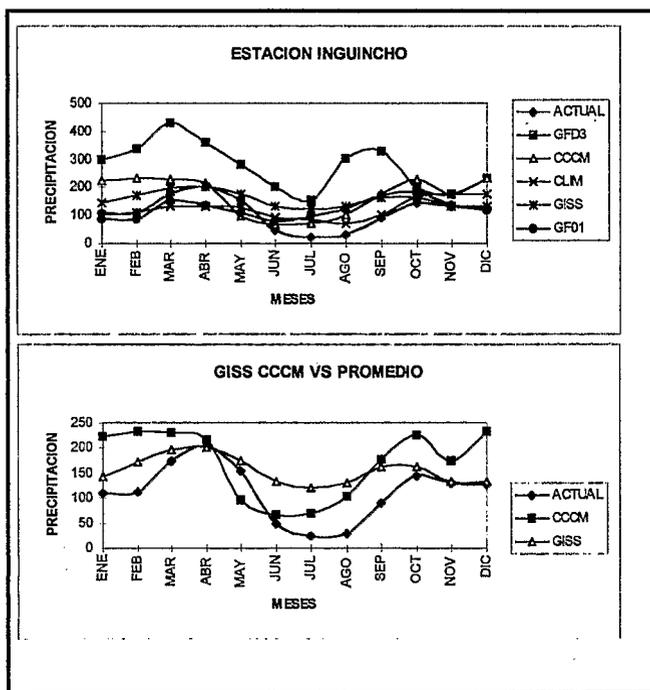
Entre los valores mensuales de los puntos seleccionados para todos los modelos, se calcularon los coeficientes de correlación, reforzándose de esta manera el escogitamiento correcto de los tres modelos, es decir GF2, GiSS con un coeficiente de 0.80, mientras que el modelo CCCM tiene un coeficiente de 0.68.

En forma separada, se realizó la comparación entre las distribuciones de la precipitación de los puntos y el CCCM y GiSS, notándose un buen ajuste a la distribución temporal (Fig. 2).

Tabla 2

PUNTO 1 LATITUD: 00° 16' N LONGITUD: 78° 24' W								
Mes	T °C	CCCM 2x°	GISS/ 2x °C	Esc.Clim. +°C	Pr mm/día	Razón	Ajustada	Esce.Clim mm/día
1	10.1	25.2	27.6	1.4	3.5	1.1	0.72	2.52
2	10.1	25.5	27.8	2.0	3.9	1.0	0.73	2.84
3	12.4	25.5	28.2	2.1	5.6	0.9	1.01	5.65
4	10.2	25.3	28.5	1.9	6.7	1.1	0.71	4.75
5	10.2	25.0	28.6	1.6	4.9	1.1	0.88	4.31
6	9.9	24.8	28.4	2.3	1.6	1.0	0.70	1.12
7	9.4	25.2	28.4	2.2	0.7	1.3	0.92	0.60
8	9.6	25.9	28.5	1.7	0.9	0.8	1.05	0.94
9	9.9	25.7	28.1	2.1	3.0	0.8	0.89	2.67
10	9.9	25.4	27.7	1.8	4.6	1.1	0.74	3.40
11	10.2	25.0	27.7	2.3	4.3	1.1	1.27	5.46
12	10.2	24.9	27.5	1.9	4.1	1.3	0.73	2.99

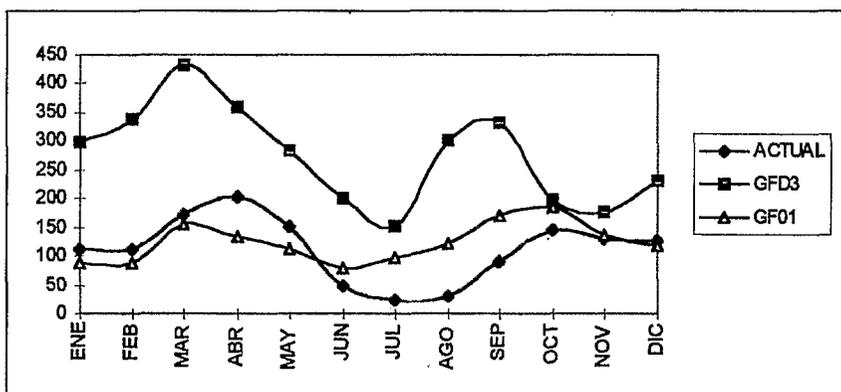
Fig. 2



Similar comparación se efectuó con los modelos GFD3 y GFD1, así también entre GFD3 y GFD1 (Fig. 3).

Los modelos de mejor ajuste (GISS, CCCM y GF2) antes explicados, dan como resultado una serie en la cual se observa que en los meses donde se producen los máximos, se obtuvieron valores negativos.

Fig. 3



Además, con la finalidad de determinar el impacto sobre los diferentes sectores y zonas del país, se desarrolló un escenario de cambio climático bajo la suposición de un doblamiento de la concentración del CO_2 atmosférico.

Como la distribución de la precipitación no es bimodal como es lo característico para los puntos localizados en la región montañosa del Ecuador y con miras a suavizar la distribución de las series, se calculó las armónicas de Fourier para determinar cual de ellas ajustan mejor y en forma bimodal a la distribución de las series.

También, se buscó la congruencia con los modelos de acuerdo a las resoluciones de grillado de cada uno en el Ecuador.

Los modelos de circulación general (GCMs) se muestran bastante consistentes, aunque sobrevaloran o subvaloran las simulaciones con 1XCO_2 con respecto a los datos climatológicos.

II.d. SIMULACION DE MONTE CARLO

Un generador estocástico de gran utilidad con miras a afinar las variaciones climáticas y fluctuaciones inter-estacionales es la simulación básica de Monte Carlo, la que tiene dos componentes principales, una de estas es la componente de la precipitación, para la cual se calculó -según la teoría de la Cadena de Markov- las probabilidades de ocurrencia a nivel decadal (10 días) de los diferentes puntos de períodos secos precedidos de días húmedos, días húmedos

precedidos de secos, y así sucesivamente de las variantes P_{01} , P_{11} , P_{10} , P_{00} .

La simulación de Monte Carlo, esta definida por:

$$P_i = P_{01}/1 + P_{01} - P_{11}, \text{ y}$$

$$d = P_{11} - P_{01} \quad \text{Probabilidad Incondicional}$$

De igual forma, se uso la distribución Gamma Incompleta, calculada para 31 puntos del Ecuador a nivel decadal, y la componente de la temperatura está estructurada por una ecuación de auto-regresión de primer orden entre las temperaturas máximas y mínimas.

III. RESULTADOS

El Escenario Climático para el Ecuador (Costa, Sierra y Oriente) particularizado en el parámetro precipitación para el año 2030, presenta una variabilidad entre la razón anual calculada para la Sierra y Oriente de = 0.93, observándose un decrecimiento, mientras que para la región Litoral o Costa la razón anual tiene un valor de $r = 1.13$, visualizándose un incremento en relación a los registros actuales (Figs. 4a, 4b)

La temperatura del aire en superficie, en el Ecuador se estima que experimentará un incremento promedio de 1.4 y 2.5 °C (Figs. 5a, 5b).

Las etapas seca y lluviosa existentes en la distribución anual de la precipitación en el país, tendrán una recurrencia más frecuente entre los períodos seco y lluvioso, eliminándose la periodicidad existente en los inicios y fines de los períodos estacionales de las actuales condiciones meteorológicas.

Con la irregularidad determinada en el escenario climático, según la distribución anual de la precipitación se aprecia además, que:

- a.) Se experimentará un período lluvioso más corto y moderadamente más intenso.
- b.) El período seco tendrá una mayor periodicidad de ocurrencia.

En conclusión, en el Ecuador se prevé un incremento de la temperatura del aire entre 1.4 °C y 2.5 °C, y en el escenario de precipitación se observa una variabilidad de porcentajes de incrementos y decrementos. Por tanto el escenario climático para cada núcleo climático del Ecuador (Tabla 3) se presenta de la siguiente manera:

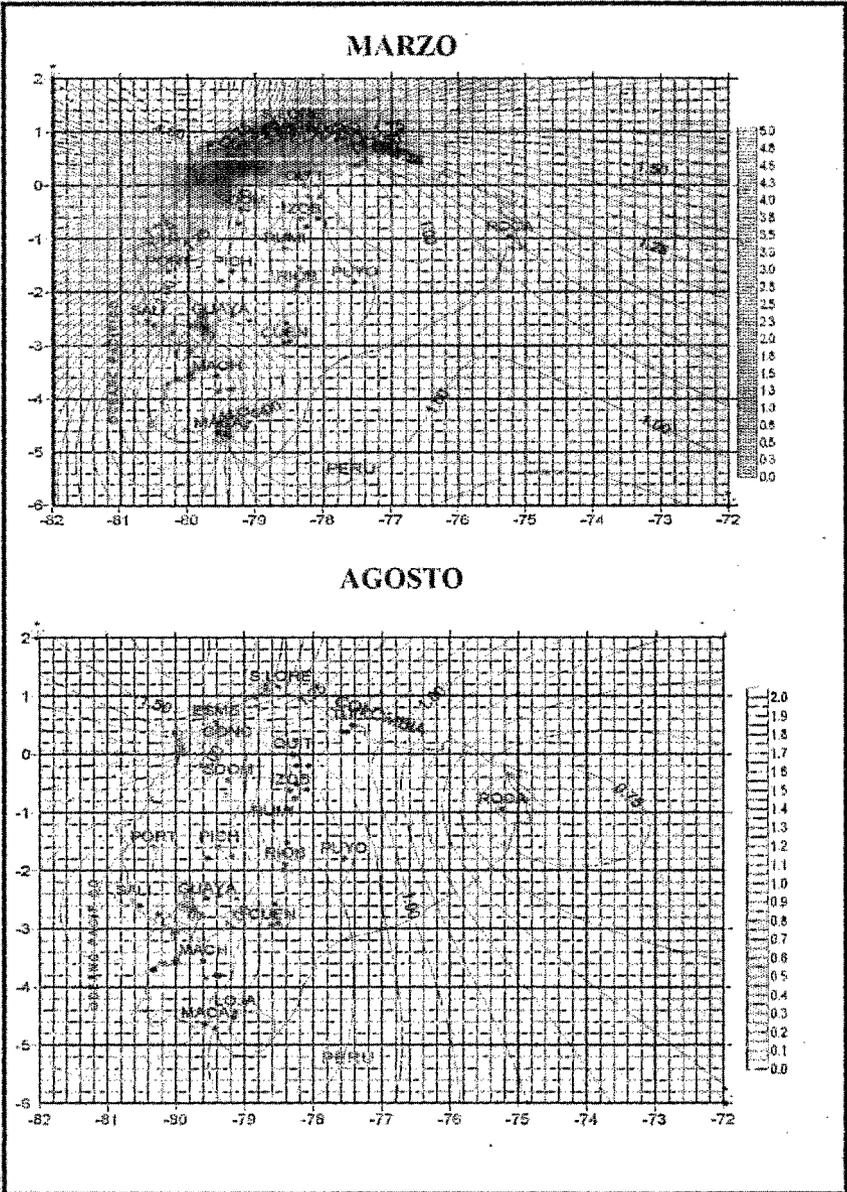
Tabla 3

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
Pr-an.	2.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
T °C	1.8	2.0	2.0	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	1.7	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0

IV. DISCUSION

Los Modelos de Circulación General representan en tiempo y en espacio, las características sinópticas con gran aproximación sobre el Ecuador.

Fig. 4a



Con el descenso de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) hacia latitudes ecuatoriales, desde el mes de Diciembre y marcadamente en Marzo-Abril se produce el primer máximo de precipitación, característica meteorológica que los modelos lo describen con bastante aproximación, Así también, al segundo período de precipitaciones en los meses de octubre y noviembre, cuando retorna el ITCZ a su posición normal localizada en esta época del año en los 8-10° de Latitud Norte.

Los sistemas meteorológicos (ITCZ) provenientes del Norte (Hemisferio Norte) y sistemas (Perturbaciones) provenientes del Este (Amazonía) son claramente identificados en sus ejes de acción temporal (precipitación) que inciden sobre el Ecuador acordes con las fechas de inicio y fin de los períodos seco y lluvioso del Ecuador.

El Sistema de Alta Presión (SAPP) identifica claramente su acción en los meses centrales concordantes con el período seco (Junio, Julio, Agosto y Septiembre) y la desaparición de los sistemas de baja presión e intensa pluviosidad.

En el Continente Sudamericano, durante los meses de abril-enero se observa la incidencia de la Depresión del Sur, asimismo concordante con la característica sinóptica prevaleciente en invierno sobre el sur-oriente del Ecuador, rasgo meteorológico bien descrito por los modelos.

El escenario climático del Ecuador así definido, tiene una tendencia y distribución irregular con respecto a las condiciones actuales. Al momento las condiciones meteorológicas en la región Interandina permiten observar una distribución bimodal. En el litoral una distribución unimodal centrada en los primeros meses del año.

Es decir, el Escenario Climático en el Ecuador se observará significativamente diferente, con mayor frecuencia de períodos secos y lluviosos que en las actuales condiciones. Característica que es notoria y de condiciones similares tanto en la Costa, como en la Sierra y con mayor intensidad en el Oriente ecuatoriano.

El potencial impacto de cambio climático en el Ecuador tendrá un direccionamiento ascendente en los porcentajes de incremento de la precipitación, desde el noroeste de nuestro territorio hacia el sudeste, siendo esta zona geográfica en la que se observará mayor incidencia de incremento de aproximadamente 13-15% en los meses centrales, concordantes con el comportamiento sinóptico a macroescala de la influencia en la Cuenca Amazónica.

La temperatura del aire, tendrá un incremento que oscilará entre 1.4° y 2.5°C a nivel anual en promedio en el país (Tabla 4), según los resultados emitidos por los modelos y ajustes realizados.

V. CONCLUSIONES.

En el Ecuador se ha obtenido, según la corrida de los modelos de circulación general, un mejor ajuste con: CCCM, GISS y GF2.

Fig. 5a

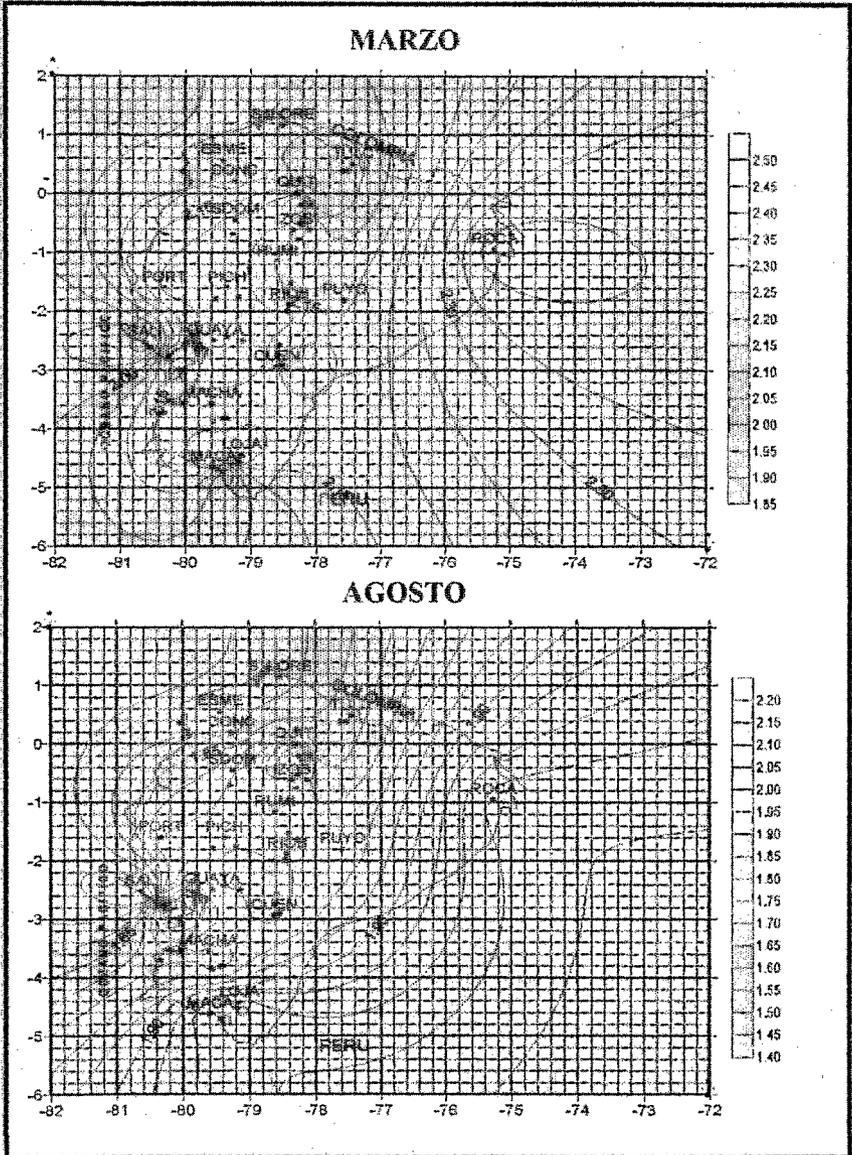


Fig. 5b

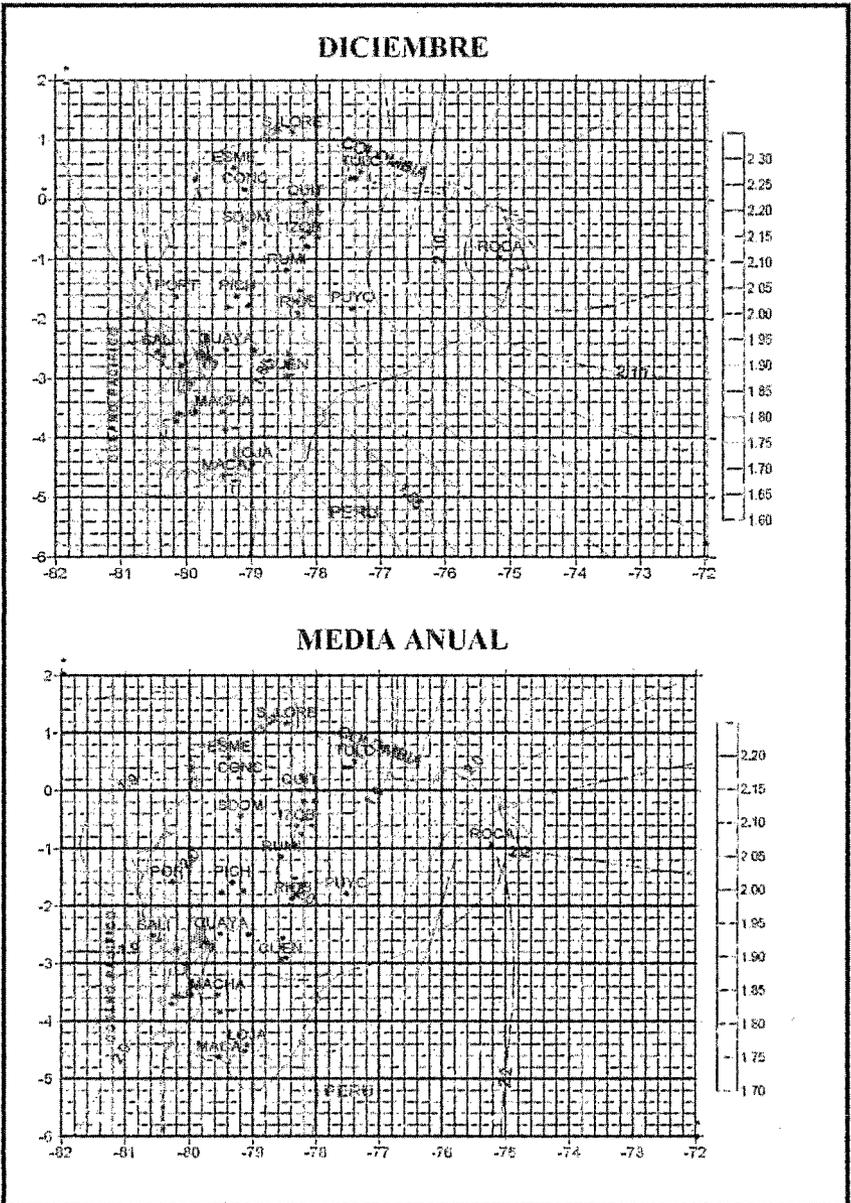


Tabla 4

TEMPERATURA °C				PRECIPITACION %							
+1.4	+1.6	+1.8	+2.0	+2.2	+2.4	+5%	+10%	+20%	-5%	-10%	-20%
Escenario óptimo			Esc. pesimista			escenario variable					

El aumento de la temperatura del aire promedio en el Ecuador hacia el año 2030 es de 1.99°C.

En la precipitación también se determina un incremento en el orden del 11-13%, observándose una mayor cantidad en la distribución anual de la precipitación con períodos lluviosos más cortos pero más intensos, alternando con períodos secos más prolongados.

Se deberá continuar reforzando e investigando en este estudio con la finalidad de confirmar los resultados obtenidos.

Todos los modelos muestran que si la concentración de CO₂ se duplica, la condición del clima global en promedio se calentará y la precipitación promedio se incrementará.

Los mayores incrementos se obtiene en la precipitación, a diferencia de lo que dan los modelos para el mismo cambio respecto a la temperatura. Cada región en el Ecuador tiene variaciones climáticas interanuales, siendo la conjunción de la variabilidad interanual e interestacional el rasgo climatológico prevaiente. A pesar de que las variaciones de la precipitación interanual e inter-estacional actuales no están necesariamente ligadas a las variaciones de la temperatura.

Sin lugar a dudas, las relaciones de temperatura y precipitación a larga escala nos proporcionan la suma de los cambios de precipitación. Así mismo los registros en los puntos representativos de las zonas climáticas actuales definidas nos ayudan a identificar el carácter de los cambios.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Angell, J.K. 1986 Anual and seasonal global temperature changes in the troposphere and low stratosphere. Rev 1922-1930. 1960-1985. Mon. Weather. Rev. 114, 1922-1930
- IPCC. 1992 Assumptions, Methodology and Results. Working Group 1.
- Grotch. S.L. and Mac Cracken. M.C. 1991. The use of General Circulation Models to Predict Regional Climate Change. J. Clim. 4, 286-303.
- Kari T.R, Wang, W-C, Schlesinger, M.E., Knight, R.W, and Portman, D.: 1990. A method of relating General Circulation Model simulated climate to the observed local climate. Part Y. Seasonal Statistics, J. Clim 3, 1053-1079.
- NCAR/SCD/DSS. Dennis Joseph. 1995. Using Climate Model Data.
- Reed D.N.: 1986, Simulation of time series of temperature and precipitation over Eastern England by an atmospheric General Circulation Model, J. Climatol. 6, 233-257.
- Richardson, C.W. and Wright, D.A.: 1984, WGEN: A model for generating daily weather variables, U.S Dept of Agriculture, ARS-8,83 pp.

- **Roy Jenne**. 1994. Climate Model Data for Assesment Studies. NCARScientific Computing Division.
- **Smith Joel B.** 1995. Climate Change Scenarios.
- **Wigley.T.M.L. Jones.P.D, Briffa K.R, Smith G, J.G.R.** 1990. Obtaining sub-grid scale information fromcoarse-resolution General Circulation Model output.
- **Rind,D,Goldberg,R and Ruedy R.** 1989, Change in climate variability in the 21st century, *Clim. Change* 14, 5-35.
- **Waggoner, P,E.** 1989 Anticipating the frecuency distributions of precipitation if climate change alters its mean , *Agriculture Forest Meteorol.* 47, 321-337.
- **Wilson,C.A. and Mitchell, J.F.B.** 1987 Simulated climate and CO2 Induced climate change over Western Europe, *Clim, Change* 10,11-42.

ESTADO DEL ARTE DE LA INVESTIGACION CLIMATICA EN LA ESPOL

Dr. José Luis Santos

Coordinador PROGRAMA ECLIMA.

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Escuela Superior Politécnica del Litoral

RESUMEN

El objetivo del presente artículo es divulgar las actividades que se encuentra realizando la Escuela Superior Politécnica del Litoral como contribución al esfuerzo nacional dentro del Area de los Cambios Climáticos, el mismo que se está canalizando a través del Programa de Investigación: "Estudios Climáticos Aplicados (ECLIMA)". Se presentan en forma resumida, los resultados de algunos de los trabajos de investigación que se encuentran en ejecución, dentro de las Areas de Pesquería, Agricultura, Acuicultura y Prevención de Desastres.

EL DESAFIO

La influencia de los cambios climáticos sobre las actividades humanas es sin lugar a dudas de tremenda importancia; éstos se manifiestan en ocasiones de manera drástica como durante el Evento de El Niño de 1982-83. La ESPOL respondiendo a los requerimientos de la comunidad creó en 1983 el "Comité de Estudios del Clima", que ha realizado importantes gestiones de coordinación interinstitucional, información pública e investigación aplicada.

Estas actividades han ido acompañadas con un plan de capacitación a largo plazo dentro del cual se ha enviado a personal politécnico a realizar estudios de postgrado (a todos los niveles, desde diplomados hasta doctorados) en Centros de estudios de renombre mundial. Este personal altamente especializado está desarrollando un programa de investigación considerado de gran importancia e impacto en el ámbito social y económico de la región.

¿QUE SON LOS ESTUDIOS CLIMATICOS APLICADOS?

Son estudios de las variaciones del comportamiento del sistema climático (Cambios Climáticos Globales) en escalas espaciales tan grandes como el Océano Pacífico Tropical, y escalas temporales que van desde los 2 meses hasta un par de años. Estos estudios incluyen el análisis y diagnóstico de las condiciones oceano-atmosféricas, y los impactos socio-económicos de las respuestas puntuales a estos cambios globales para proporcionar información que sirva como ayuda para la toma de decisiones por parte del sector gubernamental y privado para la planificación del manejo óptimo de recursos naturales y la prevención y mitigación de desastres naturales.

¿COMO AFECTAN LOS CAMBIOS CLIMATICOS GLOBALES A NUESTRA SOCIEDAD?

Las condiciones climáticas asociadas con eventos El Niño/Oscilación Sur (ENOS) y anti-ENOS son responsables de pérdidas de gran importancia en las regiones afectadas. Las condiciones climáticas asociadas con el evento cálido correspondiente a los años 1982-83 produjo pérdidas de más de US\$ 13 billones de dólares en el mundo entero además de las pérdidas humanas, afectando los principales sectores productivos de los diferentes países. Los gobiernos de estos países están concientes de que un gran porcentaje del impacto se pudo haber evitado si se hubieran podido tomar a tiempo medidas de prevención.

¿QUE ES ECLIMA?

ECLIMA es un grupo multidisciplinario de profesionales dedicado a la investigación del comportamiento del sistema climático y su influencia en las actividades económicas y sociales de mayor impacto en nuestra sociedad, y que propone la aplicación de esta información al desarrollo sostenido de dichas actividades.

¿COMO TRABAJA ECLIMA?

ECLIMA es un programa que estudia y evalúa nuevas técnicas de manejo de información sobre las condiciones presentes y proyectadas del sistema climático. ECLIMA tiene acceso, a través de avanzadas técnicas informáticas, a los principales centros del mundo que monitorean las condiciones de la atmósfera y del océano y pronostican la variabilidad del sistema climático.

ECLIMA cuenta con el grupo humano capacitado para la obtención, tratamiento, análisis y diagnóstico de la información climática, y planea la traducción y directo transpaso de esta información al destinatario apropiado suficientemente a tiempo para que permita la mejor toma de decisiones aplicables tanto en las estrategias de producción de los diversos sectores económicos, como en el manejo de los organismos encargados de la conservación de los recursos.

Para conseguir este objetivo, ECLIMA prevé una cercana interacción con los destinatarios para evaluar los resultados de las decisiones tomadas en base a la información provista.

PROGRAMAS Y TECNICAS

ECLIMA concentra sus esfuerzos en las actividades socio-económicas que tienen mayor impacto en nuestra sociedad. Uno de sus sub-programas contempla el aplicar los resultados de modelos climáticos computacionales para definir, hasta con un año de anticipación, escenarios bioacuáticos que inciden en la disponibilidad de especies marinas. Este programa esta diseñado para emitir un producto de fácil aplicación en la industria camaronera y en índices de producción pesquera. Otro sub-programa independiente de ECLIMA intenta utilizar información de satélites para emitir al sector de pesca artesanal diagramas que indiquen la distribución espacial de la temperatura en tiempo real y su aplicación en la identificación de bancos marinos de peces.

Utilizando la misma tecnología, ECLIMA prevé poner a disposición del público en general el resultado de su diagnóstico climático, en continuo seguimiento de eventos oceano-atmosféricos extremos como el fenómeno de EL Niño.

Otras aplicaciones incluyen la evaluación de disponibilidad mediata de agua con fines agrícolas, la proyección de la variabilidad climática y su relación con la prevención de desastres, y aplicaciones especiales de información satelitaria en la salud pública como el estudio de la relación entre la variabilidad climática y la concentración de vibro cholerae. Esto se basa en que la escasez o sobreabundancia de agua producen cambios ambientales y sociales (migraciones y ambientes insalubres) que combinadas con los cambios climáticos (temperaturas altas) provocan condiciones propicias para el desarrollo de estas enfermedades. Una eficiente proyección y monitoreo de las fuentes específicas puede dar a las autoridades competentes el tiempo necesario para atacar el mal antes de que se produzca.

REPORTES DE INFLUENCIAS DEL CLIMA

A continuación se muestran extractos de artículos aparecidos en publicaciones nacionales e internacionales en los últimos ocho meses, los mismos que resaltan la importancia de los cambios climáticos.

Los dos siguientes artículos muestran como, en un lapso de apenas dos meses, en nuestro país pasamos de problemas sanitarios y destrucción de obras causados por lluvias excesivas, a importantes pérdidas de cultivos agrícolas causados por un déficit de lluvias, está claro que si se hubieran tomado medidas de mitigación, los efectos causados por las mencionadas condiciones ambientales extremas se hubieran reducido drásticamente.

El Mapa Crítico de las Lluvias

Marzo 1996: El Comercio. Ecuador

... Las inundaciones de los últimos 23 días han producido: 9 muertos, 2 desaparecidos, 6.000 personas aisladas, 46 familias evacuadas, cientos de casas afectadas, varias vías interrumpidas, 80 casos de cólera en Los Ríos. Es el balance inicial de Defensa Civil, que no cuenta con los recursos económicos para enfrentar la emergencia ...

El Oro: El Agro está sin lluvias.

Mayo de 1996: El Comercio. Ecuador

... La sequía que comenzó en Marzo, ha afectado miles de hectáreas de cultivos de tomate, pimiento, maíz, arroz, limón, yuca plátano y varias especies de frutales. Especialistas en Riego agrícola han determinado que los volúmenes de agua, cada año, son menores y que aquel descenso determinará serias deficiencias en la producción agrícola de los próximos años ...

Los siguientes tres artículos, los dos primeros publicados por médicos

de renombre mundial, resaltan la influencia que puede tener el clima al tener el potencial de crear ambientes que impacten negativamente en la salud humana.

Cambio de Clima Aumenta SIDA en la Zona Ecuatorial

Mayo 1996: Dr. K. Okamoto, epidemiólogo. Japón

... Cambio climático puede incrementar el agujero en la capa de ozono, ocasionando un aumento de las radiaciones ultravioletas que a su vez cause mas cáncer de piel y SIDA. Las radiaciones ultravioletas pueden impulsar de tres formas el desarrollo del SIDA: debilitamiento del sistema inmunológico, multiplicación de radicales libres y activación del virus en los seropositivos ...

Alteraciones del Clima

Junio 1996: Dr. P. Epstein. Universidad de Harvard. USA

... El cambio climático a nivel mundial ha provocado la creciente expansión de la malaria, el dengue y el cólera, en America Latina; encefalitis en los EE.UU; meningitis en la Zona del Adriático; y fiebres de Lassa, amarilla y Rift en Africa

...

Aumento de Enfermedades Respiratorias

Junio 1996: El Universo. Ecuador

... En los últimos dos meses del 30 al 40% de las consultas pediátricas en el Hospital del Niño, tienen que ver con problemas respiratorios, cuando el promedio de pacientes con estas afecciones alcanzaba el 25% ...

Los dos artículos que se muestran a continuación, indican el impacto negativo que podrían ocasionar los cambios climáticos en la economía de los países, y cómo los más afectados serían los países en vías de desarrollo.

Clima amenaza la Economía Mundial

Junio 1996: World Watch Institute. USA.

... Los cambios climáticos pueden convertirse en serios factores de perturbación de la economía mundial. Los desastres naturales ocasionados por alteraciones climáticas han provocado pérdidas estimadas en US\$ 162.000 millones entre 1990 y 1995, comparadas con 54.000 en la década de los ochenta ...

Cambios Climáticos elevarán pobreza en el Tercer Mundo

Julio 1996: Instituto de Análisis de Sistemas Aplicados. Austria.

... Progresivo calentamiento del planeta produciría una baja en la producción agrícola (por la abreviación del ciclo de crecimiento de las plantas, y reacciones adversas al aumento en la concentración de CO2) en los países del tercer Mundo en un porcentaje entre dos y cinco por ciento, mientras que los países ricos registrarán aumentos que pueden llegar a un diez por ciento en algunos casos ...

Finalmente, se muestran otros dos ejemplos de la potencial influencia de los cambios climáticos en la salud humana.

Calentamiento Propaga Malaria

Julio 1996: Raymond Hayes, Universidad Howard. USA.

... Debido a los Cambios Climáticos, la malaria puede extenderse desde los trópicos a otras regiones de clima más templado, pues su agente transmisor, un mosquito del género anopheles, podría multiplicarse en regiones que antes eran demasiado frías o secas para ellos ...

Los Efectos del Clima en la Salud del Hombre.

Agosto 1996: Dr. G. Straburzynski, Academia de Educación Física. Polonia.

... Uno de cada dos niños polacos y uno de cada tres adultos sufren a causa de la inestabilidad casi continua del clima de su país (meteotropismo), se manifiesta en reacciones intensas, tanto biológicas como síquicas ante los bruscos cambios de parámetros del clima ...

... Estudios en Inglaterra y Gales demostraron que los cambios de temperatura y las precipitaciones eran la causa del 41% de las defunciones provocadas por paros cardíacos ...

EL CLIMA CONCITA ATENCION MUNDIAL

En vista de la importancia de los cambios climáticos en diversos ámbitos de la vida humana, se han realizado, a nivel mundial, numerosas conferencias, talleres y foros en los que han participado políticos e investigadores de prácticamente todos los países del mundo, a continuación se resumen las más representativas llevadas a cabo en los últimos quince meses.

- Conferencia sobre el Clima. Julio 1995. Berlín

En este evento, se continuó con el Debate que todavía sostienen muchos científicos en la actualidad: acerca de si nos estamos acercando a una "época glacial" (disminución drástica de la temperatura media de la Tierra) o por el contrario el "Efecto Invernadero" (aumento de la Temperatura) será el dominante?. Una de las conclusiones de esta conferencia es que se publican muchas noticias sin los adecuados fundamentos científicos, para crear pánico en el medio.

- Foro Internacional: Sobre Predicciones de "El Niño". Diciembre 1995. Washington.

Representantes de organizaciones científicas y financieras de todo el mundo se reunieron y recomendaron la creación de un "Instituto Mundial del Clima", que canalice los esfuerzos que se están realizando en esta área.

- Taller: "Impact of Climate Change on Food and Livelihood Security: An Agenda for Action". Diciembre 1995. India.

En este taller se vio la necesidad urgente de mejorar la capacidad de pronóstico de los eventos climáticos extremos, de desarrollar (usando los avances de la biotecnología) nuevos cultivos que sean resistentes a temperaturas extremas, y propiciar un mayor uso de los datos provenientes de satélites para producir Sistemas de Información Geográficos.

- 2da. conferencia mundial de la Comisión Intergubernamental sobre cambios climáticos (CICC). Marzo 1996. Roma

Entre varios puntos importantes, se discutió la Hipótesis de una mutación climática hasta el año 2100; existiendo dos posibles escenarios; un optimista: que habla de un aumento de la temperatura del aire en un grado centígrado, y un crecimiento del nivel del mar en 15 cm; y un escenario pesimista: que pronostica un aumento de 3,5 grados en la temperatura del aire, y de 95 cm del nivel del mar.

- Conferencia Mundial Sobre el Clima. Julio 1996. Ginebra

Se discutió un Informe (en el que participaron alrededor de 1.500 científicos de todo el mundo) el mismo que establece claramente la influencia humana en los bruscos cambios climáticos que han afectado a la Tierra en los últimos 10 años.

- Foro-Taller: Desarrollo en el Ecuador de la Investigación Aplicada en el Área de Cambios Climáticos. Enero de 1996. Guayaquil

En este evento, organizado por la ESPOL, con auspicio del FUNDACYT, se reunieron 40 participantes de: INAMHI, INP, INOCAR, MAG, MEM, CLIRSEN, CEDEGE, INEFAN, PMRC, Fundación Natura, FIESO, Universidad Agraria, y la Universidad de Babahoyo. Y se analizaron las actividades que las diferentes Instituciones deberían realizar para trabajar en forma coordinada.

- Mesas Redondas: Aplicaciones de Estudios Climáticos en Agricultura y Pesquería-Acuicultura. Septiembre de 1996. Guayaquil.

Este evento, financiado por FUNDACYT, UNESCO y ESPOL, fue una continuación del evento anterior, pero en esta ocasión dirigido más hacia el sector productivo, participando compañías como: RECOSEG, ECUADMINSA, CAPFA, Corporación Noboa, Empacadora Nacional, FADESA, FUNDAGRO, FIESO, Grupo LANEC, Proyecto de Oceanografía y Pesca, entre otros.

Se resumen ahora las actividades en ejecución, por sub-programa.

CAMBIOS GLOBALES Y ACUACULTURA

Es conocida la relación que existe entre la temperatura del mar y la disponibilidad de larvas salvajes de especies de producción acuícola. También es conocida la directa relación entre este factor y la prosperidad de la industria camaronera y acuícola en general. Medidas de prevención son necesarias para proteger la calidad del agua y la infraestructura, de la precipitación excesiva. Información, con suficiente anticipación, de cómo va a cambiar el escenario climático es una alternativa para un manejo eficiente que puede representar un elevado porcentaje del rendimiento del sector.

Actualmente se están usando indicadores de la producción camaronera en el país y se los está relacionando con parámetros oceánicos, lo que permitirá en el futuro crear un modelo que estime los niveles de producción camaronera con varios meses de anticipación, en función de la proyección oceanográfica local y regional.

VARIABILIDAD CLIMATICA Y PESQUERIAS

Las poblaciones de especies marinas son altamente dependientes de la temperatura superficial del mar y de la concentración de algas. Un adecuado manejo de la información satelitaria para el monitoreo oceanográfico puede aplicarse en diagramas de distribución espacial de la temperatura del mar para pesquerías. Esta información puede redundar en un ahorro sustancial de tiempo, recursos e inversión, como lo ha sido en programas similares aplicados en otros países de la región como Chile.

Para cada una de las principales especies de peces capturadas en aguas nacionales, se están realizando análisis de correlación con diferentes parámetros oceanográficos y meteorológicos con el fin de determinar el/los indicadores climáticos que más influyen en cada especie de pez; lo que constituye el primer paso previo a la elaboración de modelos de pronóstico de captura.

CAMBIO CLIMATICO Y AGRICULTURA

Las actividades productivas de alto riesgo casi siempre están íntimamente relacionadas con su grado de dependencia a cambios climáticos como: la disponibilidad de agua para la agricultura, la temperatura del aire, la radiación solar, inundaciones, sequías, etc. Una proyección estimada de estas condiciones que tenga un alto nivel de significancia podría reducir este alto riesgo a niveles mucho más manejables. Programas similares han dado muy buen resultado en otras regiones de sudamérica como la pampa argentina y el nordeste de Brasil.

De manera semejante al sub-programa anterior, se están considerando varios cultivos de importancia comercial en el Ecuador, para luego proceder a la construcción de modelos de regresión lineal múltiple para estimar la producción de un producto agrícola dado, en función de las variables atmosféricas.

CAMBIO CLIMATICO GLOBAL Y LA MITIGACION DE DESASTRES

El conocimiento a priori de la probable ocurrencia de escenarios climáticos anómalos, como períodos anormales de lluvias intensas permitirá tomar acciones de control para prevenir y/o mitigar inundaciones y consecuentemente daños a la obra pública (carreteras, puentes, etc.) y privada (cultivos agrícolas, viviendas, etc.); de la misma manera se pueden tomar medidas para contrarrestar los efectos negativos de períodos de sequía, marejadas, etc.

En la ESPOL se han realizado trabajos que permiten una estimación económica de los perjuicios ocasionados por la ocurrencia de una tormenta fuerte; como ejemplo, en 1983 una sola tormenta producida en Portoviejo ocasionó daños que alcanzaron el millón y medio de dólares. Por otro lado, se está utilizando información de satélites y de modelos climáticos globales para proyectar las condiciones climáticas en nuestro país. Igualmente se están haciendo trabajos que permitan realizar una regionalización del impacto (medido por la cantidad de precipitación) ocasionado por la ocurrencia de un Evento de El Niño-Oscilación Sur, y su contraparte: La Niña.

Las posibilidades de aplicación son muchas, gracias a las facilidades que en la actualidad brinda la red INTERNET, es posible realizar investigaciones que hasta hace pocos años eran prácticamente imposibles de efectuar si no se disponían de grandes recursos para la obtención de información, el futuro luce alentador si podemos lograr que esta nueva tecnología tenga difusión y aceptación entre los sectores que pueden hacer uso de la misma.

APENDICE

EL PROCESO DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL ECUADOR

Ing. Luis Cáceres S.

Coordinador Nacional de Cambio Climático
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

RESUMEN

El documento presenta el Proceso del Cambio Climático en el Ecuador, iniciado en diciembre de 1992 en respuesta a la Convención Marco sobre los Cambios Climáticos de las Naciones Unidas. Indica sus antecedentes relevantes, objetivos propuestos y áreas estratégicas definidas.

Señala información relevante de los proyectos: Ecuador Climate Change Country Study, Ecuador-Holanda sobre Cambio Climático en la Zona Costanera, CC:TRAIN y Limitación de las Emisiones de los Gases del Efecto de Invernadero que se encuentran en fases de ejecución y/o implementación en cumplimiento de los objetivos planteados por el Ecuador.

SUMMARY

This document presents the Climate Change Processing in Ecuador. It began in december 1992 in respond to United Nations Framework Convention on Climate Change. It indicates important issues, objectives and defined strategic areas.

In addition, it presents main information about projects like: Ecuador Climate Change Country Study, Ecuador-Holand on Climate Change of the Coastal Zone, CC:TRAIN-Ecuador and Economics of GHG Limitations. Those projects are executing according to objectives of Ecuador.

1. ANTECEDENTES

1.1. EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.

La posibilidad de un cambio climático causado por alteraciones de la composición atmosférica, especialmente las crecientes concentraciones de Gases de Efecto Invernadero, se ha convertido en una gran preocupación, y ha puesto las cuestiones climáticas a la cabeza de los temas políticos internacionales.

La necesidad de hacer frente a este problema y el reconocimiento de que la utilización adecuada de la información sobre el Clima podría ser provechosa para el desarrollo socioeconómico nacional, conllevaron a que la Organización Meteorológica Mundial (OMM), como organismo oficial de las Naciones Unidas, cree en el año de 1979 el Programa Mundial sobre el Clima (PMC).

A partir de entonces, ha sido de gran importancia la labor desarrollada por las Naciones Unidas en el ámbito científico y político a través de sus organis-

mos ejecutores como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la OMM.

- Bajo el marco expuesto dos hechos han sobresalido en gran manera:
- La creación del Panel Intergubernamental sobre los Cambios Climáticos (IPCC) y,
 - La Convención Marco sobre los Cambios Climáticos (CMCC).

El IPCC fue establecido en 1988, conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Los principales resultados de su acción se plasmaron en el Primer reporte de Evaluación de 1990 y su Suplemento de 1992 y en el Segundo Reporte de Evaluación de 1995.

La Asamblea General de las Naciones Unidas a través de su resolución 45/212, estableció el Comité Intergubernamental de Negociación para una Convención Marco sobre los Cambios Climáticos, la misma que fue acordada y adoptada en mayo de 1992 y posteriormente rubricada por 154 países durante la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) en 1992.

Luego de la recepción del Quincuagésimo Instrumento de Ratificación, Aceptación, Aprobación o Adhesión de los estados asumida el 21 de diciembre de 1993, la CMCC entró en vigor en marzo de 1994.

La CMCC establece como fin último conseguir, según sus disposiciones pertinentes "La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida la interferencia antropogénica peligrosa con el Sistema Climático. Ese nivel se alcanzará en el tiempo suficiente como para permitir a los ecosistemas adaptarse naturalmente al cambio climático, garantizar que la producción alimentaria no se vea amenazada y que el desarrollo económico evolucione de manera sostenible".

Las partes asumieron el compromiso de adoptar políticas y medidas de adaptación y atenuación del Cambio Climático. Las Partes que son países desarrollados suministrarán apoyo financiero y tecnológico a las partes que son países en desarrollo.

El párrafo g del Artículo 4 de la Convención Marco sobre los Cambios Climáticos estipula que los países deberán:

"...promover y apoyar con su cooperación la investigación científica, tecnológica, técnica, socioeconómica y de otra índole, la observación sistemática y el establecimiento de archivos de datos relativos al sistema climático, con el propósito de facilitar la comprensión de las causas, los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático, y de las consecuencias económicas y sociales de las distintas estrategias de respuesta y de reducir o eliminar los elementos de incertidumbre que aún subsisten al respecto.

Por su lado, el Programa Mundial sobre el Clima de la Organización Meteorológica Mundial plantea como respuesta a las cuestiones del Programa 21 y de la CMCC, cuatro direcciones críticas:

- Servicios climáticos para un Desarrollo Sostenible;
- Ciencia climática y Predicción;
- Observaciones Especiales del Sistema Climático;

- Estudios para las Evaluaciones del Impacto Climático y las Estrategias de Respuesta con intención de reducir la vulnerabilidad.

Los Programas Nacionales sobre el Clima y los "Country Study" son los mecanismos global y particular adoptados por los países para enfrentar la problemática de los Cambios Climáticos y cumplir con los compromisos internacionales.

1.2. EN EL CONTEXTO NACIONAL.

El Ecuador suscribió la CMCC en la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992 y la ratificó en el primer trimestre de 1993.

El Ecuador comienza su participación oficial en el IPCC a partir de noviembre de 1992. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en relación directa con el Ministerio de Relaciones Exteriores, es el responsable de la Coordinación Oficial del IPCC y de la implementación de la Convención Marco sobre Cambios Climáticos.

1.3. SITUACION MEDIO AMBIENTAL EN EL ECUADOR AL AÑO DE 1994.

Entre 1994 y la presente, los temas medio ambientales han sido tratados con mayor profundidad y a un nivel político superior, a través de la labor de la Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la República (CAAM). A pesar de ello, el tema del cambio climático en el Ecuador no es considerado de prioridad, por lo que los diferentes planes de desarrollo y demás instrumentos de planificación del desarrollo sustentable no lo incluyen entre sus objetivos.

La situación medioambiental en el Ecuador durante la década de los años ochenta fue presentada en documentos importantes como "El Diagnóstico de la Situación del Medio Ambiente en el Ecuador (1980-1981)", en su actualización en 1988 y en el Primer Congreso Ecuatoriano sobre el Medio Ambiente.

El Gobierno Nacional, en su Agenda para el Desarrollo para el período 1993-1996 enfocó la problemática del Medio Ambiente. Por otro lado, el Ministerio de Relaciones Exteriores, con la colaboración del Gobierno de Canadá, preparó "La Gestión Ambiental en el Ecuador" como un documento complementario al informe nacional del Ecuador a la UNCED-92.

Según la documentación analizada, al año de 1994 el Deterioro del Medio Ambiente y Mal Manejo de los Recursos Naturales se expresaba en las siguientes hechos:

- a. Se deforestan aproximadamente unas 200.000 has, al año y el promedio de reforestación es de apenas 5.000 has, el año.
- b. Entre 1987 y 1991 se ha destruido el 7% de bosques de manglar.
- c. El 40% de la superficie del país está afectada por procesos erosivos activos y/o potenciales.
- d. El porcentaje anual de ampliación de la frontera agrícola llega al 3%, el segundo más alto de América del Sur.
- e. Reducción del volumen de captura pesquera por la sobreexplotación y uso indiscriminado de los ecosistemas costeros.
- f. Alta contaminación de aire, agua y suelo en los principales centros urbanos del

- país, en particular alto contenido de tetraetilo de plomo en la gasolina.
- g. Al menos 23.000 hectáreas de suelos agrícolas se riegan con aguas contaminadas.
 - h. Reducción de la vida útil de los embalses y alto riesgo de inundaciones
 - i. Altos índices de contaminación por explotación hidrocarbúrrifera y minera.
 - j. Todas las áreas que conforman el sistema nacional de áreas protegidas y vida silvestre tienen problemas de intervención.

Con las siguientes consecuencias:

- a. Acelerado deterioro de los recursos naturales.
- b. Pérdida de la diversidad biológica.
- c. Impacto negativo en la capacidad de producción de bienes y servicios.
- d. Deterioro de la calidad de vida de la población.
- e. Incremento de los problemas ambientales a nivel global.

El Análisis de la Gestión Ambiental, además de resaltar a la erosión como el mayor problema ambiental en el Ecuador, identificó las áreas estratégicas de consideración en tres campos: Ambiente Natural, Recursos Naturales y Ambiente Humano.

Entre las áreas estratégicas de Gestión Ambiental constaban:

- Ambiente Natural
 - Bosques/deforestación
 - Recursos marinos y costeros
- Recursos Naturales:
 - Atmósfera
 - Suelo
 - Agua
- Ambiente Humano
 - Población
 - Pobreza
 - Riesgos, desastres y emergencias ambientales.

Por otro lado, algunos aspectos son notorios y sobresalientes. La Línea Ecuatorial y la Cordillera de los Andes atraviesan su territorio, sus costas son bañadas por el Océano Pacífico y cuenta con grandes extensiones de bosques tropicales, hechos que conllevan a una infinidad de microclimas e influencias externas e internas.

Los desastres más importantes ocurridos en el país durante las últimas décadas y que produjeron nefastas consecuencias socioeconómicas, tienen una relación directa con el clima.

La seguridad alimentaria del país es fuertemente influenciada por el clima, sin embargo su economía se fundamenta básicamente en el petróleo, recurso no renovable, a pesar de que su vocación es eminentemente agrícola.

En 1992 se culminó el Plan Maestro de Meteorología e Hidrología del

Ecuador, en el cual se reconoce por un lado, la real y directa dependencia de las diferentes actividades socioeconómicas del factor clima y, por otro, que los procesos atmosféricos en el trópico y específicamente sobre el área de influencia del Ecuador, mantienen aún grandes incertidumbres.

Se enfatiza "... que las principales anomalías climáticas adversas que se presentan en el Ecuador son las sequías, heladas agrometeorológicas, crecidas e inundaciones.." y que "... a pesar de que en El Ecuador existe una riqueza en cuanto a sus recursos hídricos, su variabilidad en el tiempo y el espacio hace que aparezcan severos déficits en forma permanente en ciertos sitios o en un mismo lugar en ciertas épocas del año".

Entre las conclusiones del Plan Maestro se menciona que " Es importante relevar la necesidad del estudio profundo y científico de la circulación general de la atmósfera en los trópicos, pues esto será una herramienta fundamental y básica en el planteamiento y desarrollo de las diferentes actividades meteorológicas del país y su aplicación en las actividades socioeconómicas del hombre".

1.4. JUSTIFICACION

La propuesta del análisis del cambio climático en el Ecuador en el año de 1994 se fundamentó en los siguientes considerandos:

- La socioeconomía del país tiene una gran dependencia del clima.
- Los estudios medioambientales realizados en el Ecuador y el conocimiento existente sobre la problemática del cambio climático permiten delinear en primera instancia sus Areas Estratégicas.
- Los resultados obtenidos sobre el Cambio Climático Global por el IPCC y otros Organismos internacionales de investigación tienen un carácter global, y la certidumbre de ellos en el área tropical es relativamente baja.
- Todo proceso de investigación sobre el cambio climático contiene módulos obligatorios como: Escenarios climáticos actuales y esperados, vulnerabilidad de las áreas estratégicas ante el cambio climático, inventario de emisiones de los gases del efecto de invernadero con sus principales fuentes y sumideros y el planteamiento de alternativas de respuesta para la toma de decisiones.
- En el mes de marzo de 1994, la Convención Marco sobre los Cambios Climáticos entró en vigencia, con lo cual los países deben comenzar a cumplir con sus obligaciones en el contexto de la CMCC.
- La situación socio-económica del país impide la realización de estudios específicos sin la cooperación internacional.
- Los organismos y países desarrollados están ofreciendo asistencia técnica y financiera para determinados fines contemplados en la CMCC a través de los "Country Study".
- Es necesario coordinar todas las acciones a ser implementadas a fin de que respondan a objetivos nacionales y evitar duplicación de esfuerzos.
- A 1996, los considerandos anotados se mantienen vigentes y se han fortificado.

2. PROPUESTA DEL PROCESO DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL ECUADOR AL AÑO DE 1994.

2.1 OBJETIVOS GENERALES:

- Instalar una capacidad institucional básica para enfrentar la problemática de los cambios climáticos.
- Analizar el cambio climático en el Ecuador y sus posibles impactos en áreas estratégicas.
- Definir alternativas de respuesta ante el cambio climático para la toma de decisiones.
- Cumplir con los compromisos internacionales asumidos.

2.2. AREAS ESTRATEGICAS CONSIDERADAS.

La definición de las Areas Estratégicas respondió básicamente a:

- Análisis de "La Gestión Ambiental del Ecuador". Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Agenda para el Desarrollo. 1993-1996. Consejo Nacional de Desarrollo (CONADE).
- Plan Maestro de Meteorología e Hidrología del Ecuador. INAMHI-FONAPRE 1992.
- Convención Marco Sobre los Cambios Climáticos. Naciones Unidas. 1992
- Direcciones Futuras: La Respuesta a la CNUMAD. Programa Mundial sobre el Clima. 1993.
- Lineamientos Generales del IPCC acerca de los Estudios Nacionales.
- Enfoque de la Cooperación Internacional sobre los Estudios por País.
- Opciones Reales de captación de Ayuda Internacional.
- Otros.

En consideración de lo expuesto, se reconoció en 1994 las siguientes Areas Estratégicas que se mantienen aún vigentes:

1. Agricultura.
2. Recursos Hídricos.
3. Bosques Tropicales.
4. Zonas Marino-Costeras.
5. Zonas Bajas propensas a Inundaciones en el Centro y sur de la Región Litoral.
6. Zonas con procesos de Erosión.

3. EVOLUCION DEL PROCESO. PROYECTOS IMPORTANTES

Puede mencionarse que todo el proceso de investigación nació en una reunión del IPCC en dic/92 cuando se conoce sobre los esfuerzos internacionales dirigidos a evaluar el cambio climático, llevar el tema a los niveles políticos de toma de decisiones y las oportunidades de asistencia.

Durante el año de 1993, el INAMHI y el Ministerio de Relaciones Exteriores desplegaron varias acciones tendientes a conseguir la asistencia internacional para emprender proyectos que viabilicen el tratamiento del tema

Fig. 1

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL DEL PROYECTO



del cambio climático y el cumplimiento de los compromisos asumidos por Ecuador en el contexto de la CMCC. Así, se solicitó la colaboración de varios países desarrollados y organismos internacionales, entre los cuales sobresalen Estados Unidos, Holanda, las Naciones Unidas.

En respuesta a los objetivos planteados, a la presente fecha varios proyectos se encuentran en proceso de implementación y ejecución:

- Proyecto Ecuador Climate Change Country Study
- Proyecto Ecuador-Holanda sobre cambio climático en la región costanera.
- Proyecto CC:TRAIN
- Proyecto: Limitación de las Emisiones de los Gases del Efecto de Invernadero.

A continuación se resumen características importantes de cada uno de los proyectos como contenido, instituciones participantes, duración, estado de avance, etc.

3.1. PROYECTO ECUADOR CLIMATE CHANGE COUNTRY STUDY (ECCCS)

Antecedentes:

Luego de los contactos oficiales de 1993, en mayo de 1994 se definió el contenido del proyecto con la participación de expertos norteamericanos y las siguientes instituciones: INAMHI, INP, INOCAR, MAG, MEM, INE, CLIRSEN.

Cabe mencionar que los contactos iniciales se establecieron también con INEFAN, quien al final no participó de la discusión.

Por limitación de recursos económicos ofrecidos por la US. EPA, no se incluyeron en el proyecto INP, INOCAR, y consecuentemente los sectores de sus áreas de incumbencia.

La presentación del proyecto se llevó a cabo conjuntamente con la CAAM durante el Primer Taller Nacional sobre el Cambio Climático en el Ecuador, realizado en agosto de 1995.

Coordinación General y técnica.

El INAMHI en su calidad de Coordinador Nacional de Cambio Climático lleva la coordinación general y la técnica del Proyecto. A su vez cada uno de los diferentes módulos cuenta con su coordinador sectorial.

Módulos:

a. Inventario de Emisiones de los Gases del Efecto de Invernadero

- Sectores
- Energía, procesos industriales, agricultura, cambio del uso del suelo y silvicultura, desperdicios.
 - Instituciones responsables: Ministerio de Energía y Minas. Subsecretarías de Protección Ambiental y Electrificación (Dirección de energías Alternativas)
 - Estado actual: el informe preliminar se encuentra en proceso de revisión por parte de 30 organismos públicos y privados el país y exterior.

b. Vulnerabilidad y adaptación:

Sectores:

- Agrícola: arroz y soya en la cuenca del Guayas. Papa en la región interandina.
 - Instituciones Responsables : MAG. Subsecretarías de Políticas e Inversión Sectorial y Técnico Administrativa.
- Forestal: litoral y amazonía.
 - Institución responsable: CLIRSEN.
- Escenarios Básicos y del Cambio Climático.
 - Institución responsable: INAMHI

c. Mitigación

Sectores:

- Energético:
 - Institución responsable: Ministerio de Energía y Minas. Subsecretaría de Electrificación.

- No energético:
- Agrícola: Cultivos de arroz y soya.
Fermentación entérica.
 - Institución responsable: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría de Políticas e Inversión Sectorial.
- Forestal: CLIRSEN.

La fig. 1 indica el organigrama estructural del proyecto.

Duración: octubre/1994 - febrero/1997

Estado actual: se están finalizando los estudios sectoriales. La presentación de los resultados se realizará durante el Tercer Taller Nacional de Cambio Climático a realizarse a finales de marzo de 1997.

3.2. PROYECTO ECUADOR-HOLANDA SOBRE CAMBIO CLIMATICO EN LA ZONA COSTANERA.

Antecedentes:

Desde diciembre/92 se iniciaron los contactos con el Gobierno de Holanda. Con el fin de complementar los estudios iniciados con el ECCCS, en mayo de 1994 se preparó una propuesta por parte de la Coordinación Nacional y se transmitió al gobierno holandés por intermedio de la CAAM.

Entre febrero y marzo de 1995, la CAAM y el INAMHI, coordinaron la visita de expertos holandeses. Se organizó una misión mixta ecuatoriana-holandesa, que se contactó con organismos de Quito y Guayaquil. Se predefinieron tres perfiles de proyecto. Al final se decidió circunscribir la asistencia de Holanda hacia el sector costanero.

Entre julio y agosto de 1996 se recibió la notificación del gobierno holandés de la aceptación de la propuesta.

Objetivos:

- Formulación de un perfil de recursos costeros de toda la costa ecuatoriana.
- Evaluación de Vulnerabilidad de la zona costera del Golfo de Guayaquil.

Organigrama del proyecto:

Se contempla un Comité Directivo conformado por la CAAM, INAMHI, Programa de Manejo de Recursos Costeros (PMRC) y la Dirección General de la Marina Mercante (DIGMER)

El PMRC actuaría como órgano focal y responsable del estudio que albergará a un grupo asesor compuesto de cuatro personas que coordinará y dirigirá la ejecución de los análisis sectoriales a ser realizado por varias instituciones como: Instituto Nacional de Pesca, INOCAR, CLIRSEN, INAMHI.

Estado del proyecto:

Se conforma al momento el Comité Directivo y en breve se definirá los Términos de Referencia solicitados por el gobierno holandés.

Duración: aproximadamente 14 meses a partir de enero de 1997.

3.3. PROYECTO CC:TRAIN.

En un programa patrocinado conjuntamente por el PNUD y el GEF e implementado por UNITAR a nivel global y, por la Fundación Futuro Latinoamericano a nivel regional.

Objetivo General:

Cumplir con los compromisos del Ecuador frente a la Convención Marco sobre Cambios Climáticos.

Objetivos Específicos:

- Definición de una Estrategia Nacional de Implementación de la CMCC.
- Vincular al Cambio Climático dentro de los planes de desarrollo a mediano y largo plazo.
- Capacitación de personal en la preparación de Estrategias Nacionales sobre cambio climático.
- Vincular otros proyectos relativos dentro de la Estrategia Nacional.

Metodología de trabajo:

Se conformará un equipo nacional conformado por representantes de distintos sectores nacionales con intereses y conocimientos sobre cambio climático.

Su estructura contempla un Comité Político Asesor y un Grupo Técnico. El Comité Político Asesor se convertirá en el vínculo entre la parte técnica y el nivel político de la Toma de Decisiones tanto del sector público como privado de tal manera que la Estrategia Nacional de Implementación que se prepare tenga el aval político necesario que posibilite que la misma sea contemplada en los planes de desarrollo del país.

El proyecto tiene un componente importante de capacitación y de difusión de los diferentes niveles relacionados, tales como: político, público, privado, educativo, sociedad civil etc. Así la programación contempla varios seminarios ente los cuales sobresalen:

- Segundo Taller Nacional sobre el Cambio Climático y la CMCC a realizarse a inicio del mes de marzo de 1997. El evento ha sido programado de tal manera que anteceda al Tercer Taller en el cual se presentarán los resultados del proyecto ECCCS.
- Taller Nacional de Capacitación sobre la Preparación de Estrategias Nacionales de Implementación a llevarse a cabo probablemente en el mes de julio de 1997.
- Varios Talleres de consulta y difusión.
- Taller Nacional de Presentación de la Estrategia Nacional de Implementación. Probable fecha: abril de 1998.

Estado Actual:

A inicio de octubre del presente año se realizó el Taller Regional de Coordinadores con la participación de Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay y Cuba, donde se delineó la programación general del Proyecto.

Se trabaja al momento en definir los mecanismos y lineamientos específicos del proyecto que permitirán la conformación del Equipo Nacional y de la implementación misma del proyecto.

Coordinación:

El INAMHI actúa como Coordinador General del proyecto y responsable de su implementación ante el Gobierno de Ecuador, UNITAR y la Fundación Futuro Latinoamericano.

3.4. LIMITACION DE LAS EMISIONES DE LOS GASES DEL EFECTO DE INVERNADERO.

Fase 1: Definición de una metodología para la evaluación de acciones de mitigación frente al cambio climático.

El proyecto será ejecutado por el UNEP Collaborating Centre for Energy and Environment (UCCEE) y el RISO National Laboratory.

A mediados del año pasado, la CAAM y el INAMHI, coordinaron la visita de un experto de RISO, con quien se llevó a cabo varias reuniones de trabajo con personas e instituciones relacionadas con el tema de la mitigación, incluyendo los responsables del proyecto Ecuador Climate Change Country Study.

Durante la misión el experto de RISO evaluó las necesidades del Gobierno del Ecuador para transmitir las a los respectivos organismos patrocinadores, quienes enviarían un perfil del proyecto.

Este proyecto se iniciaría próximamente, se espera una comunicación oficial del PNUMA y RISO

4. CONCLUSIONES

- El marco de acción y contenido de la propuesta inicial se va cumpliendo en concordancia con la existencia de opciones de asistencia internacional.
- Para el Ecuador, el tema de la Vulnerabilidad y Adaptación (V/A) es prioritario en el contexto del cambio climático.
- Los estudios de V/A en el sector agrícola en ejecución contemplan únicamente el arroz, soya y papa.
- Se requiere realizar estudios de V/A en los sectores de recursos hídricos, pesca, zonas con problemas de erosión. En el sector agrícola incluir otros productos estratégicos para la seguridad alimentaria y la economía del país.
- Los estudios en ejecución y por iniciarse servirán de base para la definición de la Estrategia Nacional de Implementación.
- Es importante continuar con el proceso del cambio climático en forma coordinada y con carácter nacional.

5. BIBLIOGRAFIA

- Cáceres, L. 1994. Ecuador Climate Change Country Study. Propuesta revisada. INAMHI. Quito.
- Cáceres, L. 1994. Estudio del Cambio Climático en el Ecuador. Propuesta para el Gobierno de Holanda..INAMHI. Quito.
- Cáceres, L., Bermeo, A. 1996. Programación CC:TRAIN-Ecuador. Documentación Taller Regional.
- Fundación Futuro Latinoamericano. 1996 Varios documentos técnicos y de difusión.
- Resource Analysis. 1995. Formulation of Country Studies on Climate Change. Ecuador; mission February 20 -March 4, 1995. Holanda.
- UNITAR. 1996. CC:TRAIN. Descripción del programa. Ginebra.
- Varios. 1995. Comunicaciones oficiales entre CAAM, INAMHI, RISO, UNEP.

LOS RECURSOS HIDRICOS EN EL ECUADOR

Dr. Remigio Galárraga S.
Escuela Politécnica Nacional

ECUADOR MARCO FISICO

TERRITORIO CONTINENTAL (A=268.919 KM2) .

- 1) 1° 28' 39" Latitud N (Desembocadura Río Mataje)
- 2) 5° 01' 00" S (Confluencia Chinchipe y San Francisco)
- 3) 75°11'49" W (Confluencia Napo y Aguarico)
- 4) 81°00'37" w (Puntilla Santa Elena)

TERRITORIO INSULAR (A= 8.006 KM2)

- 1) 0° 39' 00" N (I.Darwin)
- 2) 0° 23' 00" S (I.Española)
- 3) 89° 14' 00" W (I.San Cristóbal)
- 4) 92° 00'30" W (I.Darwin)

Cordillera de los Andes: N-S, 3 ramales:
Occidental, Central y Oriental (segmentada)

3 regiones naturales continentales:
Costa, Sierra, Oriente.

Costa: Pie de Monte Occidental, Llanura, O. Pacífico, Zona calida, húmeda, lluvias crecientes de sur a norte desde desierto costanero al norte del Perú hasta lluvias abundantes en la frontera con Colombia.

Sierra: Dentro de los plegamientos andinos. División en cuencas pequeñas que drenan mayoritariamente al Oriente.

Se ubican también acuíferos.

En bordes orientales se ubican zonas potencialmente productivas (hidroeléctricas) drenaje eficiente.

Hoyas: ricas en producción agrícola y en ordenamiento territorial.

Nevados: Mundialmente famosos. Cobertura /hielo todo el año a pesar de su ubicación en la línea ecuatorial.

Nevados principales	Elevación (msnm)
Chimborazo:	6.310 msnm
Cotopaxi:	5.897
Cayambe:	5.790
Antisana:	5.705
Altar:	5.320
Iliniza Sur:	5.266

(Carihuarazo, Quilindaña, Pichincha)

Amazonía: Al este cordillera. Llana. Boscosa. Muchos ríos navegables. Estribaciones cordillera oriental, tercera cordillera, selva (300 msnm) Por su cantidad de lluvias y áreas inundables, no requiere planificación hídrica.

Galápagos: 13 islas, 17 islotes, 647 rocas volcánicas. Ninguna / poca agricultura. Pesca + turismo.

Ecuador => Zona tórrida. Variedad de climas por su naturaleza montañosa.

Sistema Hidrográfico, clasificación de acuerdo a:

- Inamhi: (Control Estaciones Hidrometeorológicas)
 - 11 Sistema Hidrográficos.
 - 8 Pacífico / 3 Amazonía (no cubre todo el país)
- Inerhi (ex)
 - 77 Sistemas
 - 66 Pacífico/10 Amazonía / 1 Galápagos
- Inecel
 - 32 Sistemas Hidrográficos
 - 21 Pacífico/10 Amazonía / 1 Galápagos

Precipitaciones

Zonas secas:

p < 400 mm; Costa de Manabí, Punta de Salinas (P. Santa Elena), Hoya de Jubones, algunas áreas de El Oro.

p > 5000 mm; Estribación nor oriental Cordillera Central.

p. Media Anual: 2274 mm. Riqueza Hídrica Global.

Recursos Hídricos

- Ecuador país privilegiado
- Escorrentía media total - (superficiales + subterráneas) = 432.000 hm³ / año.
- Escorrentía específica = 1600 mm/año. e.e. mundial = 300 mm/año.

Población= 12'000.000 (1996)

v/año = 36.000 mm. Cifra importante comparada con la media mundial de 10.800 m³ /año.

Para 2005: pob ~15'500.000=>

V/año = 27.800 m³ /hab/año=>

Ecuador dispone de recursos suficientes, superabundantes. Sin embargo se producen irregularidades hídricas: temporales y espaciales.

Mediante regulación natural (retención de agua en el suelo) se aprovecha 147.000 hm³/año ~ 34% o sea 14.800 m³ / hab. /año >> a las necesidades (solo un índice; o sea zonas secas alimentada desde zonas húmedas) ej: P. Santa Elena alimentada de la Cuenca del Napo).

División por disponibilidades

- 1.- Vertiente Pacífico, condiciones menos favorables, más población.
 - 2.- Vertiente Amazónica, condiciones mas favorables, menos población.
- Aprovechamiento por Vertientes

Pacífico: solo 15% de los valores medios.

Amazonía: 41%

En base a la población

Vertiente Pacifico (81% hab.) : dotación= 2.100 m³ /hab/años

2.100 cerca a la media mundial de 1300 => existen problemas hídricos (análisis en zonas reducidas, secas).

- Irregularidad temporal debido a retención de agua de lluvia en el subsuelo=> se aprovecha solo 1/3 de disponibilidades.

Si existieran embalses de regulación anual, entonces el aprovechamiento sube a 2/3. Para valores superiores=> diseñar regulaciones interanuales.

- Irregularidad espacial (distribución geográfica) escorrentía natural varia de cuenca a cuenca en base a oscilaciones de aportaciones por unidad de superficie.

1 - 50

Cuencas más favorables: las que drenan de los Andes. Más ricas al norte que al sur.

En la Vertiente Pacífico, más aptas: Esmeraldas, Guayas, Cañar.

En general, se destaca un gran desequilibrio hidrodemográfico entre las dos vertientes.

En la V. Pacífico: Recursos per capita altos:

14.300 m³ /hab/año.

Sin embargo su distribución es muy irregular :

540=> en C. Jipijapa

2'578.000 en C. Cayapas;

relación: 1 - 4800=>

Abastecer áreas escasas desde áreas abundantes/usar procedimientos no convencionales (aguas residuales/desolación/ lluvia artificial)

Recursos Regulados

- Desequilibrio hidrodemográfico: mas pronunciado = 33,4 veces => hay mayor regularidad del agua en la V. Amazónica (menor población)
Media per capita en V. Pacífico: 2100 m³ /hab/año es suficiente, su distribución es mas irregular.

Hay 11 cuencas con valores < a 1300 m³ /hab/año.

(Carchi, Cojimies, Jama, Chone, Portoviejo, Jipijapa, Guayas, Zapotal, Taura, Balao y Arenillas, Zarumilla)

Para usos consuntivos se han construido Poza Honda/Portoviejo, Azúcar y S. Vicente (Zapotal), Esperanza (Chone), Daule Peripa (Guayas), Tahuin (Arenillas-Zarumilla)

- Incremento de disponibilidades: 4.300hm³ /año => Generan la situación en Cuencas deficitarias.

Volúmenes Regulados para Hidroelectricidad:

Pisayambo (Pastaza)

Amaluza (Paute)

Total : 22. 000 m³ /hab/año.

- **Incremento de disponibilidad:** 1.250hm³/año para energía firme.
Recursos Subterráneos.
No hay estadísticas confiables de volúmenes utilizados.

REFERENCIA: INERHI - CEDEX, 1989