

CONTRIBUCIÓN DE LAS IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS Y SIG EN LA SEPARACIÓN DE LAS UNIDADES LITOGEOFOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARAMACATE (ESTADO ARAGUA, VENEZUELA)

Hernández, Wilmer

Universidad Central de Venezuela, email: wilmerhernandez_1999@yahoo.com y wilmer2000ve@hotmail.com

Elizalde, Graciano

Universidad Central de Venezuela, email: elizaldeg@agr.ucv.ve

Ochoa, Jonathan

Universidad Central de Venezuela, email: ochoajs@yahoo.com

Ospina, Abelardo

Universidad Central de Venezuela, email: oabelardo@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En Venezuela parte de los estudios geológicos se han realizado entre los años 1930 y 1980. Esto trae como consecuencia que esa información se encuentre en formato de papel y que para ser manejada por medios electrónicos debe ser procesada previamente.

La cuenca del río Caramacate se encuentra ubicada en la región centro-norte de Venezuela, específicamente en la Serranía del Interior. La geología de esta zona está representada por un bloque alóctono de rocas básicas y ultrabásicas de origen del basamento oceánico enclavado en el continente (Navarro, 1983). Si bien los estudios iniciales corresponden a Aguerreverre y Zuloaga (1937), fue Shagam (1960), quien realizó uno de los estudios más profundos con relación a la estratigrafía y petrografía de las rocas del área del sur de Aragua, definidas como Grupo de Villa de Cura. Los estudios posteriores presentan muchas discrepancias en cuanto a la estratigrafía y geología estructural de la región.

El desarrollo de la tecnología del SIG con el apoyo de las imágenes satelitarias y los ortofotomapas, son herramientas valiosas para el estudio de la variabilidad espacial de las unidades geológicas y estratigráficas y su relación con el paisaje, lo cual permite generar nuevas propuestas de la geología de esta zona central de Venezuela y comparar los resultados fácilmente.

Elizalde (1983), ha propuesto un procedimiento para la clasificación de paisajes que contempla ocho categorías, identificadas con los números 1 hasta 8 desde la más abstracta y generalizada, hasta la más específica. Posteriormente Elizalde *et al.*, (en proceso de publicación) denominaron a esas categorías, (megarregiones fisiográficas, regiones fisiográficas, provincias fisiográficas, subprovincias fisiográficas, unidades litogeomorfológicas, tipos de paisajes, tipos de relieve y sitios geomorfológicos, respectivamente). En todas las categorías, pero principalmente en las cinco primeras (megarregiones hasta unidades litogeomorfológicas) se tomaron en cuenta diversas características geológicas.

El sistema de clasificación de paisajes (Elizalde, 1983), define unos criterios para la delimitación geomorfológica que son los siguientes:

El nivel 1 (megarregiones), el criterio de separación es la petrología, delimita sectores cuya evolución geológica es el resultado de procesos orogénicos y las cuencas sedimentarias (escala de representación aproximada 1:30.000.000).

El nivel 2 (regiones), separa áreas por su distribución geográfica, petrología, estructura geológica, estratigrafía y tipo de relieve general (escala de representación 1:10.000.000).

El nivel 3 (provincias) los criterios de separación son: distribución geográfica, configuración topográfica, grupos de formaciones geológicas afines o sedimentos de cuencas complejas (escala aproximada 1:2.000.000).

El nivel 4 (subprovincias), los criterios de separación corresponden a los del nivel 3, pero con más detalle (escala de representación 1:300.000).

El nivel 5 (unidades litogeomorfológicas), separa áreas por: litoestratigrafía a nivel de formaciones geológicas o sistemas aluviales provenientes de cuenca de ablación homogénea (escala de representación 1:125.000).

Esta clasificación de paisajes fue aplicada con éxito por Fernández y Elizalde (2001) en la cuenca del río Tucutunemo, logrando delinear áreas homogéneas a nivel 6 (tipos de paisaje) a la escala 1:25.000, diferenciadas según la configuración del terreno, pendiente general, condiciones bioclimáticas, génesis de las formas de relieve y formación geológica.

En una investigación realizada por Jácome *et al.*, (2001) con el fin de determinar la capacidad de los sensores satelitales Landsat y Spot y de un MDE (modelo digital de elevación) en la separación de unidades pedogeomorfológicas, realizaron un estudio de los Llanos Altos Centrales utilizando un modelo pedogeomorfológico (Elizalde y Jaimes, 1989) con base a una clasificación de paisajes (Elizalde, 1983). Estos autores encontraron que las variables espectrales utilizadas tuvieron una participación relevante en el patrón suelo-paisaje identificado en el área de estudio, a la vez de estar relacionados con los distintos tipos de materiales parentales sobre los cuales se han desarrollado los suelos de la zona. Jácome *et al.*, (2001) señalan que las bandas espectrales correspondientes al visible (Spot XS1 y XS2), infrarrojo cercano (Spot XS3) e infrarrojo medio (Landsat TM5 y TM7), así como la elevación sobre el nivel del mar mdtl, reflejaron una mayor efectividad al reconocer elementos característicos de los suelos en la zona de estudio como parte de los sistema pedogeomorfológicos.

DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CARAMACATE

La cuenca del río Caramacate, comprende un área aproximada de 180,12 Km², ubicada en la parte media de la Cordillera de la Costa, al sur del Estado Aragua, entre las coordenadas UTM 1.098.310 m. y 1.123.583 m. Norte y 696.879 m. y 712.415 m. Este. Forma parte de los municipios Santos Michelena y San Sebastián de los Reyes del estado Aragua (Ochoa, 2004).

El paisaje está constituido principalmente por laderas de montaña, escarpadas, con pendientes medias del orden del 40% y altitudes que oscilan entre 334 m.s.n.m. en las adyacencias del poblado de San Sebastián de los Reyes y 1405 m.s.n.m. aproximadamente en el sector El Altar. Las laderas en general están orientadas hacia el sur, sureste y suroeste y el drenaje tiende a ser dendrítico con un sentido general norte – sur. La pendiente media del curso principal es menor al 7% (Ochoa, 2004).

Los paisajes que conforman la región se han desarrollado a partir de rocas pertenecientes a la asociación metavolcanosedimentaria de Villa de Cura, al complejo ofiolítico de Loma de Hierro, a la filita de Paracotos y en menor proporción a la Formación Guárico (Shagam, 1960; Piburn, 1968; Urbani y Rodríguez, 2003).

MATERIALES CARTOGRÁFICOS Y SOFTWARE UTILIZADOS

Para el estudio de la geología de la cuenca del río Caramacate se dispuso del material cartográfico siguiente:

Geología:

Material cartográfico en papel: Shagam, (1960), Peirson (1965), Piburn (1968), Bellizzia y Pimentel, (1976), Urbani y Rodríguez, (2003) en papel y digital este último.

Geomorfología:

En papel: Aubert, (1986), y en formato digital; Ochoa *et al.*, (2004)

Imágenes de sensores remotos:

Ortofotomapas a escala 1:25.000 del Servicio de Geografía y Cartografía Nacional (1995) (en papel y digital), imagen 004 – 053 – Landsat (en papel y digital), imagen spot de la cuenca.

Herramienta informática:

Se utilizó el software ArcGis versión 8.2 y el software ERDAS IMAGINE 8.6 Licencia N° Fb3ad29b35fb, puerto 5530.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los mapas en papel fueron digitalizados y georeferenciados de acuerdo a los requerimientos de Venezuela. Luego las imágenes se colocaron en capas en un mismo proyecto de ArcGIS. Este procesamiento está siendo utilizado actualmente para el estudio de la geología estructural y tectónica de la zona de estudio.

La imagen de satélite Landsat 7 ETM+ y los ortofotomapas digitales, debidamente corregidas geográficamente, constituyeron dos valiosas herramientas provenientes de sensores remotos que facilitaron la separación de las unidades litogeomorfológicas. Sin embargo, la mayor contribución en la separación de estas unidades se logró a través de un modelo digital de elevación (MDE) de ajuste geográfico y resolución compatible, lo cual le confiere un carácter tridimensional (Ochoa *et al.*, 2004) (figura 1a). El MDE sirvió de base para la generación de algunas capas de información adicional, planos de contactos geológicos entre otros, que ayudaron a la interpretación geológica.

Con la información disponible y mediante los pasos propuestos por Elizalde, (1983) se generó una leyenda del mapa geomorfológico, a nivel 5 (unidades litogeomorfológicas) de la cuenca de Caramacate.

Utilizando una imagen de satélite SPOT (fecha 30 de marzo del 2001 y resolución 20 m), el Modelo Digital de Elevación de la subcuenca (escala 1:25.000 y resolución 15 m) y ortofotomapas (hojas 6746 II SO, 6746 II NO, 6746 II SE, 6746 II NE Y 6745 I NO a escala 1:25.000), Ospina y Elizalde (2004) procedieron a revisar los límites geomorfológicos a nivel de subprovincias fisiográficas y unidades litogeomorfológicas que se obtuvieron de la revisión de los mapas de geología de Shagam (1960) y Piburn (1968). Posteriormente se replantearon las unidades sobre la imagen de satélite y ortofotomapas, se ajustaron los límites a fin de obtener unidades que fuesen reconocibles visualmente por fotointerpretación.

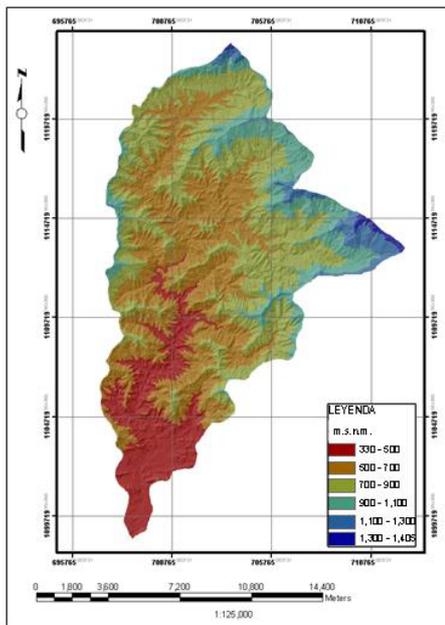
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la investigación que se lleva a cabo en la cuenca del río Caramacate, a través del procesamiento de imágenes satelitales, de los mapas geológicos disponibles digitalizados y el MDE fue posible la separación de unidades litogeomorfológicas a escala 1:100.000 lo cual a su vez está dando una mejor información acerca de la expresión fisiográfica de los límites de las unidades geológicas y se visualizan posibles fallas y fracturas que serán propuestas como parte de una nueva geología estructural de la cuenca del río Caramacate. Esto corrobora la fortaleza de la clasificación de paisajes empleada en esta investigación así como también lo reflejó en su investigación Jácome *et al.*, (2001) al señalar que las relaciones entre la información espectral y pedogeomorfológica reflejan la potencialidad del procesamiento digital de

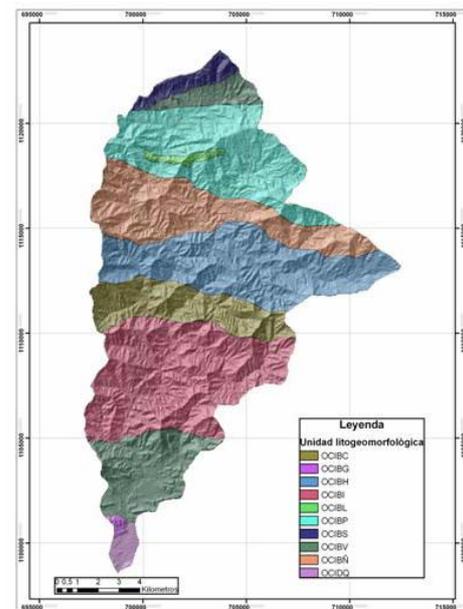
imágenes de satélite y de los modelos digitales de elevación en la discriminación de unidades suelo-paisaje.

En la figura 1b se observa el mapa de unidades litogeomorfológicas de la cuenca de Caramacate (Ospina y Elizalde, 2004) con diez unidades de geomorfológicas. Estas unidades son: **OCIBS** Complejo ofiolítico de Loma de Hierro; **OCIBP** Filitas de Paracotos; **OCIBL** formación Paracotos; **OCIBV** Metalavas de Tiara; **OCIBÑ** Metatobas de El Caño; **OCIBH** Metatobas de El Chino; **OCIBC** Metalavas de El Carmen; **OCIBI** Granofels de Santa Isabel; **OCIBG** Formación Guárico y **OCIDQ** sedimentos aluviales del Cuaternario.

En esta leyenda cada letra representa características de la unidad de paisaje, por ejemplo en la unidad: **OCIBÑ** Metatobas de El Caño, la letra **O** significa orogénico, la letra **C** significa Cordillera de la Costa Central, la letra **I** significa Serranía del Interior, la letra **B** significa Sistema montañoso centro oriental y la letra **Ñ** denota que la unidad pertenece a la formación del Caño representada por rocas metatobas afaníticas finamente laminadas. El hecho que el código presente cinco letras indica que la unidad de paisaje fue clasificada al nivel 5 de la clasificación jerarquizada de paisajes de Elizalde (1983).



(a)



(b)

Figura 1. (a) Mapa del MDE clasificado en pisos altitudinales de la cuenca del río Caramacate (Ochoa *et al.*, 2004). (b) Unidades litogeomorfológicas de la cuenca alta del río Caramacate (Ospina y Elizalde, 2004).

Las diez unidades geomorfológicas representan áreas homogéneas internamente en cuanto a su geología al nivel de abstracción que se ha trabajado, pero a su vez con diferencias entre ellas derivada de diferencias de la composición y estructura geológica. Cada unidad litogeomorfológica pertenece a una categoría mayor que la envuelve, por lo que se mantiene una relación filial-parental entre tales unidades litogeomorfológicas del nivel 5 y las subprovincias fisiográficas del nivel 4. El sistema de clasificación jerarquizada de paisajes de Elizalde (1983) es una aplicación del enfoque orientado a objeto donde la unidad litogeomorfológica representa un objeto con sus atributos que permite diferenciarlas unas de otras, pero que a su vez mantiene características conferidas por el nivel superior y se establecen funciones referidas a procesos que mantienen una relación con el ecosistema del cual forma parte.

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan la importancia que tienen las imágenes satelitales y su manipulación con el SIG para el estudio de la geomorfología, lo cual permitió la aplicación de la clasificación sistemática de paisajes de Elizalde (1983) en una cuenca muy grande con escasa información de los recursos naturales. Esto representa una vía para incorporar a las metodologías de estudios de cuencas con el objetivo del desarrollo de planes de manejo de las mismas (Sánchez, 1997).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerrevere, S. E. Y Zuloaga, C. (1937). Observaciones geológicas en la cordillera de la costa, Venezuela. Bol. Geol. Y Minas, Caracas, 1 (2- 4): 3 – 22.
- Bellizzia, A. G. y Pimentel, N. (1972) Mapa Geológico estructural de Venezuela. Escala 1:500.000. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Carta: NC – 19- II – San Juan de los Morros.
- Elizalde, G. 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera aproximación. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. 46 p.
- Elizalde, G. y Jaimes, E. 1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. Rev. Geográfica Venezolana. Vol. XXX. 1989. Universidad de los Andes. Mérida. 35
- Fernández, L. y Elizalde, G. (2001). Clasificación de paisajes en la cuenca del río Tucutunemo (Aragua-Venezuela). Terra. Vol. XVII, N° 26: 59-76.
- Jácome, A.; Vitoria J. y Elizalde, E. (2001). Separabilidad de unidades pedogeomorfológicas en un sector del sur del estado Aragua, por medio del análisis digital de imágenes de satélite y un modelo digital de terreno. Agronomía Tropical. Vol. 51. N° 1. 49-64.
- Navarro, E. (1983). Petrología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura. Rev. Geos. Escuela de Geología y Minas. UCV. N° 28. 170-317.
- Ochoa, J. 2004. Caracterización del relieve de las subcuencas de los ríos Caramacate y San Juan, por medio de los modelos digitales de elevación. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del Río Guárico. Maracay. 30 p.
- Ochoa, J; Jácome, A y Vitoria, J. (2004). Caracterización del relieve de las subcuencas de los ríos Caramacate y San Juan, por medio de modelos digitales de elevación. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del Río Guárico. Maracay. 27 p.
- Ospina, A. y Elizalde, G. (2004). Clasificación de paisajes de la subcuenca del río Caramacate, escala 1:100.000. Núcleo de Investigación y Excelencia de la Cuenca Alta del río Guárico. Maracay. 45p.
- Peirson, A. L. (1965). Mapa de geología de superficie. Escala 1:100.000. Mapa E-7. Creole Corporation.
- Piburn, M.D. (1968). Metamorfismo y estructura del grupo Villa de cura, norte de Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 9 (18): 183 – 290.
- Sánchez, R. (1997). Aplicación de la información satelitaria y técnicas de interpretación en el estudio de la cobertura y uso del suelo de la franja costera de la República del Ecuador. VII Simposio Latinoamericano de la percepción remota. Mérida, Venezuela.
- Servicio de Geografía y Cartografía Nacional. (1995). Ortofotomapas de la República de Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- Shagam, R. (1960). Geología de Aragua Central (Venezuela). Cong. Geol. Venez. III. Caracas. Noviembre 1959, Memoria, Bol. Geol., Caracas. Publ. Esp. 3, II: 574-675.
- Urbani F. y J. A. Rodríguez. (2003). Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Coedición FUNVISIS y UCV, iii + 146 p. (146 mapas a escala 1:25.000).