

BASES PARA UN ESTUDIO GEOMORFOLOGICO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Michel Hermelin *

RESUMEN

Después de discutir brevemente las diversas fases de la evolución morfogenética y en particular de la erosión y de analizar los factores tanto internos como externos que influyen sobre la estabilidad geomorfológica, se identifican para el Departamento de Antioquia, 7 regiones estructurales que deben ser la base de los futuros estudios geomorfológicos. Se describe el comportamiento ante los fenómenos morfogenéticos de las principales unidades litológicas.

Las evidencias conocidas de paleoclimas en Antioquia indican la posibilidad de un levantamiento de la Cordillera Central durante el pleistoceno, así como probables fluctuaciones entre climas secos y húmedos. Las formaciones vegetales establecidas por Holdridge se agrupan para obtener las siguientes divisiones morfoclimáticas: páramos, vertientes boscosas, depresiones secas y tierras cálidas. Finalmente se enumeran zonas prioritarias para estudios geomorfológicos, con base en su urbanización (Valle de Aburrá, Oriente Cercano), su utilización hidroeléctrica (Valle del Cauca), su desarrollo agrícola (Urabá, pendientes de las cordilleras recubiertas de cenizas volcánicas), o su inestabilidad natural (Valles de los afluentes del Río Magdalena).

* Profesor Asociado - Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias - Universidad Nacional - Medellín

ABSTRACT

In the Departamento of Antioquia, located in northwestern Colombia, seven structural regions have been identified, containing rocks which exhibit very variable properties with respect to surface phenomena. Several geomorphic evidences of paleoclimates exist, although their interpretation must consider the possibility of a late uplift of the cordilleras. Due to the latitude of the area (6° to $8^{\circ}N$) the present climatic zones are function of altitude and topographic position. A morphoclimatic distribution of the Departamento is established, based on Holdridge's classification of vegetal formations. Several areas, given their urbanization, hydroelectric potential, agricultural development or natural unstability, deserve priority regarding future geomorphological studies.

1. - INTRODUCCION

Más que una interpretación o aún descripción de los fenómenos morfogenéticos, estas notas pretenden señalar tentativamente un orden de prioridades para los estudios futuros que se emprendan en este campo. Es indispensable colocar este tema dentro de un marco conceptual consecuente con los recientes avances logrados en el estudio de los fenómenos naturales que ocurren en la superficie de la tierra, particularmente en cuanto a sus interrelaciones.

Puede definirse el término ecosistema como "un sistema evolutivo basado en la interacción de factores físicos, biológicos y humanos que asegura una transferencia de energía favorable a la vida" (UNESCO, Asociación Internacional Informática y Biosfera); debe señalarse la relación eminentemente dinámica que existe entre dos de sus componentes fundamentales: pedogénesis (formación de suelo) y morfogénesis (conjunto de procesos que tienen como consecuencia la evolución de la superficie de la tierra) (Tricart, 1965-1974). Este mismo autor, criticando las relaciones que tradicionalmente existieron entre pedología y geomorfología, en las cuales la segunda sólo ofrecía un marco

estático para el estudio de los suelos, hace énfasis en el concepto de balance entre factores constructivos y destructivos: en términos de estabilidad morfogenética, se puede entonces establecer una clasificación de los ecosistemas comprendida entre dos extremos: ambientes estables y ambientes muy inestables (Tricart, 1974).

II.- DEFINICIONES

El término "evolución morfogenética" evoca en forma casi irreflexiva el término "erosión", del que se ha hecho un uso tan irrestricto (Reynaud, 1971) que parece prudente discutirlo.

La evolución de las formas del relieve comprende básicamente tres procesos:

- 1.- Meteorización, o sea la elaboración en la superficie de la tierra de material suelto a partir de la roca, a través de procesos físicos, químicos y biológicos. No puede desligarse de la formación de los suelos, aunque en climas tropicales húmedos la profundidad de la capa meteorizada puede ser mucho mayor que la que corresponde a la del suelo.
- 2.- Transporte, efectuado por agentes como el viento, el hielo, el agua o en forma de movimientos de masa. La parte inicial de ese proceso, o sea el desprendimiento o arranque del material suelto de su lugar de origen, recibe el nombre de erosión (Heinemann y Piess, 1975).
- 3.- Acumulación (depósito) del material transportado, a distancias variables de donde fue erosionado. La erosión puede a su vez sub-dividirse de la siguiente manera:
 - a.- Erosión química (Tricart, 1965).

Es el proceso inherente a la meteorización química. Se caracteriza por la exportación, en forma de solución, de iones y complejos iónicos transportados por las aguas que se infiltran en los suelos o en las rocas permeables. Es de anotar la naturaleza constructiva

fundamental de este proceso en la pedogénesis, a diferencia de los que siguen.

b.- Erosión lineal (Derruau, 1965)

Es la que efectúan las corrientes sobre su lecho excavándolo.

c.- Erosión superficial

Ocurre en la superficie del suelo y su agente es el agua.

Pueden distinguirse:

- erosión por impacto de las gotas de lluvia
- erosión por escorrentía, que incluye:
 - erosión en manto, es decir, no concentrada.
 - erosión concentrada, que puede producir surcos y cárcavas.

d.- Erosión por movimientos de masa.

Afecta suelos y rocas más o menos saturados de agua, hasta diversas profundidades y con velocidades muy variables.

Los principales tipos, en climas tropicales son:

- Reptación (creep): movimiento muy lento que sólo afecta una capa superficial de unos cm. de espesor.
- Flujos de lodo: movimientos de masas saturados de agua, muy rápidos.
- Deslizamientos: término amplio para designar los movimientos que ocurren en rocas o suelos parcialmente saturados de agua. Sensus stricto: movimiento rápido que ocurre sobre una superficie definida, con rotación inversa.

Existe una completa transición entre los flujos de lodo y los deslizamientos en el sentido amplio del término.

A las anteriores debemos agregar la erosión glacial y

la erosión eólica; su importancia en Antioquia siendo muy poca o nula, no las consideraremos en la discusión siguiente.

III.- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ESTABILIDAD DEL PAISAJE

Muchas generaciones de nuestros profesionales de las ciencias de la tierra han recibido una formación donde se subdivide enfáticamente la erosión entre la "geológica" y la debida a la influencia humana (Bennett, 1939; Suárez de Castro, 1956). Si bien es cierto que el hombre ha contribuido muy eficazmente a la destrucción del suelo en muchas partes del mundo, ya es tiempo de considerar dicha influencia dentro de un marco más elaborado. No se intenta de ninguna manera quitarle mérito a la escuela "conservacionista" de los Estados Unidos, la que nació dentro del marco político del New Deal, tuvo el gran acierto de ofrecer remedios concretos a los graves problemas que afectaban a la agricultura americana de ese entonces. Mas aún, la escogencia algo maniqueísta de los términos perseguía seguramente una finalidad propagandística alentada por la naciente actividad "extensionista".

Se hace sin embargo necesaria una ampliación de las dos subdivisiones anteriores. Primero porque el término erosión "geológica" para designar los fenómenos erosivos naturales es demasiado vago, particularmente en un país como Colombia, donde ecosistemas muy diversos pueden existir en áreas relativamente poco extensas. En segundo lugar, hay que subrayar que la influencia humana sobre ambientes con estabilidad morfogenética distinta tendrá resultados totalmente diferentes. Como ejemplo, las consecuencias de un manejo deficiente de un suelo derivado de cenizas volcánicas, con abundante materia orgánica, sobre una pendiente suave o moderada, en un clima húmedo sin una estación seca marcada (i.e en la región de Río Negro) tendrá consecuencias que nunca podrán compararse con las que resulten de someter a las mismas prácticas un suelo proveniente de basaltos en una zona correspondiente a la formación vegetal de bosque seco tropical, situado sobre una fuerte pendiente del cañón del Río Cauca.

Es pues indispensable, con miras a intentar una clasificación de las diversas regiones del Departamento de Antioquia en cuanto a su estabilidad morfogenética, buscar una identificación aún preliminar, de los factores que la gobiernan. Sin entrar a discutir detalladamente la influencia de cada uno de dichos factores (para mayores detalles, remitimos al lector a textos de geomorfología recientes: Tricart, 1973; Garner, 1974; Birkeland, 1974, etc.) se mencionarán brevemente antes de analizarlos con respecto a la región de estudio.

A. - Factores internos

Son los que tienen su origen en el interior del planeta.

Pueden distinguirse:

- 1.- Naturaleza de las rocas (litología de los autores franceses y soviéticos): la distribución de los minerales en las rocas, su textura, influyen en los procesos morfogenéticos a través de su comportamiento frente a la meteorización.

Si consideramos constantes todos los demás factores (tanto endo- como exogenéticos, como se verá mas adelante), la velocidad de la meteorización, su profundidad, las propiedades físicas y químicas (particularmente las mecánicas) del regolito resultante variarán en función de la naturaleza de las rocas.

2.- Resultados de los movimientos tectónicos

- a.- Las estructuras como fisuras, pliegues, fallas, que pueden modificar considerablemente la resistencia de las rocas, así como su disposición dentro de la corteza terrestre, tienen la misma consecuencia que los factores anteriores.
- b.- La influencia de los movimientos tectónicos puede hacerse sentir directamente en la superficie de la tierra, como ocurre a veces con escarpes de falla. Además el papel que desempeñan los sismos al desencadenar importan-

tes movimientos de masa es estudiado con mucho interés, particularmente en el trópico húmedo, donde el espesor considerable del regolito favorece este tipo de procesos (Simonett, 1968; Shlemon, 1970).

- c.-Los fenómenos orogénicos, junto con los cambios del nivel del mar debidos a modificaciones del clima y junto con el volcanismo, son los que producen los desniveles indispensables para conferirle al sistema su energía potencial.
- d.-Además del efecto ya mencionado, algunas manifestaciones del volcanismo pueden llegar a modificar el clima del planeta (efecto pantalla de las partículas en la atmósfera) y a influir en zonas distantes de su ocurrencia al depositar materiales que pueden modificar profundamente los procesos tanto morfo como pedogenéticos.

B.- Factores externos

Reuniendo bajo el término clima la totalidad de las influencias externas, distinguiremos con Tricart (1965):

- 1.- Las influencias directas, como pueden ser las debidas a fenómenos como la congelación alternando con el deshielo, el efecto de los cambios de temperatura sobre las rocas directamente expuestas a la atmósfera, las alternaciones de humedad y sequedad, la influencia de la temperatura sobre la tasa de meteorización de las rocas, etc.
- 2.- Excluyendo las zonas desérticas y las recubiertas por glaciares, la casi totalidad de la superficie del globo está recubierta de vegetación y de suelo. Es pues a través de esas dos "pantallas" como se efectúa la influencia del clima sobre la morfogénesis. (Para una discusión más amplia, véase a Tricart, 1965, 'p. 57-144). Debe aclararse sin embargo que tanto vegetación como suelo pueden ser destruidos, como se verá mas adelante.

Con la identificación - muy resumida - de los procesos anteriores, sería tentador esbozar un esquema de la evolución morfogenética de una región: confiriéndole a cada uno

de los procesos una cierta velocidad, se llegaría al cabo de cierto tiempo a una topografía correspondiente a un estado de equilibrio, dinámico pero de tipo estacionario (steadystate), caracterizado por la conservación de las formas del paisaje, que evolucionaría entonces sin sufrir mayores modificaciones.

La realidad es mas complicada. Se producen en la naturaleza, a intervalos variables, cambios que modifican en forma brusca o progresiva las condiciones ideales anteriores: las denominadas rupturas de equilibrio (Erhart, 1956).

Consideradas por la escuela tradicional de geomorfología norteamericana (Davis, 1906) como originadas principalmente por levantamientos tectónicos, las rupturas de equilibrio son consideradas hoy en día como debidas en gran parte a cambios climáticos, ocurridos principalmente durante el Cuaternario.

Hay que agregar a los anteriores los cambios, cada vez más numerosos, causados por la influencia del hombre sobre los ecosistemas. De tal manera que la tarea del geomorfólogo al estudiar una región es bastante compleja. Además de inventariar formas y depósitos, debe interpretarlos a la luz de los procesos que actúan, aún en forma esporádica; en el presente, debe además identificar lo que en el paisaje fue causado por procesos ya desaparecidos y distinguir claramente cual ha sido la influencia humana en su evolución. Finalmente, como los estudios geomorfológicos suelen hacerse con el fin de planear posibles modificaciones futuras del medio por parte del hombre, deben señalarse los límites dentro de los cuales pueden efectuarse sin que se tenga que afrontar consecuencias inaceptables, o en otras palabras definir el grado de estabilidad de un ecosistema.

Sobra agregar que la mejor manera de llevar a cabo este tipo de estudio es emprenderlo con un equipo que incluya por lo menos un ecólogo, un hidrólogo y un experto en suelos, además de un geomorfólogo.

IV. _ REGIONES ESTRUCTURALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

Una primera división en Colombia se efectúa fácilmente separando la región cordillerana del Oeste de la región Oriental caracterizada por un relieve bajo (Llanos Orientales y Cuenca Amazónica). La definición de las subdivisiones inmediatamente inferiores varía para los autores que han tratado el problema (Vergara y Velasco, 1904, in Botero, 1963; Parsons, 1949; Botero, 1963; Luna, 1969; I.G.A.C., 1969) aún dentro de los límites del Departamento de Antioquia.

Siguiendo a Tricart (1965, 1971), parece preferible para posteriores estudios geomorfológicos delimitar "regiones estructurales" las que suelen tener una superficie del orden de 10^4 Km². Las que aparecen en el cuadro 1 están basadas en Irving (1971) y se ha conservado la misma nomenclatura de este autor a excepción del término "Provincia Volcánica Terciaria", acuñado por Parsons (1949). Corresponden estas regiones, según la nomenclatura de Tricart, a divisiones de tercer orden.

Las informaciones publicadas acerca de cada una de esas regiones varían mucho. Ninguna de ellas ha sido objeto de un estudio geológico completo. Las más conocidas son la Cordillera Central (Botero, 1963; Hall y otros, 1972; Feininger y otros, 1972) y la parte norte de la Provincia Volcánica Terciaria (Grosse, 1926; Ingeominas, informes inéditos (Véase mapa N°1).

Cuenca del Magdalena medio
Cordillera Central
Provincia Volcánica terciaria
Cuenca del Magdalena inferior
Cordillera Occidental
Cinturón Móvil del Sinú
Cuenca de la Costa del Pacífico

Cuadro 1. _ Regiones Estructurales en Antioquia

V. _ LITOLOGIA

Una descripción detallada del comportamiento de cada una de las unidades litológicas ante los fenómenos superficiales está fuera del alcance de este trabajo. Además, las observaciones correspondientes son a veces escasas o inexistentes. Al emprender un estudio geomorfológico regional, será indispensable realizar una cartografía geológica detallada donde no exista.

Sólo consideraremos a continuación a algunas de las unidades más extensas:

A. - Rocas no consolidadas

- 1.- Cenizas volcánicas, probablemente holocenas, procedentes del Macizo del Ruiz (Hermelín, 1973), posiblemente producidas por varias erupciones; recubren vastas regiones de la Cordillera Central y aún de la Cuenca del Pacífico.

Son muy porosas y permeables y tienen una capacidad de retención de agua muy alta (del Valle, 1970); los suelos derivados se caracterizan, en la Cordillera Central, por la presencia en el horizonte superior de abundante materia orgánica que forma complejos muy estables que los hacen muy resistentes a la erosión por impacto de gotas de lluvia o por escorrentía. Sin embargo afectados por movimientos de masa (Khobzi, 1974).

- 2.- Aluviones, con textura y madurez mineralógica variables, cuaternarios en su mayoría, aunque según Feininger y otros (1972), pueden datar del Terciario. En la región del Oriente Antioqueño cercana a Medellín, las más antiguas están recubiertas por ceniza volcánica. Muchos ríos de la Cordillera Central excavan actualmente esos aluviones, sin encontrar mayor resistencia. Igual fenómeno ocurre en la parte baja del Río Tonusco (Cordillera Occidental). También se han observado rellenos rápidos de los cauces por material relativamente grueso causados por derrumbes producidos por sobrepastoreo en pendientes fuertes (Municipio de Salgar).

Muchos aluviones han sido revueltos y en algunos casos

prácticamente destruidos por actividades mineras que a veces han durado casi cuatro siglos.

- 3.- Depósitos coluviales: existen extensos depósitos coluviales en el Valle de Aburrá y en la región de Oriente, formados por bloques con un diámetro hasta de varios metros en una matriz arcillosa (Botero, 1963; Shlemon, 1970), derivados de anfibolita y de otras rocas. Fueron recubiertos por las cenizas volcánicas recientes aunque en la región de Medellín, éstas han sido en gran parte erosionadas.

Además de los anteriores pueden mencionarse extensos abanicos (?) en la zona de Bello. Taludes derivados de serpentinita expuestos en la vertiente oriental del Valle de Aburrá, están cimentados por un material no calcáreo que les permite resistir cortes verticales. El inventario de este tipo de depósitos aumentará probablemente a medida que progrese el estudio geomorfológico del Departamento de Antioquia.

Los coluviones derivados del Batolito Antioqueño se discutirán en el sub-capítulo correspondiente.

Es por ahora difícil generalizar el comportamiento de los taludes, ya que por ser de edades diferentes presentan distintos grados de meteorización (Shlemon, 1970).

En algunas partes de la vertiente occidental del Valle de Aburrá y de la Quebrada La Mosca, son erosionados activamente por las quebradas.

8. - Rocas Sedimentarias

Los conglomerados y areniscas de la Formación Antioquia (Oligoceno, van der Hammen, 1958) parecen resistentes a la meteorización y erosión, así como los de la formación Combia (Mioceno (?), Grosse, 1926). Esta última se caracteriza a menudo por pendientes verticales (Provincia Volcánica Terciaria). El miembro volcánico de la Formación Combia es más susceptible a la erosión, pero está parcialmente recubierto por cenizas volcánicas recientes.

Es de esperar por parte de los shales y arcillolitas una resistencia menor a la de los sedimentos de textura más gruesa. Lo anterior parece ser confirmado por la topografía abrupta que caracteriza las regiones donde afloran sedimentos cretáceos marinos compuestos principalmente por shales (región al Sur de San Luis; Feininger y otros, 1972; región de San Félix, Departamento de Caldas).

C.—Rocas Metamórficas (Cordillera Central)

- 1.- Las anfibolitas, más por su carácter masivo que por su mineralogía, resaltan sobre las zonas donde aflora el Batolito Antioqueño (Botero, 1963). Los suelos derivados de estas rocas son arcillosos y por lo tanto bastante impermeables.
- 2.- Las cuarcitas son posiblemente las rocas que mejor resisten la acción erosiva (Cerro Patiburú, Municipio de Maceo); los suelos derivados son superficiales y pobres (Tricart, 1973).
- 3.- Los mármoles forman muchas veces montículos escarpados pues también presentan una relativa estabilidad frente a la meteorización y a la erosión (Feininger y Gómez, 1968; Feininger y otros, 1972).
- 4.- Los neises y esquistos tienen un comportamiento bastante variable según su composición mineralógica y el desarrollo de su bandeamiento o esquistosidad. La presencia de cuarzo implica la formación de suelos más arenosos y posiblemente una meteorización más profunda por la presencia de alteritas más remuneables.

D.—Rocas Igneas

- 1.- Serpentinitas. (Cordillera Central): son relativamente difíciles de meteorizar cuando no están muy fracturadas. Los productos finales son principalmente óxidos de hierro, sin

presencia de arcillas de neoformación (Hermelín y Jaramillo, en preparación), y los suelos derivados son muy pobres (Botero 1963). Los "suelos rojos" presentes en las vertientes norte y este del Valle de Aburrá pueden haberse formado en un clima diferente al actual (véase el capítulo sobre paleoclimas).

- 2.- Rocas Graníticas. El Batolito Antioqueño ha sido objeto de numerosos estudios tanto geológicos como relacionados con su geomorfología (Botero, 1942, 1963; Liégeois, 1959; Hermelín, 1965; Feininger, 1969; Hall y otros, 1972; Feininger, 1972).

Su característica mas sobresaliente es su homogeneidad petrográfica: mas del 90% del cuerpo es cuarzodiorita. La meteorización química progresa a partir de las diaclasas y puede alcanzar una profundidad hasta de 80 metros. Los suelos derivados son arcillosos, pese al contenido de cuarzo y restos de biotita alterada. La resistencia a la erosión del saprolito (término utilizado aquí para designar la roca meteorizada in situ, es decir que no ha perdido ni la textura ni la estructura originales, siendo afectada unicamente por la erosión química tal como se definió previamente), es muy baja; su alta permeabilidad lo predispone para los movimientos de masa.

La propagación de la meteorización química por las diaclasas es factor primordial en la formación de peñoles y organales (Botero, 1963), comunes en la zona.

Otras rocas graníticas: el Batolito de Sonsón, muy similar al anterior; el Batolito de Altavista (Valle de Aburrá); varios cuerpos intrusivos de la Cordillera Occidental, aún poco estudiados.

- 3.- Las "rocas verdes" (basaltos de origen submarino, Botero, 1963; porfiritas, Grosse, 1926; diabasas, Nelson, 1957) forman junto con intercalaciones de liditas, arcillas y grauvacas la mayor parte de la Cordillera Occidental. También se conocen algunos cuerpos de la Cordillera Central. Producen suelos muy arcillosos, generalmente poco profundos. La variabilidad de las rocas verdes, particularmente

en cuanto a su textura de lugar, posiblemente, a comportamientos bastante diversos frente a los fenómenos morfológicos o pedogenéticos.

- 4.- Otros grupos de rocas ígneas, como las dioritas, (Plutón de Sabanalarga, cuerpo de Amagá, dioritas de la región al este de la Falla de Otú), posiblemente presenten comportamientos peculiares. Son muy característicos los altos relieves y las fuertes pendientes asociadas con las rocas andesíticas en la Provincia Volcánica Terciaria.

VI.- PALEOCLIMAS

El estudio de los paleoclimas no se considera ya como una rama tan especializada como académica de la geomorfología. No sólo son elementos indispensables en la interpretación de la historia morfogenética de una región, sino que se ha planteado la necesidad de considerarlos en actividades mas aplicadas como el manejo de los suelos (Gaucher, 1972).

Los estudios hechos por van der Hammen y sus colaboradores en la Cordillera Oriental y en particular en la región de la Sabana de Bogotá (van der Hammen, 1973; véase también a Vuilleumier, 1971) a partir del polen fosilizado en estratos cuaternarios han evidenciado importantes fluctuaciones en la temperatura y en la pluviosidad de esa región.

Los estudios actualmente en curso en la cuenca del Magdalena inferior, también respaldados por observaciones palinológicas, (INDERENA, 1974) seguramente aportarán nuevas informaciones además de ofrecer bases mas firmes para elaborar el "Plan de Regulación Fluvial y Defensa contra las Inundaciones". Las evidencias de cambios climáticos pasados son en Antioquia indirectas.

Las antiguas terrazas del Río Medellín y del Río Negro y afluentes fueron interpretadas por Botero (1963) y Shlemon (1970) como debidas a cambios de humedad, hipótesis aparentemente confirmada por estudios mas detallados (Hermelín y Durando, 1975).

Los depósitos de "talud" que recubren buena parte de las vertientes del Valle de Aburrá y de La Mosca, fueron emplazados, según Shlemon (1970) por la influencia de terremotos bajo climas similares a los actuales. Tal vez sea necesario revisar esta hipótesis cuando se tengan mas observaciones detalladas que deberán incluir además los conos aluviales de la zona de Bello, Copacabana y los del Cerro El Volador.

Otros interrogantes se plantean en cuanto a la génesis de las lateritas derivadas de las serpentinitas, acerca de los tors y escarpes que rematan muchas de las vertientes del Valle de Aburrá, así como acerca de las estrías y depósitos de origen posiblemente glacial (Ochoa, 1973 ; Juan de la Cruz Posada, in Schaufelberger, 1944) de la zona de Boquerón.

Por otra parte, en el páramo de Urrao, a partir de una altura de 3500 m, se encuentran evidencias indiscutibles de glaciación descritas como tales por Scheibe (1919): superficies aborregadas, estrías, till, valles en U, morrenas, lagos glaciales.

En el Oriente se observan "líneas de piedras" formadas por cantos de cuarzo de origen tanto aluvial como coluvial, que producen un manto casi continuo inmediatamente debajo de la capa de cenizas volcánicas holocenas (?). Plantean la hipótesis de un episodio climático mas seco, con una cubierta vegetal escasa, pero relativamente corto ya que la topografía conservó sus características adquiridas durante un clima húmedo.

Los bloques de anfibolita dispuestos sobre la superficie del terreno, tan comunes en varias áreas pendientes de la región de Boquerón (oeste del Valle de Aburrá) localizadas sobre los materiales de "talud", podrían explicarse por medio de la hipótesis anterior.

Hay que mencionar finalmente los nódulos de bauxita de los Llanos de Cuivá (2700 m). Han sido atribuidos (Botero 1963) a un clima cálido, lo que implica que se hayan formado antes del levantamiento de la cordillera. Esta hipótesis es aceptable, aun cuando recientes observaciones (Reynolds, 1972) demuestran la formación de este material en ambiente alpino.

La posibilidad de un levantamiento reciente del norte de la Cordillera Central recibe sin embargo un respaldo indirecto

si se considera el enorme espesor de algunos suelos enterrados bajo cenizas volcánicas u otros materiales diversos; presentan aspectos característicos de ferralitización, implicando un ambiente de formación (tropical) cálido y húmedo, y están localizados en zonas que parecen no haber sido afectadas aún por la erosión: Llanos de Cuivá, Alto de Combia (Fredonia) carretera Caldas- Amagá.

La topografía suavemente ondulada de los terrenos situados sobre el Batolito Antioqueño en la región de Oriente, que parece corresponder a un sistema morfogenético más cálido (Khobzi, 1974), también podría interpretarse a favor de un levantamiento tardío.

VII. _ PROCESOS MORFOGENETICOS ACTUALES

A. _ El marco climático

Como se mencionó anteriormente, el clima ejerce su influencia en forma directa o a través de la cubierta vegetal y del suelo cuando éstos existen. Para el Departamento de Antioquia, se cuenta con datos climáticos de diversas fuentes: Empresas Públicas de Medellín, Federación de Cafeteros, Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Una síntesis de los datos meteorológicos para la zona central del departamento se encuentra en el trabajo de Botero (1963), Guhl (1974) publicó recientemente un estudio sobre el clima en Colombia, en el cual subdivide el país en 9 regiones y en 102 subregiones, basándose en la fisiografía, el clima y la vegetación. El Departamento de Antioquia participa de 4 de estas regiones (Cordillera Central, Cordillera Occidental, Llanuras del Caribe y Costa del Pacífico) y de 28 subregiones.

Una división mas generalizada, basada en consideraciones a la vez climáticas y de vegetación es la de "Formaciones Vegetales", diseñada por Holdridge (Espinal y Montenegro, 1963; Espinal, 1964) con base en las relaciones de tres variables: temperatura, (supeditada a la altura en una región cercana al Ecuador como es la que se estudia), la precipitación y la evapotranspiración potencial. Las formaciones vegetales encontradas en el Departamento de Antioquia aparecen en el cuadro 2, con los rangos de temperatura, altura y precipitación correspondientes. (Véase también mapa No. 2).

<u>Símbolo</u>	<u>Formación Vegetal</u>	<u>Temperatura</u> °C	<u>Altura</u> en m	<u>Precipitac.</u> mm/año
bs-T	bosque seco tropical	> 24	0-1000	1000-2000
bh-T	bosque húmedo tropical	> 24	0-1100	2000-4000
bmh-T	bosque muy húmedo tropical	> 24	0-800	4000-8000
bp-T	bosque pluvial tropical	> 24	-	> 8000
bh-PM	bosque húmedo premontano	17-24	900-2100	1000-2000
bmh-PM	bosque muy húmedo premontano	" "	" "	2000-4000
bp-PM	bosque pluvial premontano	"	700-1800	> 4000
bh-MB	bosque húmedo montano bajo	12-17	1900-3000	1000-2000
bmh-MB	bosque muy húmedo montano bajo	" "	" "	2000-4000
bp-MB	bosque pluvial montano bajo	" "	" "	> 4000
bmh-M	bosque muy húmedo montano	12-6	2900-3700	1000-2000
bp-M	bosque pluvial montano	"	> 3000	> 2000
pp-SA	páramo pluvial sub-alpino	6-3		> 1000

CUADRO 2.— FORMACIONES VEGETALES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

(Según Espinal, 1964)

Desde el punto de vista geomorfológico, deben señalarse las siguientes características importantes:

- La temperatura media varía muy poco durante el transcurso del año, como es de esperar en una región tan cercana al Ecuador. La oscilación térmica diaria es variable, pero no parece ser mayor de unos 15°C (Khobzi y Usselman, 1974).
- Entre todas las formaciones vegetales inventariadas en Antioquia, solamente dos parecen presentar, durante las dos estaciones secas anuales que las caracterizan, marcadas deficiencias de agua en el suelo: el bosque seco tropical y el bosque húmedo premontano.

En la primera se presenta muy poca escorrentía, aunque su ocurrencia depende de la naturaleza del material parental de los suelos. En el bosque húmedo tropical ocurren tanto deficiencias durante las estaciones secas como escorrentía durante las húmedas.

En ninguna de las otras formaciones parece existir deficiencia de agua durante las estaciones secas. En el caso de suelos derivados de cenizas volcánicas holocenas, su alto poder de retención de agua garantiza la disponibilidad permanente de este líquido para las plantas (del Valle, 1970).

B. - Divisiones morfoclimáticas

Siguiendo a Khobzi y Usselman (1974), pueden distinguirse las siguientes divisiones:

1.- Páramos

Caracterizados, cuando la pendiente lo permite, por suelos húmferos espesos, vegetación baja y humedad prácticamente permanente. Los procesos erosivos no parecen tener una actividad significativa.

- Páramo de Urrao (o de Frontino): el mas amplio; presenta huellas glaciares bien conservadas (estrías, rocas aborregadas, valles en U). Parcialmente recubierto por una

delgada capa de cenizas volcánicas (aproximadamente 20 cm de espesor) posteriores a la glaciación.

Sería recomendable vigilar el efecto del pastoreo extensivo de los rebaños de ovejas instalados allí.

- Farallones de Citará: predominan pendientes abruptas.
- Páramo de Belmira.
- Páramo de Sonsón: probable presencia de gruesas capas de cenizas volcánicas, donde las pendientes sean moderadas.

Los dos primeros páramos contienen zonas de la formación páramo pluvial sub-alpino, mientras que los dos últimos sólo corresponden a la formación bosque pluvial montano.

2.- Las vertientes boscosas

Su límite con el páramo es a menudo difícil de establecer ya que los procesos del bosque pluvial montano no parecen diferir fundamentalmente de los de las formaciones vegetales que constituyen este sistema morfogenético:

Bosque húmedo tropical
 Bosque muy húmedo tropical
 Bosque muy húmedo premontano
 Bosque pluvial premontano
 Bosque húmedo montano bajo
 Bosque muy húmedo montano bajo
 Bosque pluvial montano bajo
 Bosque muy húmedo montano

Los procesos más comunes (Khobzi y Usselman, 1972, 1974) son los movimientos de masa y la erosión laminar por escorrentía, que ocurre aún bajo los bosques primarios si la pendiente es lo suficientemente fuerte.

La acción de los ríos es muy importante valles profundos y relativamente estrechos han sido excavados por los afluentes del Magdalena y del Cauca.

En los "altiplanos" de la Cordillera Central, aún no afectados

por la erosión ascendente de los ríos, como por ejemplo en las regiones de Santa Rosa de Osos -Llanos de Cuivá y del Oriente Antioqueño, los procesos erosivos parecen muy poco intensos, si se excluye la influencia humana.

3.- Las depresiones secas.

Dos formaciones vegetales se presentan en esos valles cordilleranos que reciben una precipitación menor que la de las regiones circundantes: bosque seco tropical y bosque húmedo premontano.

Su distribución en Antioquia es la siguiente:

- Valle del Río de Supía a Puerto Valdivia (bs-T y bh-T).
- Región de Dabeiba: idem
- Valle de Aburrá (bh-T)

El recubrimiento de la vegetación en la formación de bosque seco tropical puede ser insuficiente para evitar la erosión por escorrentía, sobre todo por parte de las primeras lluvias después de las estaciones secas. Por otra parte la pobreza de la vegetación secundaria o de los pastos tanto en esta formación como en la de bosque húmedo premontano pueden dar lugar a fenómenos acelerados de erosión por escorrentía, particularmente en pendientes fuertes.

4.- Las tierras cálidas.

Las tierras cálidas del Departamento de Antioquia corresponden a formaciones vegetales muy variadas:

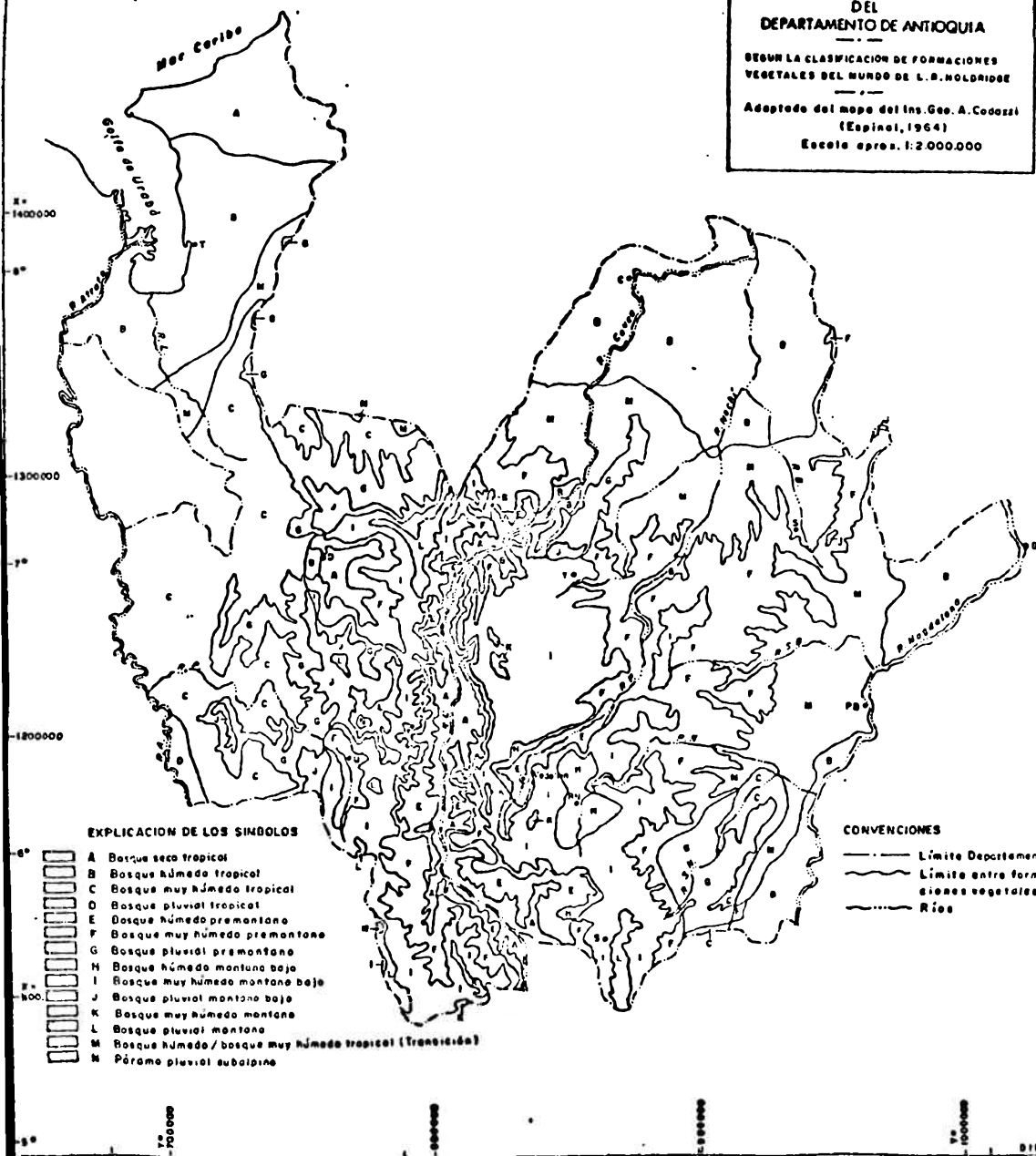
- Valle del Atrato: bosque pluvial tropical
bosque muy húmedo tropical
- Urabá: bosque muy húmedo tropical
bosque muy húmedo/bosque húmedo tropical
bosque húmedo tropical
bosque seco tropical
- Valle Medio del Magdalena: idem anterior

MAPA ECOLOGICO
DEL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

SEGUN LA CLASIFICACION DE FORMACIONES
VEGETALES DEL MUNDO DE L. B. HOLDRIDGE

Adaptado del mapa del Ins. Geo. A. Codazzi
(Espinal, 1964)

Escala aprox. 1:2 000 000



Los conocimientos sobre la geomorfología de esas regiones son muy pocos (véase Khobzi y Usselman, 1974). La deforestación intensiva de la región del Sinú ha alterado profundamente las condiciones morfogenéticas de esta región, produciendo relleno de los ríos por acumulación de material aluvial fino (Parsons, 1967).

VIII. REGIONES PRIORITARIAS

La limitación de los recursos humanos disponibles obliga a una escogencia objetiva de las regiones donde parece más urgente iniciar estudios geomorfológicos, ojalá realizados en un marco más amplio que permita una participación simultánea de ecólogos, hidrólogos, geólogos y expertos en suelos. La finalidad de esos estudios conjuntos del medio natural será la identificación de las restricciones al uso humano que ofrezcan las regiones estudiadas, así como las recomendaciones para su aprovechamiento racional.

En el territorio del Departamento de Antioquia, deben distinguirse las siguientes prioridades:

A. Regiones destinadas a la urbanización o urbanizadas

El Valle de Aburrá es una de las regiones más densamente pobladas del país; carece sin embargo de un estudio geomorfológico detallado y sistemático que tal vez hubiese podido evitar tragedias como la del Barrio Santo Domingo Savio en 1974. La Región de Rionegro y La Ceja, asiento probable de futuros núcleos urbanos importantes, también debe ser estudiada (los estudios anteriores deben de realizarse en el marco del Plan Metropolitano, en iniciación).

B. Regiones destinadas al desarrollo hidroeléctrico

Siendo ésa una vocación natural del Departamento de Antioquia, debe estudiarse la geomorfología de la cuenca de los

ríos captados o previstos para ese aprovechamiento.

Un desarrollo futuro muy importante es el del Río Cauca entre La Pintada y Puerto Valdivia. Su localización en una región de pendientes abruptas, con zonas de vegetación de dudosa eficacia protectora, la hacen propensa a una gran inestabilidad que justificaría su estudio detallado.

C.—Regiones agrícolas

El plano aluvial A (inundable) de la región de Urabá(Goosen y otros, 1960) merece un estudio geomorfológico que podría eventualmente suministrar soluciones para su posible aprovechamiento agrícola.

La mayor parte de la región con pendientes suaves de las Cordilleras están recubiertas de una o varias capas de cenizas volcánicas indicadoras de su relativa estabilidad morfogenetica. La correlación de dichas cenizas debe efectuarse. Deben asimismo estudiarse sistemáticamente como material parental de los suelos derivados.

D.—Regiones inestables

Además de las anteriormente mencionadas, debe prestarse especial atención a regiones como la vertiente oriental de la Cordillera Central, sometida a colonización relativamente reciente y que por sus fuertes pendientes está expuesta a fenómenos erosivos de gran magnitud. El municipio de San Rafael por ejemplo, está en peligro de sufrir las consecuencias destructoras de los acondicionamientos hidroeléctricos efectuados aguas arriba de su localización.

Finalmente el estudio en laboratorio de la estabilidad de cada uno de los diferentes grupos litológicos debe acometerse ya que los conocimientos que se tienen hasta ahora son fragmentos y relacionados únicamente con la erosión por escorrenta y pérdidas de nutrientes (Suárez de Castro y Rodríguez Grandas, 1962). Este estudio es particularmente importante

para las regiones urbanizadas o destinadas para ese uso.

Se espera que estas notas familiaricen al lector con los objetivos de los estudios geomorfológicos particularmente en lo que se refiere al territorio del Departamento de Antioquia.

BIBLIOGRAFIA

- BENNETT, H.H., 1939, Soil Conservation: New York, Mc Graw Hill, 993 p.
- BIRKELAND, P.W., 1974, Pedology, weathering and geomorphological research: New York, Oxford University Press, 284 p.
- BOTERO, G., 1963, Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia: Anales Fac. Minas, Medellín, No. 57, 101 p.
- DAVIS, W.M., 1899, The geographical cycle: In Geographical Essays, New York, Dover Publications, 777 p.
- DEL VALLE, I., 1970, Retención de la humedad en Andosoles de Antioquia determinada por papel de filtro: Tesis de Grado, Fac. Agronomía, Medellín, 119 p.
- DERRUAU, M., 1965, Précis de géomorphologie: París, Masson, 415 p.
- ERHART, H., 1956, La genése des sols en tant que phénomène géologique: Paris, Masson, 90 p.
- ESPINAL, L.S., 1964, Formaciones vegetales del departamento de Antioquia: Rev. Fac. Agronomía, Medellín, v. 24, No. 60, 83 p.
- ESPINAL, L.S. y MONTENEGRO, E., 1963, Formaciones vegetales de Colombia (memoria explicativa sobre el mapa ecológico) : Bogotá, Inst. Geogr. A. Codazzi, 201 p.
- FEININGER, T., 1969, Pseudo-karst on quartz-diorite, Colombia: Zeitschr. Geomorph., N.F., v. 13, p. 287-296.
- FEININGER, T., 1971, Chemical weathering and glacial erosion of crystalline rocks and the origin of till: U.S.G.S. Prof. paper 750-C, p. C 65-81.

- FEININGER, T., BARRERO, D. y CASTRO, N., 1972, Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-Zona IIB): Bol. Geol., Bogotá, v. 20, No. 2, 173 p.
- FEININGER, T. y GOMEZ, H., 1968, La Caverna del Nus, departamento de Antioquia: Bol. Geol., Bogotá, v. 16, No. 1-3, p. 97-111.
- GARNER, H.F., 1974, The origin of landscapes: New York, Oxford Univ. Press, 734 p.
- GAUCHER, G., 1972, Contribution de la géomorphologie a la prospection pédologique: Annales de Géographie, France, No. 448, p. 697-710.
- GOOSEN, D. y otros, 1962, Levantamiento general de los suelos de la región de Urabá: Inst. Geogr. A. Codazzi, Bogotá, Publ. No. L 6-2, 55 p.
- GROSSE, E., 1926, El Terciario Carbonífero de Antioquia: Berlín, D. Reiner, E. Vohsen, 361 p.
- GUHL, E., 1974, Las lluvias en el clima de los Andes Ecuatoriales húmedos en Colombia: Univ. Nal. de Colombia, C.I.D., Cuadernos Geográficos, No. 1, 82 p.
- HAMMEN, TH. VAN DER, 1958, Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos: Bol. Geol., Bogotá, v. 6, No. 1-3, p. 67-128.
- HAMMEN, TH. VAN DER, 1973, The Quaternary of Colombia. Introduction to a research project and series of publications: Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecology, v. 14, p. 1-7.
- HEINEMANN, H.G. y PIEST, R.F., 1975, Soil erosion-sediment yield: Research in Progress E O S Trans., Amer. Geophys. Union, v. 56, p. 149-159.
- HERMELIN, M., 1973, Depósitos y actividad volcánica cuaternarios en el Norte de la Cordillera Central. Revisión de literatura: Suelos Ecuatoriales (Soc. Col. Ciencias del Suelo), v. 5, No. 1, p. 43-60

- HERMELIN, M. y DURANGO, J., 1975, Quaternary alluvial deposits in the Río Negro area (Antioquia-Colombia): Abstracts International Symposium on Quaternary, Curitiba, Brasil, (En prensa).
- HERMELIN, M. y JARAMILLO, J.M., 1975, Estudio sobre los productos de la meteorización de las serpentinitas de la región central de Antioquia (En preparación).
- INDERENA, 1974, Proyecto. Cuenca Magdalena-Cauca: Convenio Colombo-Holandés, Programa Palinología y Geomorfología, Informe de avance (Manuscrito), 13 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO A. CODAZZI, 1969, Monografía del Departamento de Antioquia: Bogotá, 94 p.
- IRVING, E.M., 1971, La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia: Bol. Geol., Bogotá, v. 19, No. 2, 89 p.
- KHOBZI, J. y USSELMANN, P., 1973, Problemes de géomorphologie en Colombie: Rev. Geogr. Phys. Géol. Dyn., v. 15, No. 1-2, p. 193-206.
- KHOBZI, J. y USSELMANN, P., 1974, Problemas de geomorfología en Colombia: Bull. Inst. Fr. Et. And., Lima, v. 3, No. 4, p. 59-86.
- LIEGEOIS, P.G., 1959, Structure et morphologie de la Cordillère Centrale des Andes: Bull. Soc. Belge, v. 67, No. 3, p. 530-569.
- LUNA, C., 1969, A pedological study of soils of Antioquia, Colombia, with particular reference to andosols: Tesis, Ph.D., Univ. of Utrech, Utrech, Holanda, 233 p.
- OCHOA, M.E., 1973, Glaciación en el occidente de Medellín: Tesis de grado, Fac. Minas, Medellín, 11 p.
- PARSONS, J.J., 1949, Antioqueño Colonization in Westerns Colombia: Berkeley, Univ. of California Press, 225 p.

- PARSONS, J.J., 1967, Antioquia's corridor to the sea. An historical geography of the settlement of Urabá: Ibero-Americana, No. 49, Berkeley, Univ. of California Press, 212 p.
- REYNAUD, A., 1971, Epistémologie de la Géomorphologie: Paris, Masson, 125 p.
- REYNOLDS, R.C. y JOHNSON, N. M., 1972, Chemical weathering in the temperate glacial environment of the Northern Cascade Mountains: Geoch. & Cosmoch. Acta, v. 36, p. 537-554.
- SCHAUFELBERGER, P., 1944, Apuntes geológicos y pedológicos de la zona cafetera de Colombia: Tomo 1, Manizales, Imprenta Oficial, 295 p.
- SCHEIBE, R., 1933, Geología del Sur de Antioquia: Comp. Est. Geol. Ofic. Col. (1917- 1933), Bogotá, v.1, p. 97-167.
- SHLEMON, R.J. 1970. Landslide terrane near Medellín, Colombia: Report on field work, Dept. of Geography, Univ. of California, Berkeley (Manuscrito), 76 p.
- SIMONETT, D.S., 1967, Landslide distribution and earthquakes in the Bewani and Torricelli Mountains, New Guinea, Statistical analysis: In Jennings J.N. y Mabbutt, J.A., Editors. Landform Studies from Australia and New Guinea, Canberra, Australian National University Press, 434 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F., 1956, Conservación de Suelos: Barcelona, Salvat, 298 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. y RODRIGUEZ, A., 1962, Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia: Bogotá, Federación Nacional de Cafeteros, 473 p.
- TRICART, J., 1973, Traité de Géomorphologie, Tome V. Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes: 2e édition, Paris, Masson, 345 p.
- TRICART, J., 1974, De la géomorphologie à l'étude écographique intégrée: L'Agronomie Tropicale, v. 29, No. 3-4, p. 122-132.
- TRICART, J. y CAILLEUX, A., 1965, Traité de Géomorphologie, Tome I, Introduction a la géomorphologie climatique: Paris, Sedes, 306 p.

TRICART, J.; USSELMANN, P. y LECARPENTIER, C., 1968, Etudes préliminaires pour l'aménagement du bassin du Río Lebrija (Colombia) : Rev. Geográfica, Río de Janeiro, No. 68, p.83-139.

VERGARA Y VELASCO, F.J., 1901, Nueva geografía de Colombia: Bogotá.

VUILLEUMIER, B.S., 1971, Pleistocene changes in the fauna and flora of South America: Science, v. 173, p. 771-780.