

13160
13161
AGR. 64



BOLETIN
Geomorfología
número 1

UTILIZACION DE LOS METODOS GEOMORFOLOGICOS C.G.A. TRICART EN LOS ESTUDIOS DE AGROLOGIA Y DE CLASIFICACION DE TIERRAS CON FINES DE RIEGO.

Por el Profesor
Jean Tricart

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIVISION DE AGROECONOMIA

Sección
Agrología

BOLETIN
Geomorfología
número 1

UTILIZACION DE LOS METODOS GEOMORFOLOGICOS C.G.A. TRICART EN LOS ESTUDIOS DE AGROLOGIA Y DE CLASIFICACION DE TIERRAS CON FINES DE RIEGO.

Por el Profesor
Jean Tricart

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Sección
Agrología

PROLOGO.	2
I. - CONCEPCION DE LA GEOMORFOLOGIA APLICADA DEL CENTRO DE GEOGRAFIA APLICADA. UNIVERSIDAD DE ESTRASBURGO, FRANCIA.....	4
Concepción metodológica. Experiencias ya realizadas. El mapa geomorfológico del Delta del Senegal y su utilización. Estudios de erosión. Conclusión.	
II. - INTEGRACION DE LOS ESTUDIOS GEOMORFOLOGICOS EN LOS ESTUDIOS DE FOMENTO AGRICOLA Y FORESTAL...	12
Contenido de la Geomorfología moderna. Integración de la Geomorfología en los Estudios Agro- lógicos y de Clasificación de Tierras con Fines de Riego. 1. - Preliminares o de reconocimiento. a) Características geológicas generales. b) Evolución geomorfológica general. c) Dinámica actual. 2. - Semidetallados y detallados. a) Problemas de escala. b) Estudios de la cuenca. c) Superficies regables. d) Zonas críticas.	
III. - INDICACIONES PARA INICIAR EL DESARROLLO DE ESTU- DIOS GEOMORFOLOGICOS.....	34
Aspectos geomorfológicos más importantes para la Pedolo- gía y el riego. a) Regiones de ablación. b) Regiones de acumulación. Utilización de técnicas particulares. a) Fotografías aéreas. b) Métodos de Laboratorio. Organización de los Estudios Geomorfológicos. a) Programación de los estudios geomorfológicos. b) Coordinación de los estudios geomorfológicos con los los otros.	
IV. - AGRADECIMIENTO.....	59
V. - BIBLIOGRAFIA.....	61

PROLOGO

A lo largo de 20 años de labor experimental y de intervención en la solución de problemas de interés práctico, el Dr. Jean Tricart, ha desarrollado métodos geomorfológicos que prestan valiosa ayuda a los reconocimientos pedológicos, a la prospección geológica y minera, y a la realización de inventarios hidrológicos. Asimismo, ha desarrollado métodos geomorfológicos que permiten determinar la ubicación más conveniente de acuerdo con las características y dinámica del medio, de obras que, como los desarrollos agropecuarios, las instalaciones de carácter hidráulico, las vías de comunicación y los desarrollos urbanísticos sólo ofrecerán garantías de estabilidad y funcionamiento eficiente bajo la citada condición de armonía.

Estos métodos en sus primeras fases de desarrollo sufrieron importantes modificaciones, impuestas por las características del medio ambiente en el cual se encontraron los problemas. Esta circunstancia, la de haberse desarrollado mediante la aplicación en ambientes muy distintos, hizo posible que la plasticidad sea una de sus características más importantes.

No escapará a la consideración del lector la inmensa dificultad que encierra la elaboración de un boletín de esta índole, ya que, unida a lo delicado de un resumen tan compacto, está la dificultad que entraña la explicación de fenómenos característicos de esta ciencia, en una forma tal, que al mismo tiempo quede explícita la abundante terminología específica escasamente conocida, dado lo reciente de estos métodos.

En este boletín, auspiciado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, el Dr. Tricart presenta, luego de consideraciones de carácter general, un esbozo del aporte de sus métodos a la realización de Estudios Agrológicos y de Clasificación de Tierras con Fines de Riego.

Entonces, ha sido sólo con el fin de lograr claridad en los conceptos, que siempre y cuando ha sido posible, expresa los procesos en sus aspectos más simples, sin que ello quiera decir que sea esa la forma usual de presentarse.

Pese a las dificultades expuestas, el Dr. Tricart, ha logrado presentar con una secuencia y amplitud apropiadas, el alcance del aporte de la Geomorfología, en los Estudios Agrológicos y de Clasificación de Tierras con Fines de Riego.

=====

UTILIZACION DE LOS METODOS GEOMORFOLOGICOS
C.G.A. - TRICART, EN LOS ESTUDIOS DE RIEGO

I) CONCEPCION DE LA GEOMORFOLOGIA APLICADA DEL CENTRO DE GEOGRAFIA APLICADA (UNIVERSIDAD DE ESTRASBURGO, FRANCIA).

La Geomorfología se convirtió, en Strasbourg, en una disciplina aplicada gracias a un esfuerzo de renovación de sus métodos y gracias a una cooperación bastante larga y provechosa con ingenieros encargados de problemas de riego en Africa, en Francia y en América Latina.

1º) CONCEPCION METODOLOGICA

La Geomorfología es la ciencia natural cuyo objeto específico es el conocimiento de las formas superficiales del Globo terrestre (etimológicamente: geo = tierra; morphos = forma; logos = ciencia). Por razones originadas en el aislamiento de la Geomorfología de las otras ciencias de la tierra como en la ausencia de aplicaciones prácticas, esta disciplina fué caracterizada por un retraso en su evolución. La fase puramente descriptiva, fase inicial de todas las ciencias naturales, se ha prolongado hasta pocos años. Todavía permanece una concepción tan limitada, principalmente en los EE.UU., generalmente conocida bajo el nombre de Fisiografía. La Fisiografía no intenta explicar las formas de la superficie terrestre, sino apenas definir las dentro de una clasificación rudimentaria. Para ella es suficiente hablar de una terraza fluvial o de un relieve de disección maduro o joven, sin nada más.

En frente de esta posición tradicional, se ha desarrollado, esencialmente en Europa, otra concepción de la Geomorfología, la Geomorfología Dinámica para la cual la superficie de contacto, con el sentido físico de la palabra, entre dos medios diferentes, la litósfera (costra terrestre) y la atmósfera (o la hidrósfera para el relieve subacuático). Estas superficies de contacto son el sitio de fenómenos específicos, como en física, los de ósmosis. En el caso del Globo terrestre, estos fenómenos específicos son los fenómenos

geomorfológicos, biológicos y edáficos. Las plantas están íntimamente ligadas al espacio geomorfológico: sus raíces penetran en la litósfera y sus troncos y ramas en la atmósfera. Los suelos son el resultado de la transformación de la litósfera, por la vegetación y algunos otros seres vivos de acuerdo con las condiciones climáticas y las perturbaciones ocasionadas por el hombre, todo esto dependiendo del tiempo durante el cual actuaron esos factores. Los fenómenos geomorfológicos, ecológicos y edáficos funcionan en un ambiente común y están estrechamente ligados uno al otro. La vegetación, por ejemplo, modifica las características de los fenómenos de intemperismo en la superficie de la corteza terrestre (bajo el bosque denso, las variaciones de temperatura y de humedad son menos amplias que al aire, por ejemplo). Ella influye también sobre fenómenos de primera importancia para el modelamiento del relieve, como el escurrimiento superficial (por ej.: el bosque lo disminuye). Interrelaciones complejas entre la morfogénesis (sobre la cual enfoca la geomorfología dinámica), la cobertura vegetal y la evolución de los suelos llegan a equilibrios frágiles que pueden ser fácilmente destruidos, por ejemplo, cuando se desmonta la selva para hacer cultivos, desencadenándose al mismo momento un empobrecimiento de los suelos y una erosión acelerada que destruye los restos de ellos. Los estudios orientados para conocer mejor estas interrelaciones entre Geomorfología, cobertura vegetal y suelos, constituyen la Geomorfología Climática.

Con esta concepción de la geomorfología climática que tomó su forma elaborada apenas en 1955, el conocimiento de los hechos geomorfológicos puede ser aprovechado para los estudios de edafología, de agronomía y forestales. Al contrario, la antigua concepción, insuficiente y demasiado estrecha, de la Fisiografía, no lo puede.

2º) EXPERIENCIAS YA REALIZADAS

En el momento que estábamos elaborando esta nueva concepción de la Geomorfología, sus posibilidades de aplicación práctica nos fueron reveladas gracias a un pedido, hecho en 1953, por la Dirección de Hidráulica de la entonces Africa Occidental Francesa. Después de un primer contacto y de un re-

conocimiento preliminar, fuimos encargados del estudio geomorfológico en el Delta del Río Senegal, de una superficie de 35.000 kilómetros cuadrados. La finalidad era estudiar las posibilidades de desarrollo de esta región desierta, aprovechando para el riego las aguas de la creciente anual del poderoso río. En esta ocasión, fuimos obligados a estructurar los métodos que hemos perfeccionado después. Aprovechando de unas tentativas polonesas, las cuales, sin embargo, nunca llegar a aplicaciones de este tipo, organizamos un sistema de mapeo geomorfológico. En 1954, todo el delta fué levantado a la escala de 1:50.000 y, después de unas revisiones y de unos complementos, el mapa definitivo fué terminado en febrero de 1956.

Este mapa proporcionó:

- a) La naturaleza de todas las formaciones superficiales de todas las tierras del delta, de acuerdo con su granulometría (arcilloso, limoso, arenoso, salino, con los tipos intermediarios).
- b) La naturaleza de la dinámica superficial: Por ejemplo: arenas de dunas y arenas de playa, arcillas y limos de manglares o de cubetas inundables del río, etc.).
- c) La edad de las formaciones superficiales y de las formas de relieve que ellas constituyen. Por ejemplo, eran distinguidas una duna de una cierta edad y barrancos posteriores que la entallan o la disección fluvial de una antigua playa marina, o una acción eólica retomando un dique aluvial anterior, etc. Una verdadera cinta de la evolución de cada forma fué así proporcionada.
- d) Otros complementos a los mapas topográficos, como orillas abruptas de los ríos, forma exacta de las dunas, zonas inundables cada año o sólo durante las crecidas fuertes, etc.

Con este mapa, se lograron los resultados siguientes:

-- Facilitar considerablemente el trabajo de los edafólogos que aprovecharon del conocimiento de las formaciones sobre las cuales se han formado los suelos y que encontraron indicaciones utilísimas para comprender su génesis, tales como: la indicación de la edad de las formas de relieve, co

nociendo lo cual, se puede establecer cuándo se inició la pedogénesis; la distinción entre los suelos actuales y los paleosuelos, la cual, muy importante, se facilitó considerablemente; información sobre la dinámica, la cual permitió entender mejor y delimitar más rápidamente ciertos tipos de suelos, como los solonetz y los solontchaks; los suelos arcillo-húmicos de las depresiones de decantación de agua dulce. Con estas facilidades se logró una economía del 50% en los costos del levantamiento pedológico, siendo tomado en cuenta el precio del estudio y del levantamiento geomorfológico.

-- Proporcionar a los ingenieros datos que les permitió, en ciertos casos, hacer una clasificación de las tierras para fines de riego, sin necesidad de un levantamiento pedológico. Esto fué el caso, por ejemplo, de las tierras muy salinas o sujetas a una acción intensa del viento, o el caso de dunas antiguas con paleosuelos rojizos sin fertilidad. El levantamiento pedológico detallado no fué ejecutado en tales zonas, ya que el mapa geomorfológico fué suficiente.

-- Ayudar en el establecimiento de proyectos de ingeniería. La disposición de los diques aluviales de las depresiones de decantación y de caños, fué aprovechada en la instalación de la red de canales de riego y de drenaje. El conocimiento de la naturaleza de las formaciones superficiales permitió prever dónde obtener material de préstamo para la construcción de diques. El de la dinámica fluvial fué aprovechado para la protección de ciertas instalaciones (puerto fluvial, aglomeraciones, almacenes). En el caso particular del conjunto de irrigación de Rosso (Mauretania), para el cual se ha aprovechado del mapa geomorfológico, fué posible disminuir de 10% los movimientos de tierra de las obras.

Después de esta experiencia, la Dirección de Hidráulica de la A.O.F., hasta su desaparición en 1958, utilizó sistemáticamente la geomorfología en sus estudios, principalmente, para el valle del río Senegal y para la cuenca del río Niger. Actualmente continuamos con la República del Malí, el estudio de una región de 800.000 kilómetros cuadrados de esta última cuenca, inicia

do en 1957. Mapas detallados a la escala de 1:50.000 fueron levantados para ciertas regiones donde se estudiaban proyectos particulares. Otros mapas, de reconocimiento, a la escala de 1:200.000, para el establecimiento de ante-proyectos, fueron elaborados para cerca de 50.000 Km². Estos son utilizados principalmente para proyectar obras de "pequeña hidráulica" que los campesinos efectúan ellos mismos bajo la dirección de ingenieros. En la planicie aluvial muy plana, el relieve está suficientemente indicado por las unidades geomorfológicas para que pueda ahorrarse un levantamiento topográfico especial.

En Francia, el impulso dado estos últimos años a la producción agrícola comercial para el mercado común y la realización de grandes proyectos de riego (al total 300.000 Ha. en realización), trajo como consecuencia un uso de la Geomorfología. Esta tiene dos aspectos diferentes:

En las regiones montañosas o de colinas, estudiar el origen de los materiales de arrastre. Para esto, hacemos un mapeo simplificado, sobre el cual son indicados apenas la naturaleza de los afloramientos y los procesos actuales (cárcavas, coladas de barro, deslizamientos, derribos, socavamientos de orillas, etc.). Uno de los resultados que resalta en estos mapas es que la gran mayor parte del arrastre es proporcionada por una pequeña fracción de cada cuenca. Por ejemplo, en Los Alpes no es escaso que 75% del material de arrastre proviene de apenas un 10% y aún sólo un 5% de la superficie de la cuenca. De esta manera, aparecen claramente las zonas donde trabajos de conservación pueden ser económicamente útiles. Para ellas, generalmente, hacemos estudios más detallados, en coordinación con los ingenieros, para estudiar los métodos que pueden aplicarse con más éxito. Los mapas de cuencas son generalmente a la escala de 1:50.000, los estudios detallados para protección, a 1:10.000 ó 1:5.000, y aún, en un caso, a 1:2.500. Varias obras de protección o de corrección de ríos, hechas a partir de nuestros estudios, salieron más baratas y mucho más eficientes. En el caso del R. Chassezac, una zona regada estaba sujeta, desde 150 años, a destrucciones por las crecidas y a una violenta erosión de orillas sin que obras sucesivas tuvieran éxito. Un nuevo sistema de defensa, estudiado en 1958 y realizado al inicio de 1959, ha dado plena satisfac-

ción, a pesar de que la crecida de 1959 fué una de las más violentas conocidas.

En las regiones irrigables, nuestros estudios sirven principalmente para los estudios pedológicos, agrológicos y de clasificación de tierras. Cooperamos así con las Compañías Nacionales Bas Rhone-Languedoc y Canal de Provence. Establecimos mapas geomorfológicos detallados a la escala prevista para los mapas pedológicos o, en ciertos casos, a una escala de la mitad (por ej.: 1:20.000 para un mapa pedológico a 1:10.000). La concepción básica de estos mapas es la que aplicamos para el delta del Senegal, pero con varias mejoras en el contenido y en la representación cartográfica. Para un mismo precio global (La suma de los costos del mapa geomorfológico y del mapa pedológico comparado al costo del mapa pedológico sólo levantado sin estudio geomorfológico), obtenemos, de acuerdo con los deseos de los utilizadores, o una aceleración de los estudios o una exactitud mucho más grande. Además, como un subproducto gratuito, nuestra cooperación suministra datos relativos a la erosión de los suelos e indicaciones para combatirla, a las condiciones geotécnicas (estabilidad de los terrenos para canales, tuberías, etc.).

En Venezuela, una experiencia de mapeo detallado, a la escala de 1:25.000 fué realizada en 1962 en la región de Lagunillas (Estado Mérida), como participación a un trabajo de equipo del Instituto de Geografía de la Universidad de Los Andes. Este mapa fué utilizado como base para un levantamiento de los suelos por el Ing° J.B. Castillo y para un estudio de manejo de la cuenca de la Q. Maruchi por el Ing° S. Botero. Estos dos especialistas encontraron las mismas ventajas en el mapa geomorfológico que sus colegas franceses. El mapeo pedológico, iniciado antes del mapa geomorfológico, se hizo mucho más rápido y fácil, luego que fué levantado este último. El estudio geomorfológico, también proporcionó información que permitió comprender mejor unos tipos de suelos y su ubicación, lo que ha mejorado el mapa. También de ello se extrajeron datos sobre la permeabilidad de las zonas aluviales y otros que interesen a la geotécnica. El mismo sistema de estudio y de cartografía compleja que había dado satisfacción en Africa, en Francia y en el Brasil, se adaptó perfectamente el ambiente natural tan particular de Los Andes venezolanos, ca-

racterizado por la intensidad de los fenómenos, la amplitud de los desniveles y la variedad de sus pisos climáticos. Solamente fueron necesarias unas pocas convenciones nuevas, cuya introducción era, pues, prevista en el sistema.

Por lo tanto, no hay ningún problema de adaptación de nuestros métodos a la realidad venezolana. Ellos ya fueron comprobados en condiciones muy variadas y son suficientemente flexibles.

Con esta experiencia, hemos llegado a una concepción de la Geomorfología y a métodos de estudio que satisfacen las exigencias de la práctica. Estos métodos están organizados desde hace varios años, pero los mejoramos de acuerdo con los resultados que se van obteniendo con nuevos trabajos y, así, ellos ganan en precisión y en eficiencia. Nuestro sistema es caracterizado por su plasticidad. El puede fácilmente adaptarse a condiciones muy diversas, probablemente porque lo organizamos a través de trabajos variados realizados en ambientes geográficos muy distintos. Por esta razón, lo más importante, para aplicarlo, es una comprensión metodológica íntima. No puede aplicarse de manera rígida, a partir de instrucciones detalladas y estandarizadas. El deja mucha responsabilidad y libertad al investigador, lo que permite el desarrollo de su pensamiento y de su personalidad científica. Así, él puede rendir el máximo y tomar una conciencia cada vez más aguda de los caracteres particulares de su área de trabajo,, lo que permite después una adaptación mejor de las obras de mejoramiento. Nosotros no intentamos fijar normas rígidas, que son la negación de nuestra concepción de la naturaleza, podríamos aún más decir, de acuerdo a nuestra filosofía, toda norma rígida se revela insuficientemente en ciertos casos y excesiva en otros. Para garantizarse contra las posibles insuficiencias, la tendencia normal de todo director de repartición es en estrechar las normas y exigir cada vez más datos, lo que tiene como consecuencia un aumento progresivo de los costos de estudios, que se justifican apenas para ciertos casos particulares y, en la gran mayoría de los otros, no es más que un gasto inútil. Para esta razón hemos limitado las normas fijas a los casos para los cuales ellas son verdaderamente útiles. Es el caso, por ejemplo, del sistema de convenciones de nuestras mapas, resultado de 10 años de investigaciones. Para

lo demás, preferimos dar una orientación y dejar toda libertad a cada uno para adaptarse mejor y solucionar más eficientemente los problemas particulares que él tiene que enfrentar en cada región. Esta concepción da mucha importancia al valor individual de los técnicos. Esto presenta la ventaja de facilitar el perfeccionamiento de los buenos elementos, pero aumenta el riesgo de fracaso, si se utiliza un personal insuficientemente calificado o sin responsabilidad. Como la libertad dejada a cada uno es mucho más grande que en un sistema más normalizado, de concepción más "militar", las diferencias individuales de calidad y de rendimiento son mucho más grandes. Pero, principalmente, en un país joven, que tiene que multiplicar sus cuadros técnicos, esto me parece, finalmente, una ventaja importante porque permite la selección de los mejores elementos.

En un segundo capítulo, vamos a sintetizar los principales usos de la Geomorfología en el campo de fomento agrícola. El tercer capítulo tratará de la mejor orientación a dar a estas aplicaciones.

-----O-----

II) LA INTEGRACION DE LOS ESTUDIOS GEOMORFOLOGICOS EN LOS ESTUDIOS DE DE FOMENTO AGRICOLA Y FORESTAL.

Para discutir las ventajas que puede presentar la ingregación de estudios geomorfológicos en los Estudios Agrológicos y de Clasificación de Tierras con Fines de Riego, es necesario dar más detalles sobre el contenido de la Geomorfología moderna, según nuestra concepción.

EL CONTENIDO DE LA GEOMORFOLOGIA MODERNA

Para definirlo, hay que partir de nuestra concepción de superficie de contacto entre litósfera y atmósfera. Como toda superficie de contacto, la superficie de la costra terrestre se adapta a la relación de las fuerzas antagónicas que ejercen su acción sobre ella. Debemos considerarla como siempre modificándose, tendiendo hasta un equilibrio entre estas fuerzas, las cuales, a su vez, no son nunca constantes. De un lado, la tectónica refleja la acción de las fuerzas internas del Globo. Hay regiones en las cuales estas acciones son más intensas, regiones con alta actividad tectónica o volcánica, por ejemplo, o con un clima particularmente agresivo (lluvias torrenciales muy irregulares y medias anuales bajas. En tales regiones, la dinámica geomorfológica es particularmente intensa y los cambios son importantes, en ciertos casos, aún catastróficos. Es lo que acontece por ejemplo, en los Andes venezolanos o en la Cordillera de La Costa, donde los deslizamientos y los abarrancamientos son frecuentes. Al contrario, hay otras regiones que son más estables, como por ejemplo, la Guayana, donde la tectónica actual es poco intensa y donde el relieve, por esta razón, es menos empinado, lo que disminuye la intensidad de la erosión. Uno puede distinguir, así, regiones de alto potencial geomorfológico (regiones de relieve suave, sin actividades importantes de las fuerzas internas y regiones de clima poco agresivo, bien protegidas, por ejemplo, por una cobertura vegetal densa, con yerbas abundantes y cerradas). Naturalmente, todos los grados intermedios existen.

La naturaleza de las rocas (factor litológico) tiene también un papel muy importante. Ellas influyen mucho en las morfologías, por medio de su intensidad y de sus formas. Por ejemplo, arcillas poco permeables tienen tendencia a desplazarse con movimientos de mapa, si una cobertura vegetal suficiente y una humedad suficientemente constante permiten una lenta infiltración del agua. Es el caso en la selva nublada andina. Al contrario, bajo un clima seco, con lluvias torrenciales y cortas, con cobertura vegetal escasa, endurecidas por la sequía, estas arcillas muy impermeables provocan fenómenos de escurrimiento superficial que llega, en ciertos casos, al abarrancamiento. De manera general, las rocas incoherentes son más fácilmente llevadas por la erosión. Al contrario, las rocas coherentes, si no están suficientemente quebradas por los efectos de la tectónica, deben sufrir previamente un desgaste antes que sus partículas puedan ser arrastradas. Esta fragmentación es un acto inicial que rige todo el resto. El es el resultado de procesos muy complejos en los cuales se combinan efectos químicos y mecánicos, y en muchos casos, biológicos.

En una región de rocas resistentes, la adaptación del releve a la relación de las fuerzas internas y externas se realiza más lentamente que en una región de rocas poco resistentes, como arcillas o arenas. Desequilibrios que tienen su origen en una modificación de esta relación de fuerzas pueden así permanecer algún tiempo. Estos desequilibrios son muy importantes desde el punto de vista práctico. En algunos casos, ellos son eliminados por fenómenos bruscos, catastróficos, como derrumbes o coladas de barro que afectan vertientes que ya estaban en desequilibrio potencial y que son desencadenados por acontecimientos más o menos fortuitos, como un período más lluvioso. Estos fenómenos pueden causar daños y pérdidas de vidas humanas y nosotros debemos preverlo. Geeralmente, un estudio geomorfológico cuidadoso permite delinear las zonas en desequilibrio potencial, por lo tanto, las zonas peligrosas. Pero es imposible prever cuándo el fenómeno va a desencadenarse, porque no tenemos ninguna previsión de los factores que van a hacerlo, como por ejemplo, las lluvias. En otros casos, estos desequilibrios no presentan un carác

ter grave. Son solamente formas heredadas, relictas, estables, pero con caracteres particulares. Por ejemplo, a los alrededores de Apartaderos (Estado Mérida), en Los Andes, uno puede observar restos de paleoalteraciones del tipo laterítico, a los 3.400 metros de altitud. Ellos coinciden con restos de una topografía vieja, de edad pliocénica, antiguos fondos de alveolos tropicales que se han desarrollado antes del levantamiento plio-cuaternario de Los Andes. Cuando los gneisses se alteraron así, el fondo del alveolo debía ser a una altitud inferior a 1000 metros. El alzamiento posterior es, pues, de más de 2500 metros. Estos restos, parcialmente cubiertos por morenas glaciares recientes, fueron parcialmente erosionados y troncados, pero ellos presentan una gran importancia del punto de vista pedológico: los suelos que se han formado sobre ellos son suelos de tipo podsolizado muy húmicos y muy ácidos, muy pobres porque la lixiviación tropical fué intensa. Esta alteración, característica de una topografía-relicta, proporciona así un medio particular a la pedogénesis actual.

Esta concepción general de la Geomorfología, ilustrada con unos ejemplos, permite comprender los elementos que nosotros tomamos en consideración en nuestros estudios. Estos son los siguientes:

- a) La técnica y el volcanismo, expresión de las fuerzas internas. Estos elementos son estudiados, en propiedad, por la Geología y aprovechamos de los estudios geológicos cada vez que ellos existen. Cuando ellos faltan, tenemos que hacer nosotros mismos las observaciones respectivas. Una buena base de Geología es necesaria para un geomorfólogo.
- b) Las condiciones climáticas y la cobertura vegetal. Esta última es la traducción, más o menos influida por el hombre, del clima. Pero ella tiene, para la Geomorfología, también un interés directo. Ella constituye un verdadero filtro entre la atmósfera y la superficie del suelo y modifica el clima del suelo también; ella influye mucho sobre

los procesos morfogenéticos (por ejemplo, sobre arcillas, en muchos casos, es de la vegetación que depende la formación de barrancos o los movimientos de solifluxión. Para la geomorfología, los más importantes son los aspectos fisionómicos de la vegetación: el papel como filtro de un cardonal es muy distinto del de una selva nublada o de un páramo. En cuanto al clima, las medias no son muy útiles para nosotros. Su agresividad depende mucho más de la frecuencia de ciertos valores característicos, como por ejemplo, la frecuencia de las temperaturas negativas sobre la superficie de las rocas, la frecuencia de las lluvias torrenciales, si acontecieron después de una sequía o no (por causa del agrietamiento de ciertos suelos por la de secación) etc. Nuestra concepción es más la del ecólogo que la del climatólogo.

- c) La litología, porque ella tiene una suma importancia para el desencadenamiento de los procesos morfogenéticos. Ahora bien, generalmente la litología no está indicada con precisión en los mapas geológicos que dan más el enfoque a la edad y a la posición estratigráfica de los terrenos que a sus facies, más variados frecuentemente. Para nosotros, la división mayor es entre formaciones coherentes e incoherentes, lo que tiene también una importancia práctica muy grande. Los procesos de fragmentación de las rocas son uno de los temas básicos de la Geomorfología moderna y nosotros damos mucha atención al regolito, a esta cobertura, más o menos espesa, de roca alterada o de detritos no transportados que, frecuentemente, se encuentran entre el suelo y la roca sana. En las formaciones incoherentes, la granulometría, exactamente como la textura para los suelos, en el carácter decisivo. Para investigar las propiedades de las formaciones superficiales, hacemos unas pruebas de laboratorio, como velocidad de filtración, límites de liquidez y de plasticidad, retracción, etc.

- d) Los procesos o factor dinámico, de los cuales dependen las formas.

La acumulación de detritos por los glaciares, por ejemplo, proporciona formas características, las morenas. La excavación glacial también: circos o valles en forma de U. A estos procesos, que caracterizan las formas (las definiciones geomorfológicas, son más y más genéticas, con el progreso de la ciencia), nosotros los identificamos o de manera directa, cuando funcionan actualmente, o de manera indirecta por medio de varios testimonios. El principal que utilizamos es el estudio del material en el laboratorio. Por ejemplo, sobre una vertiente, un escurrimiento difuso se traduce, en las partes altas, por un empobrecimiento de la capa superficial del suelo en partículas finas, que son más fácilmente llevadas. En la parte inferior de la vertiente, encuéntrase, naturalmente, lo contrario: una acumulación superficial de partículas finas, éstas, justamente, que faltan más arriba. Con análisis granulométricos, estudios petrográficos y mineralógicos variados, medidas de magnetismo y de radioactividad, etc., conseguimos identificar los procesos que han acumulado tal o cual material y, con un buen conocimiento del terreno, determinar con bastante precisión las zonas de donde él proviene. Por ejemplo, en una llanura de acumulación aluvial, cada vez que hay ciertas diferencias litológicas en las cuencas, podemos indicar de dónde viene el material que se ha acumulado acá o allá. Esto tiene una gran importancia para la reconstrucción de la dinámica de acumulación que, a su vez, puede explicar muchas características de microtopografía. Y como cada cuerpo aluvial tiene sus particularidades propias, determinadas por la dinámica de acumulación, esto nos da información sobre cuestiones de importancia práctica (génesis de los suelos, permeabilidad, ocurrencia de aguas subterráneas, etc.).

- e) La edad y la evolución de las formas de relieve. La distinción fun-

damental consiste en lo que existe entre las formas actuales (funcionales, que actúan en el presente) y las formas heredadas y más o menos modificadas (paleoformas que tienen tendencia a modificarse para adaptarse a las condiciones actuales, diferentes a las existentes para cuando fueron originadas). Las formas actuales interesan directamente al ingeniero civil, por ejemplo: los barrancos que proporcionan arrastre aguas arriba de una represa. Pero las formas heredadas tienen también su importancia, principalmente por medio del cuadro que ellas proporcionan a la formación de los suelos. Por ejemplo, una terraza aluvial inicia su evolución pedogenética luego que termina la acumulación intensa del arrastre. Si esta es originada por una modificación del régimen del río, durante un cierto tiempo, puede terminarse la deposición de material sin que el río se encajone. El agua subterránea, estando a pequeña profundidad, dificultará el drenaje y una evolución de tipo gley puede desencadenarse. Más tarde, el río se entalla y el drenaje mejora. La evolución del suelo es diferente y una lixiviación importante puede aparecer. En muchos casos las terrazas fluviales están ligadas a oscilaciones climáticas. Períodos de clima de gran agresividad proporcionan mucho arrastre que sepulta los fondos de valles. Después, períodos de agresividad menos fuerte permiten una estabilización de las vertientes, el arrastre disminuye y la energía del río es utilizada para el encajonamiento. Estos períodos son propicios a la formación de suelos más espesos y más evolucionados que los suelos de los períodos de gran agresividad, sobre las vertientes y también sobre las acumulaciones aluviales que se transforman en terrazas. En muchos casos, los suelos que se han formado después de la transformación de una llanura inundable en terrazas, han adquirido características que se modifican difícilmente después. Así, muchas terrazas evolucionan paleosuelos ligados a paleoclimas diferentes de los actuales. Naturalmente, las diferencias son generalmente, mucho más marcadas para las terrazas viejas que para las terrazas recientes. Los suelos de las primeras tuvieron más tiempo para evolucionar, pero no nos parece que sea el único factor. Nosotros pensa-

samos, y conseguimos comprobarlo en Europa, en Africa, en el Brasil y en el Perú, que las oscilaciones climáticas del Cuaternario antiguo fueron mucho más intensas que las del Cuaternario reciente. Los paleosuelos son utilizados como base estratigráfica en el estudio del Cuaternario de varios países. Por ejemplo, en el Brasil, y parece que el concepto se aplica también al pie de Los Andes venezolanos, nunca hemos observado el desarrollo de latosuelos típicos sobre terrazas de las dos últimas oscilaciones climáticas. Todos los que conocemos, aún en condiciones de clima muy favorable, como al Sur del Lago de Maracaibo, caracterizan terrazas del Cuaternario medio o antiguo. Pero, en muchos casos las formas-relictas no se han conservado sin modificaciones hasta el presente. Por ejemplo, una terraza fluvial sufre una disecación por quebradas o puede ser, al pie de las vertientes, recubierta por coluviones. Todo esto, tenemos que tomarlo en cuenta. Son elementos de la evolución geomorfológica y tenemos que dar una verdadera cinta de la evolución de la forma desde el momento que nació hasta el presente. Por lo tanto, estas quebradas cortan los paleosuelos de la terraza, estas coluviones los cubren y, así, tienen ellas todas interés práctico para el levantamiento de suelos. Y tales evoluciones las reconstruimos por medio de la identificación de los procesos a través de la confrontación de las formas observadas en el campo, y de los materiales estudiados, tanto en el campo, como en el laboratorio.

Los métodos de la Geomorfología moderna son esencialmente dinámicos, genéticos, y es esto lo que la diferencia de la Fisografía tradicional la cual es sólo descriptiva. Ellos consisten en un verdadero chequeo entre las formas estudiadas en el campo con la ayuda de los mapas y, sobretudo, de las fotografías aéreas, los procesos (incluso el potencial que revelan las pruebas mecánicas o químicas) y las formaciones superficiales, regolito y material detrítico. Por lo tanto, estas formaciones superficiales son el testimonio de

la acción de los procesos, fragmentación, ablación, transporte y acumulación. Las estudiamos cuidadosamente en el campo y en el laboratorio. Ahora bien, estas formaciones superficiales son, en muchos casos, el ambiente en el cual se forman los suelos. Su conocimiento, así, es de gran utilidad para el edafólogo. También ellas interesan mucho al ingeniero civil porque muchas obras son establecidas en ellas o sobre ellas, como canales, construcciones, carreteras, ferrocarriles. De sus características dependen las medidas a tomarse para garantizar su estabilidad al mejor costo.

Tal es el contenido de la Geomorfología moderna y nuestra concepción está basada, no solamente sobre exigencias lógicas y teóricas, sino que también fué enriquecida y controlada con muchas experiencias prácticas en las cuales nosotros aprovechamos de contactos estrechos con ingenieros. Es por esta razón que la Geomorfología, concebida como nosotros la concebimos, puede proporcionar una ayuda eficaz en muchos problemas técnicos, principalmente en el campo del fomento agrícola y forestal.

Integración de la Geomorfología en los estudios agrológicos y de clasificación de tierras.-

1º.- Estudios preliminares o de reconocimiento:

El objeto de estos estudios es hacer una discriminación entre las regiones que merecen análisis más detallados con la finalidad de una planificación y las que, en las condiciones actuales, no lo merecen. Por eso, sus exigencias son las siguientes:

-- Una realización rápida para contestar lo más pronto posible a las preguntas del poder político o administrativo.

-- Un costo bajo para no invertir cantidades importantes en trabajos que pueden no ser continuados.

-- Un diagnóstico seguro, porque un error de juicio a este nivel tiene siempre consecuencias importantes, o que sea abandonada una zona que merece inversiones, o que, al contrario, se encaminen estudios costosos en una zona sin posibilidades suficientes. La experiencia demuestra que, en este últi-

mo caso, hay generalmente una continuación peligrosa en el error y que, luego de que inversiones bastante elevadas fueron realizadas en los estudios, aparece la tendencia de construir obras para no confesar el error inicial. También, en otros casos, el reconocimiento puede orientar para un tipo de mejoramiento al cual no se pensaba inicialmente, pero que cabe mejor en las posibilidades de la región: por ejemplo, riego con aguas subterráneas en la vez de un riego con canales de derivación.

Estas características hace que los estudios preliminares o de reconocimiento sean de los más difíciles. Ellos son un trabajo de alta responsabilidad, a realizarse por especialistas de gran competencia, amplia experiencia y que tengan un juicio agudo. Para estimar rápidamente todas las posibilidades, buenas o malas, de una región; para pensar, en cierto casos, en un esquema de fomento diferente de aquél que había sido previsto, el trabajo en equipo es absolutamente necesario.

Es en este equipo donde el geomorfólogo tiene su puesto. Pero será siempre mejor cooperar con una persona no demasiado especializada y del más alto nivel científico. De todas maneras, como estos estudios no duran mucho tiempo, la diferencia de costo unitario entre un especialista común y uno del más alto nivel no influye mucho en el costo. Sin embargo, esta influencia sería mayor si el especialista de alto nivel debe venir del extranjero, lo que añade los gastos de pasaje. Pero éstos serían disminuídos, si se aprovecha de su estadía para pedirle el examen de dos o tres regiones diferentes. De todas maneras, estos gastos son ampliamente compensados por las economías que se obtendrán con un diagnóstico exacto.

El geomorfólogo, que debe tener conocimientos suficientes de otros ramos de las ciencias naturales y de Geografía Física, así como de las técnicas de riego y de planificación de cuencas, deberá llegar, lo más pronto posible, a una comprensión global de la zona, con su evolución geomorfológica, su dinámica actual y sus posibilidades. Los elementos que él tiene que establecer son:

a) Las características geológicas generales, principalmente la naturaleza de las rocas; por ejemplo: él dará la mayor atención a la posible existencia de calizas bastante espesas y puras para que existan fenómenos cársticos (cuevas, pérdidas de aguas, ríos subterráneos, etc.) En efecto, regiones cársticas exigen sistemas de planificación hidráulica muy especiales y éstos pueden ser establecidos solamente después de estudios completamente diferentes de los habituales. El enfoque debe ser dado a la circulación subterránea del agua. Si se riega por canales, mucha agua se pierde por infiltración. Por esto, solamente la irrigación por aspersión es recomendable en muchos casos. Del otro lado, un cabal conocimiento del regimen de circulación de las aguas en el carstico permite utilizarlo como almacenamiento subterráneo, sin pérdidas por evaporación, con recarga artificial aprovechando las pérdidas naturales de agua o de otras artificiales. También, mucha importancia debe ser atribuída a la condición mecánica de las rocas, en las zonas de rocas quebradas, donde infiltraciones importantes pueden ocurrir, aún en condiciones no cársticas.

Por ejemplo, en el Brasil (Estado de Bahía), fuí encargado, en 1957, de reconocer un proyecto de embalse muy importante en El Fertín (2×10^8 m²), para riego, producción de energía y regularización de caudal. En condiciones de observación muy difíciles; sospeché la existencia de calizas que fué comprobada con unos huecos. Estas capas de calizas, escondidas debajo de material detrítico de bastante buena permeabilidad (grava con matrix argilo-arenosa poco abundante), forman toda la margen izquierda del embalse previsto y están inclinadas suavemente en dirección dela divisoria. De esta manera, una fracción importante del agua almacenada se hubiera escurrido, subterráneamente, para otro cuenca y hubiera sido pérdida para el riego y la producción de energía. El rendimiento económico de la obra se tornó muy inferior a lo previsto.

En el Perú, un estudio preliminar del proyecto Olmos, hecho en agosto de 1963, nos sugirió dudas muy fuertes sobre sus posibilidades de éxito. La idea de los técnicos de la F.A.O., elaborada a partir de mapas apenas, era de sacar por medio de tñeles, el agua del sistema Chotano-Huancabamba, que

desemboca en el Marañón, para regar las pampas semiáridas de Olmos, en la llanura litoral pacífica. A partir de una presa, un primer túnel, de 26 km., debería pasar por debajo del embalse y del río, en dirección de aguas arriba. Después, otros 30 km. de túneles deberían atravesar la cordillera. Todos estos túneles estarían en rocas muy quebradas, de micaesquistos con intrusiones volcánicas atravesados con numerosas fallas. Para el túnel debajo del río, hay que prever importantísimas infiltraciones a través de los ripios aluviales y de las rocas. La construcción de un tal tunel en estas condiciones, sin que sea posible hacer ninguna derivación del río durante las obras, inevitablemente será sumamente costosa.

Un geomorfólogo con competencia geológica puede perfectamente detectar tales problemas que, después, si un estudio detallado debe hacerse, serán examinados en cooperación con el geólogo.

b) La evolución geomorfológica general de la región, de la cual depende la acumulación de formaciones detríticas, la existencia de gegolitos más o menos variados y espesos, la génesis de los suelos.

Como, en su gran mayoría, las obras de irrigación son destinadas a proporcionar agua a terrenos aluviales, la acumulación de formaciones detríticas tiene la mayor importancia. En el reconocimiento, el geomorfólogo debe apreciar su extensión, estimar sus características, de acuerdo con su origen y su génesis y su edad. Por ejemplo, conos de deyecciones oriundo de una zona granitosa o gnéisica, son, por lo general, más permeables que los que son constituidos por materiales proporcionados por micaesquistos, y naturalmente, series arenisco-arcillosas. En los primeros, las posibilidades de aguas subterráneas son frecuentemente buenas y mucho menos en los segundos. Una acumulación aluvial antigua es frecuentemente alterada en la superficie, lo que disminuye su permeabilidad. Formaciones de ríos importantes y suficientemente inclinados son, en muchos casos, más permeables que las acumulaciones de torrentes locales, menos seleccionadas. Cuando coladas de barro han cooperado intensamente en la acumulación aluvial, el material, más arcilloso, es poco permeable. Todo esto debe ser apreciado lo más rápidamente posible y con la mayor exactitud.

También, los movimientos tectónicos han influido la disposición de las capas aluviales sucesivas, principalmente al pie de Los Andes. En Los Llanos Altos de Barinas y al Sur del Lago de Maracaibo, uno puede, frecuentemente observar las capas detríticas del Pliocenio superior y del Cuaternario antiguo basculadas hacia las depresiones de hundimiento en la dirección de las cuales ellas pasan debajo de los sedimentos recientes de los ríos, cuando, al contrario, para la montaña, suben más rápidamente que los talwegues y forman terrazas más y más altas aguas arriba. Estas terrazas, cuando son muy altas, son intensamente disectadas, pero, cuando son más bajas, conservan importantes paleoalteraciones que influyen considerablemente la naturaleza de los suelos.

En la región del bajo Chama y de Caño Zancudo, al Sur del Lago de Maracaibo, los conos de deyecciones gruesos y permeables desaparecen debajo de aluviones finos, arcillosos, actuales y subactuales, que dan extensiones cenagosas. Como la inclinación del material grueso es más grande que la de los talwegues y que su permeabilidad es muy alta, estos ripios y arenas contienen una napa freática que se torna ligeramente artesiana aguas abajo. Por esta razón, si se quiere drenar las ciénagas, uno debe contar con una descarga bien superior a lo que resulta de las lluvias. Es muy útil que tales particularidades sean reconocidas lo más pronto posible para que sean tomadas en cuenta en el momento en que se discute la decisión de encaminar estudios más sistemáticos o no.

También, todo lo que el reconocimiento geomorfológico puede proporcionar a propósito de la evolución de la región, tiene utilidad para el edafólogo. Le ayudará en comprender los tipos de suelos y su repartición. Los principales grupos de paleosuelos y alteraciones deben ser puestos en evidencia y hasta donde sea posible, clasificados en una sucesión cronológica. Esta última será la base de los estudios geomorfológicos más detallados que serán realizados eventualmente y servirán para orientar el levantamiento pedológico. De todas maneras, ella es un elemento básico indispensable para el cabal conocimiento de las acumulaciones detríticas y de las terrazas, del cual no se puede separar.

c) La dinámica actual. Debemos determinar su intensidad, su naturaleza y sus posibles efectos sobre las obras cuya planificación se contempla. Este último punto es muy importante, porque, en ciertos casos, estas obras podrán funcionar con éxito sólo si se toman varias medidas para disminuir o parar ciertos fenómenos peligrosos. Las posibilidades de tales medidas y su costo deben ser tomados en consideraciones cuando se aprecia el interés de realizar o no una planificación hidráulica de la región.

El estudio de la dinámica actual debe ser orientado hacia las siguientes direcciones, que permitan al geomorfólogo proporcionar más valiosos elementos al resto del equipo:

-- Erosión de los suelos en las zonas cultivables o cultivadas, con un diagnóstico rápido de los procesos (escurrimiento difuso o concentrado, acciones eólicas, solifluxión). Será bueno intentar, cuando sea posible, correlacionar las formas de erosión observadas con los factores que las explican (naturaleza de las rocas, tipos de suelos, inclinación del terreno, tipo de vegetación).

-- Fenómenos de erosión en las cuencas cuyas aguas pueden ser aprovechadas para las represas. En el estado del reconocimiento, se tratará apenas de una evaluación muy aproximada que tendrá como objeto clasificar las zonas por grado de erosión y determinar las zonas y los procesos que proporcionan la mayor cantidad de arrastre y la naturaleza de este arrastre (fino en suspensión, arenoso, grueso). Así será planteado el problema del colmataje de las posibles represas y de las medidas de conservación y corrección que pueden ser necesarias para el aprovechamiento de las aguas.

-- Fenómenos que pueden imponer restricciones al uso de la tierra o a la ubicación de instalaciones, como zonas de inundación, fallas activas, vertientes inestables. En la etapa de reconocimiento, no se tratará de hacer de ellos un estudio completo con una cartografía detallada, pero apenas reconocer su posible existencia para atraer la atención sobre los inconvenientes que ellos pueden desencadenar.

Orientando sus actividades de estamanagera, el geomorfólogo puede proporcionar al equipo de reconocimiento una visión de un conjunto de características del medio físico que tienen su importancia para escoger una dirección de planificación hidráulica:

- Condiciones hidrológicas
- Formaciones detríticas y posibilidades de aguas subterráneas
- Algunas características que influyen los suelos
- Elementos preliminares que ayudan a esbozar una clasificación de las tierras para fines de riego (permeabilidad, pedregosidad, microtopografía)
- Origen e importancia del material de arrastre
- Condiciones geomorfológicas de carácter restrictivo (zonas inundables, saloquemiento de orillas, vertientes inestables, etc.)

En el mismo momento, él obtendrá datos que permitirán establecer, si es necesario, un programa de estudio detallado y una evaluación de su costo. En muchos casos, con un personal de alta clasificación profesional y una estadía un poco más larga completada por estudios de laboratorio más sistemáticos, será posible llegar a un grado de conocimiento de la zona poco diferente del que se obtiene generalmente en los estudios semidetallados. Es por esto que nosotros recomendamos experiencias de este tipo, para apreciar mejor el rendimiento económico de la introducción de los métodos geomorfológicos en los estudios de reconocimiento.

2º Estudios semi-detallados y detallados:

Agruparemos estos dos tipos de estudios porque los métodos utilizados son los mismos y que la única diferencia que se encuentra entre ellos al propósito de la geomorfología es el grado de detalle en efecto, los estudios geomorfológicos sistemáticos (detallados y semi-detallados, para diferenciarlos de los estudios de reconocimiento o preliminares) son siempre vertidos, como los estudios edafológicos o los de clasificación de las tierras para fines de riego, sobre un mapa. El grado de precisión escogido determina la escala de este mapeo. Nosotros, pues, siempre damos a los documentos gráficos el grado de precisión que

corresponde a la escala. Por ejemplo, para una zona afectada por una erosión intensa por las aguas con abarrancamientos:

- A la escala de 1/200.000, indicaremos los sectores afectados, de manera global, con generalización.

- A la escala de 1/50.000, podremos mapear los principales talveques dentro de las zonas de "bad-lands" y diferenciar, entre ellas, las zonas de fuerte erosión difusa.

- A la escala de 1/25.000, como en el caso de la región de Lagunitas, indicaremos el dibujo exacto de las superficies afectadas por los bad-lands con una distinción entre los bad-lands donde todo suelo ha desaparecido y aquellos donde estrechas fajas de suelos permanecen todavía sobre las divisorias sin que cada una de ellas pueda ser figurada. En las zonas de escurrimiento difuso podemos diferenciar dos grados de intensidad (suelos prácticamente erosionados y perfiles truncados).

- A una escala de 1/5.000, las mismas categorías son tomadas en consideración, pero, en el caso de los bad-lands, el dibujo de los pequeños talveques será exacto para todos los que tienen más de 10 m. de longitud y las crestas sobre las cuales un poco de suelos persiste serán también representadas exactamente cada vez que ellas tienen más de 10 m. de ancho.

Cada vez que esto es posible, por ejemplo, gracias a ampliaciones de fotografías aéreas, hacemos el borrador del levantamiento a una escala dos veces más grande que el mapa definitivo, lo que dá a esto una gran precisión, la de 1 mm. sobre el mapa ó 5 m. en el terreno para un mapa al 1/5.000, 25 m. para un mapa al 1/25.000 y 50 m. para uno al 1/50.000.

La agudeza de las observaciones de campo es así, en nuestro sistema, función de la escala escogida para el mapeo y no tenemos normas rígidas que determinen la densidad de estas observaciones o del muestreo. Nuestro método es más adaptado a las exigencias de cada caso particular

y consiste en:

- Escoger la escala de trabajo de acuerdo con: una combinación de las exigencias de los otros especialistas y el grado de precisión que ellos desean.

Las características geomorfológicas de la región que imponen un límite económico a la argumentación de la escala. Mapear una llanura aluvial de aspecto muy uniforme exige a la escala de 1/5.000 la excavación de huecos, lo que hace que, económicamente, el levantamiento geomorfológico debe acompañar el pedológico. Si el levantamiento geomorfológico se hace antes, él resulta mucho más costoso. En ciertos casos, a pesar de esto, es necesario operar así.

Por posibilidades de observación en la región. No serviría mapear a la escala de 1/5.000 un territorio cubierto de selva densa o de formaciones espinosas impenetrables si las picas previstas para la observación deben ser abiertas cada 500 m. En este caso, la escala máxima admisible es la de 1/25.000 o de 1/20.000.

- Establecer la leyenda del mapa, a partir del estudio preliminar ó de reconocimiento, de acuerdo con los deseos de los otros técnicos y las particularidades geomorfológicas de la zona. Por ejemplo, en Francia, frecuentemente, fenómenos de solifluxión han esplayado el material de las terrazas cuaternarias sobre las vertientes. Para una terraza contruida con gravas calcáreas, no hay mucho interés en delimitar exactamente hasta donde estas gravas se extienden cuando el substrato es calcáreo también. Pero al contrario, cuando este substrato es, por ejemplo, silicoso o arcilloso, esto es de suma importancia porque introduce modificaciones en la naturaleza de los suelos. Tales adaptaciones de detalle pueden ser realizadas en cada región de acuerdo con sus características propias. Pero, cada vez,

hay que avaluar las posibilidades y comparar la ventaja de estas precisiones con la cantidad suplementaria de trabajo que ellas van a exigir. Y además, las condiciones de observación imposibilitan su inclusión.

Una vez escogida la escala del mapeo y establecido el contenido de la leyenda, el trabajo de terreno se hace de tal manera que concuerde siempre con las exigencias que provienen de ambos. El grado de precisión es el indicado más arriba. Por esta razón el costo del mapeo está en proporción inversa de la escala. Aproximadamente, él se multiplica por dos cuando uno pasa del 1/50.000 para el 1/25.000 y se multiplica por 3 ó 4 cuando uno pasa del 1/25.000 para el 1/5.000. Las escalas de 1/20.000 y de 1/25.000 cuesta lo mismo. Es que el grado de precisión del 1/5.000 es tal que necesita señales muy exactas que exigen mucho tiempo para establecer y que los linderos trazados con una precisión de 5 m. son raramente lineares y hay más zonas de transición de 50 a 100 m. de ancho que deben ser mapeadas cada una. Su determinación se hace, en muchos casos, con huecos. A pesar de que estos huecos sean generalmente más rudimentarios que los de los edafólogos, ellos aumentan considerablemente el costo. Estas razones económicas hacen con que hay interés en escoger la escala la más reducida que satisfaga las exigencias prácticas. En la generalidad de los casos, se llega a una combinación de varias escalas en el estudio detallado del mismo proyecto. Por ejemplo:

La escala de 1/50.000 para la cuenca de los ríos que deben ser representados, aguas arriba de las obras. Este mapa será del tipo semi-detallado, con la finalidad de proporcionar conocimientos sobre el origen del material de arrastre y bases para los cálculos morfométricos que servirán a mejor evaluación de los caudales.

La escala de 1/25.000 a 1/20.000 para las zonas regables, este

mapa será también utilizado para el estudio edafológico de la clasificación de las tierras. Generalmente, el mejor rendimiento económico es obtenido con un mapa geomorfológico a una escala dos veces menor que la del mapa pedológico. Un mapa geomorfológico a la escala de 1/20.000 ofrece una base muy buena para un levantamiento de suelos a la escala de 1/10.000 y sale más económico que un mapeo geomorfológico a 1/10.000. Pero, tales economías pueden solamente ser realizadas por edafólogos que ya están acostumbrados a utilizar la geomorfología. En la fase inicial será más prudente, posiblemente, hacer los dos mapeos a la misma escala.

La escala de 1/5.000, en ciertos casos, aún más grande, para superficies muy reducidas y finalidades especiales. Esta escala se justifica solamente para solucionar casos particulares: protección de orillas en zonas donde ellas son especialmente importantes, sitios de represa o de boca-toma, trazado de canales en zonas críticas (por ejemplo el largo de una vertiente poco estable) y otras clases de obras de arte que deben ser ubicadas en sitios para los cuales el levantamiento general dá a pensar que pueden encontrarse unas dificultades desde el punto de vista geomorfológico. Estos mapeos de gran detalle, de alto costo, son justificados, económicamente, por las altas inversiones en las obras a las cuales ellos corresponden.

Por lo arriba expuesto, no somos partidarios de multiplicar los estudios sucesivos con varias escalas sobre el mismo espacio y nos parece mucho más económico y eficaz limitar los trabajos geomorfológicos al estudio preliminar (reconocimiento) que puede fácilmente con mapeo a pequeña escala, transformarse en un estudio semi-detallado y al estudio detallado, completado, para los sitios de obras o algunos casos especiales, por estudios muy detallados (1/5.000 y mayor).

La función de los estudios geomorfológicos detallados es la misma

que la de los estudios de reconocimiento y semi-detallados. Pero, el grado de exactitud permite su integración en los estudios definitivos, incluso los que preparan inmediatamente la construcción de las obras.

a) En la cuenca, aguas arriba, de los embalses, el mapeo del tipo semi-detallado, pero que debe realizarse solamente en el cuadro de los estudios detallados, indicará:

La textura exacta de la red hidrográfica, con todos los talwegues y la consideración de su régimen (permanente, temporal o esporádico), las zonas de escurrimiento difuso, las fuentes, etc. Estos datos proporcionarán los elementos que permiten comprender el régimen de los ríos a embalsar. Ellos son la base de los análisis morfométricos que, de acuerdo con los métodos HIRSCH-TRICART, autorizan extrapolaciones de valores de caudal del medio anual y de crecidas con medidas de aforos de poca duración (2 años por ej., o medidas discontinuas pero realizadas durante períodos de descargas características: estiaje, varios tipos de aguas altas).

La ubicación de las zonas de alta actividad geomorfológica que proporcionan grandes cantidades de arrastre, peligroso para los embalses. La extensión de cada una de ellas será indicada con bastante precisión con los procesos que funcionan: socavamiento de orillas, abarrancamiento, derribos, derrumbes, etc. Este conocimiento dinámico es indispensable para la planificación y la evaluación de costo de las medidas que pueden parar el suministro de arraste. Por ejemplo, la construcción de banquetas sobre vertientes donde hay un potencial de solifluxión es sumamente peligrosa. En efecto, estas banquetas retienen el agua y permiten su infiltración, lo que es, justamente, la condición necesaria para desencadenar la solifluxión. En ciertas partes del Norte de Marruecos, el Gobierno para luchar contra el desempleo, había hecho construir sistemas de banquetas sobre ver-

tientes interos para disminuir la erosión. Desgraciadamente, en ciertas zonas de esquistos que se alteran en arcillas, estas banquetas han provocado coladas de barro que hicieron muchas destrucciones, dañando a carreteras y a casas.

b) En la superficie regable, el mapeo del tipo detallado (1/25.000 hasta 1/10.000) proporciona bases para

La clasificación de tierras para el riego. Nuestros mapas detallados indican, en efecto, la naturaleza de los terrenos hasta profundidades de varios metros (que varían, pues, con los tipos de unidades geomorfológicas: para una terraza fluvial o para un abanico, pueden ser hasta 10 ó 20 m). Las zonas más o menos permeables son figuradas y, de los elementos geomorfológicos que acompañan el mapa, uno puede deducir si hay posibilidad o no de aguas subterráneas y, en este último caso, como las napas son alimentadas. Mapas geomorfológicos simplificados, son, en Francia, una base de los estudios hidrogeológicos y nuestros métodos son bien acogidos por la UNESCO y varios países, como Chile. El mapa geomorfológico proporciona también indicaciones sobre la pedregosidad superficial y sobre el micro-relieve, tan importante para la clasificación. Los fenómenos de erosión, otro criterio, son directa y sistemáticamente mapeados. El trabajo del especialista en clasificación es así considerablemente aliviado y, principalmente, puede ser realizado antes del mapeo pedológico a pesar de que, habitualmente, varios elementos de los cuales el necesita sean extraídos de los mapas pedológicos. Mi impresión es que, con el uso de la geomorfología, sería posible, en muchos casos, economizar el levantamiento semi-detallado de suelos, cuya principal finalidad es proporcionar datos para la clasificación de tierras.

El mapeo pedológico. Como lo hemos expuesto más arriba, el mapa geomorfológico proporciona al pedafólogo varios elementos que le ayudan

en la comprensión de la génesis de los suelos y en su mapeo.

Naturaleza petrográfica y granulometría de las formaciones superficiales, que influyen en la textura de los suelos, edad de las unidades geomorfológicas que le permiten reconocer la existencia de paleosuelos y la duración de la evolución de los suelos actuales con todas sus consecuencias para las características de todos los suelos. Dinámica, presente y anterior que ha influenciado el balance pedogenético (suelos inmaduros por causa de acumulación paulatina; suelos troncados; suelos inmaduros por causa de erosión difusa permanente etc).

De las varias experiencias conducidas en cooperación con nosotros, parece ser que, principalmente en las regiones de acumulación, los linderos de los grupos de suelos coincidan muy exactamente con linderos geomorfológicos. En muchos casos, las delimitaciones del mapa geomorfológico son reproducidos en el mapa pedológico, unas entre series de suelos, otras entre tipos, de acuerdo con la textura. Generalmente, el edafólogo llega a una división del espacio en unidades menores que las del geomorfólogo y una misma unidad geomorfológica se subdivide en dos o tres unidades pedológicas. Pero los linderos geomorfológicos, casi siempre son reproducidos sobre el mapa pedológico. Es por estas razones que el mapa geomorfológico ayuda al edafólogo y permite mejorar sus mapas o disminuir su costo. En vez de ubicar sus huecos con una densidad constante, el edafólogo entrenado en la utilización de la geomorfología aprovecha del mapa geomorfológico. Su primera preocupación debe ser controlar hasta qué punto los linderos del mapa geomorfológico se traducen en la pedología, lo que se soluciona ubicando sistemáticamente huecos en pares de ambos lados de los linderos geomorfológicos. Si el resultado es positivo, se economizan muchos otros huecos y análisis porque no es más necesario que hacer unos pocos huecos

para controlar el hecho en las partes centrales de las unidades geomorfológicas. También, los datos de los estudios geomorfológicos de laboratorio pueden ser aprovechados para simplificar los análisis pedológicos. El origen de ciertos elementos puede ser explicado. La textura es conocida, los análisis granulométricos de los geomorfólogos siendo siempre mucho más detallados que los de los edafólogos.

Las economías realizadas crecen con el tiempo, a proporción de un mejor conocimiento de la geomorfología por los edafólogos, lo que se adquiere por el medio de la práctica de campo, del trabajo de equipo y de cursos de entrenamiento especiales.

Los problemas geotécnicos. El mapeo detallado necesario en las zonas regable se transforma, para los estudios geotécnicos, en un estudio semi-detallado. Las indicaciones granulométricas en las regiones de acumulación, por ejemplo, dan a los ingenieros el conocimiento de las posibilidades de materiales de préstamo para la construcción de diques, de rellenos, etc. Las formaciones de alteración, las formaciones superficiales sobre las vertientes son útiles para evaluar las condiciones en las cuales van a hacerse cortes para canales, carreteras, construcciones diversas. También, la dinámica de las vertientes ó de los ríos proporciona una información al propósito de su estabilidad que es muy útil en la preparación de los proyectos. El mapa geomorfológico permite la detección de zonas críticas donde pueden surgir dificultades. Para estudiarlas con suficiente detalle, es necesario hacer estudios más detallados del tipo especial o superdetallado (gran-detalle).

c) En las zonas críticas, los estudios de gran-detalle, a una escala superior o igual al 1/5.000, son reservados a la solución de problemas geotécnicos. Estos mapas no son de un tipo uniformizado, y los estudios

no más. Cada vez, se procura la solución de un problema específico y hay que encontrar el camino más corto. Como los estudios de reconocimiento, estos deben ser orientados por un especialista de alto nivel que pueda determinar, lo más rápidamente posible, el tipo de ayuda que la geomorfología puede proporcionar al ingeniero y cuales son los medios para llegar al resultado. El estudio mismo será realizado por especialistas de formación muy particular, con una amplia experiencia en un ramo muy reducido: dinámica fluvial, estabilidad de vertientes, acciones eólicas, etc., que necesariamente tendrán que venir del extranjero.

El estudio geomorfológico especial es siempre basado sobre muchas investigaciones de laboratorio, como por ejemplo, pruebas de mecánica de suelos, análisis muy detallado de características petrográficas, minerales pesados, etc. En el campo, puede ser necesario colocar miras y señales y observar su movimiento durante uno o dos años. El levantamiento geomorfológico tan detallado no puede realizarse solamente con observaciones en la superficie. El deberá ser acompañado por unas prospecciones geofísicas y perforaciones para recoger muestras profundas. Estas investigaciones servirán principalmente para solucionar problemas de fundaciones, por ejemplo, para diques de embalses en zonas aluviales o de rocas alteradas o para hidrocentrales eléctricas o para sifones o túneles. En ciertos casos, el geomorfólogo cooperará con el geólogo. Pero este último es más competente en el caso de las rocas del substrato y el geomorfólogo en el de las formaciones superficiales y de los relieves sepultados por ellas, como por ejemplo, gargantas rellenas por aluviones, cursos antiguos de río cubiertos de material detrítico, etc.

III. - INDICACIONES PARA INICIAR EL DESARROLLO DE ESTUDIOS GEOMORFOLOGICOS.

A pesar de su gran variedad, los estudios geomorfológicos deben

realizarse conforme a cierta orientación. A continuación se dan algunos aspectos que conviene considerar a fin de que tales estudios sean más eficaces y su costo se mantenga reducido.

10. - Aspectos geomorfológicos más importantes para la pedología y el riego:

Algunos aspectos de la geomorfología tienen una importancia particularmente grande para los estudios de pedología y de riego. Es la razón por la cual vamos a insistir en ellos. Ahora bien, estos aspectos son las regiones donde predomina la ablación y en aquellos donde ha funcionado principalmente la acumulación.

a) Regiones de ablación.

La noción esencial es la de balance de la vertiente.

Sobre una vertiente, encontramos un sistema de procesos opuestos que rigen la evolución geomorfológica y la pedogénesis. La suma algebraica de estas acciones se traduce por el balance de la vertiente:

En la parte superior de la roca sana, encontramos procesos de meteorización que modifican las características mecánicas y químicas de la roca. Estos fenómenos son importantes esencialmente en las regiones de rocas coherentes. Ellos, en este caso, transforman la roca en una formación no coherente, el regolito. En los países tropicales, su intensidad puede ser muy grande y es función de las características químicas de la roca y de la permeabilidad. Las rocas que se descomponen más fácilmente dando formaciones de alteración, muy espesas, son las rocas granitoides (granito, gneiss, granodionitas etc). El perfil típico de alteración de los granitos se compone de varias zonas sucesivas a partir de la roca no modificada.

Zona IV con diaclases y fisuras ensanchadas, más permeable que la roca sana.

Zona III con grandes bloques, alterados en la superficie en el medio de granito podrido, bastante permeable y con estabilidad bien inferior a la de la roca sana.

Zona II del granito podrido, completamente suelto, pero que conserva su apariencia permeable y sin cohesión.

Zona I de material mezclado, que ha perdido el aspecto de la roca inicial por causa de movimientos en masa, más arcillosa que la Zona III y que pasa, a su parte superior al suelo.

De acuerdo con los tipos de rocas, los perfiles se modifican. Por ejemplo, sobre calizas se observa directamente la Zona I, de arcillas de decalcificación, sobre la Zona IV.

Estos fenómenos de alteración, que pueden ser también esencialmente mecánicos, como en el páramo donde el hielo quiebra la roca, proporcionan un material más suelto y más permeable que la roca, lo que facilita la formación del suelo. Por ejemplo, los suelos de rendzinas de Europa se desarrollan casi exclusivamente en las formaciones de detritos calcáreos que resultan de la fragmentación de la roca por el hielo cuaternario, y, en ciertos casos, actual. La formación del regolito es una verdadera fase preliminar de la pedogénesis.

En su parte superficial, el suelo, a su vez está sometido a los procesos geomorfológicos. El escurrimiento superficial difuso, por ejemplo, lleva detritos vegetales, humos y elementos minerales finos (limos y arcillas). Cuando él es bastante importante, limpia verdaderamente la parte superior del suelo e impide que ella llegue a ser muy espesa.

Así sobre una vertiente, el suelo se desarrolla por debajo a expensas del regolito el cual a su vez crece a expensas de la roca, pero simultáneamente el suelo pierde espesor en la superficie. Las relaciones de velocidad

entre estos varios fenómenos es el balance de la vertiente.

Si el escurrimiento superficial es poco intenso, la ablación laminar del suelo es poco importante. Es menos rápida que la pedogénesis y la alteración. Poco a poco, el suelo se hace más espeso y más evolucionado. Es más y más diferente de la roca-madre y con un perfil más y más característico. En efecto, cuando el escurrimiento superficial es poco intenso, la infiltración, factor de la pedogénesis, es más importante. Este tipo de evolución, desde el punto de vista pedológico, es positivo. Hay desarrollo progresivo de los suelos. El es facilitado por las rocas permeables, por una cobertura vegetal densa y protectora que restringe el escurrimiento y proporciona materias orgánicas que aceleran la pedogénesis. Una inclinación suave del terreno lo facilita también.

Si el escurrimiento superficial, al contrario, es muy intenso, poca agua se infiltra, lo que disminuye la pedogénesis. El suelo se desarrolla difícilmente y el regolito también. En la superficie, la ablación es fuerte y los estratos superiores del suelo no logran formarse; el material suelto es limpiado al formarse. En estos casos, perfiles característicos no se desarrollan. El suelo permanece poco diferente del regolito, muy pedregoso, poco evolucionado, delgado. Es lo que pasa cuando los factores facilitan el escurrimiento: fuertes pendientes, rocas impermeables que resisten a la alteración, insuficiencia de la cobertura vegetal. El potencial pedogenético es bajo.

En estas condiciones, hay unas susceptibles de modificación dentro de plazos que pueden ser bastante corto: la cobertura vegetal y el factor climático del cual depende el escurrimiento. Las oscilaciones climáticas, numerosas durante el Cuaternario, los han afectado muchas veces y, en varios países, ellas han hecho alternar períodos de pedogénesis con períodos de evolución pedogenética negativa, caracterizadas por la erosión parcial o completa de los suelos

anteriores. Estos períodos de destrucción de los suelos han provocado un remodelamiento de las vertientes; por ejemplo: con una multiplicación de los talwegues de orden uno. El estudio geomorfológico es perfectamente capaz en identificar estos cambios.

En las regiones de ablación predominante, la geomorfología debe orientarse para los puntos siguientes:

El conocimiento del equilibrio dinámico actual con la definición de los varios procesos que funcionan en el presente.

El escurrimiento difuso tiene tendencia en mantener los suelos delgados ó si el balance pedogenético es negativo, en provocar la formación de perfiles truncados. Comparaciones granulométricas de los perfiles proporciona importantes informaciones al respecto. Un suelo sometido a un escurrimiento difuso, intenso presente una proporción de elementos gruesos más grande en la capa superficial que en las capas más profundas. Estos elementos gruesos son los que el escurrimiento no consiguió llevar.

El escurrimiento concentrado tiene tendencia en cortar localmente los perfiles y en producir zanjones y cárcavas en las cuales el suelo se desarrolla mal o nó se desarrolla. Es importante observar los talwegues. Si hay un poco de suelo en el fondo de los vallecitos, la erosión no es muy intensa. Al contrario, si él presenta la roca-madre, la erosión es fuerte. En muchos casos, hay también acumulación de coluviones en estos vallecitos o al pie de las vertientes. Estos coluviones son generalmente elaborados a partir de las capas superficiales de los suelos, erosionadas. Su observación es también importante.

Los movimientos de masa, como soliflucción, reptación, afectan el suelo, y en ciertos casos, el regolito y también la roca-madre (cuando arcillosa). Ellos son lentos y su detección se hace a través de la micrografía:

ondulaciones características de la solifluxión, acumulación de suelo coluvial detrás de obstáculos para la reptación. Estos movimientos tienen el mismo resultado: voltear el suelo y destruir los perfiles o tornarlos poco diferenciados. En la parte inferior de las vertientes, producen ellos acumulaciones coluviales.

Los otros procesos de vertiente, como derribos, derrumbes, coladas de barro, interrumpen la pedogénesis la cual es reiniciada en los materiales depositados una vez que el fenómeno se ha detenido. Cuando éste es reciente, ellos proporcionan una buena oportunidad para definir la pedogénesis actual. Pero, su importancia práctica es principalmente geotécnica.

La reconstrucción de las fases sucesivas de evolución de cada vertiente con la posible alternancia de períodos de pedogénesis y de balance negativo. Estas fases producen complicaciones en la distribución de los suelos sobre la vertiente.

Cuando la resultante de la evolución geomorfológica ha sido poco tocada por la erosión, como rellenos o formas de vallecitos suaves de cabeceras, pueden conservarse restos de paleosuelo bastante antiguos, en ciertos casos truncados e incompletos o modificados por una fase de pedogénesis con características diferentes. En los vallecitos, estos paleosuelos pueden ser cortados y sepultados por coluviones más recientes alimentadas ellas mismas por la erosión de suelos. La misma evolución puede encontrarse al pie de vertiente, al contacto de una zona de acumulación, como es el caso de suelos lateríticos de la colonia Barbacoas (cerca de Barcelona).

En sitios más afectados por la erosión, puede encontrarse por ejemplo, restos de paleosuelos truncados, en algunos casos conservados a-

penas en la forma de bolsillas dentro del rególito, sobre las pequeñas lomas entre los talwegues de primer orden, y a lo largo de estos talwegues, suelos más recientes, de tipo distinto, más delgados, menos evolucionados, ciertas veces mezclados de coluviones proporcionados por los suelos más antiguos.

En sitios aún más afectados por la erosión, como las partes más empinadas de las vertientes ó algunos pies de vertientes sometidos al socavamiento del río, no hay más restos de paleosuelo, sino solamente suelos actuales delgados por causa de un balance poco favorable.

El cabal conocimiento de esta evolución geomorfológica proporciona elementos muy útiles para el mapeo de los suelos, la estimación de la erosión actual, el conocimiento de su mecanismo y datos que interesan a la geotecnia.

b) Regiones de acumulación.

Los problemas de la región de acumulaciones aluviales son distintos. El papel de geomorfólogo es definir cada uno de los cuerpos de material detrítico y esclarecer su evolución después de su edificación.

Para definir una formación detrítica, es necesario establecer los datos siguientes:

El origen del material detrítico, las zonas de procedencia y las rocas y regolitos que han proporcionado los detritos. Por ejemplo, en una depresión rellenada por abanicos coalescentes, hace falta mapear cada uno de los abanicos y mostrar las interdigitaciones entre los varios abanicos cuando ellas existen. Para esto, el geomorfólogo se guía con la combinación de las formas y del estudio del material. Haciendo estadísticas de la composición petrográfica de los ripios y de las arenas, en ciertos casos, de las arcillas, el puede mostrar, tomando precauciones (principalmente,

siempre utilizar material de las mismas dimensiones) de que hoy viene tal o cual material y reconstruir así antiguos cursos de ríos que tienen, muchas veces, una gran importancia para la naturaleza de los suelos, el drenaje y las aguas subterráneas. Por ejemplo, en la región de San Juan de Lagunillas, suelos con un cierto contenido de calcáreo caracterizan los antiguos conos de deyecciones de la Quebrada La Sucia, la única en la hoya de la cual uno puede encontrar calizas. El mapeo geomorfológico de tales conos alivia considerablemente la tarea del edafólogo.

Los procesos que actuaron para su transporte y su acumulación. Son ellos que explican las características granulométricas del material y nosotros las reconstruimos a través de la combinación de la observación del modelado topográfico y de los análisis de laboratorio. Ahora bien, estas características influyen de manera decisiva sobre la textura de los suelos y sobre la permeabilidad del subsuelo. La Geomorfología proporciona, por medio de ellas, elementos útiles para la cartografía de suelos, la clasificación de tierras para el riego, evaluación de las posibilidades de aguas subterráneas y la solución de los problemas de drenaje. De manera general, el material de coladas de barro, de torrentes de barro, de torrentes locales, de ríos se torna más permeable de acuerdo con el orden de la enumeración. Para los ríos, debe cuidarse de su régimen de la inclinación del cauce, de la naturaleza litológica de la cuenca, de las condiciones morfoclimáticas. Los casos son muy variados.

La edad de la acumulación. Esta edad permite integrar la acumulación detrítica en la evolución general de la región, lo que es sumamente importante para su mapeo y para formarse ideas de su disposición geométrica en relación con las otras capas detríticas. Una terraza más antigua puede formar un grado más alto que una terraza más reciente, pero pasar también deba

jo de ella. Es lo que se llama terrazas encajonadas. Al contrario, si la terraza más reciente es depositada directamente sobre la roca y no sobre el material entallado de una terraza más antigua, uno habla de terrazas escalonadas. Esto es de gran interés práctico porque permite prever los materiales que van a encontrarse en la profundidad, lo que importa para fundaciones de obras, drenajes o búsqueda de aguas subterráneas. La edad de una acumulación aluvial influye también sobre los tipos de suelos que existen sobre su superficie. Como por lo general, las terrazas son bastante planas y permeables, las condiciones son favorables para la pedogénesis y suelos inician su desarrollo luego que se acaba la acumulación detrítica. Frecuentemente se encuentran paleosuelos sobre las terrazas y es generalmente sobre estas unidades geomorfológicas que ellos son más extensos y característicos. Sobre terrazas bastante viejas, no hay solamente suelos, sino formaciones de alteración que pueden ser espesas. En Venezuela, en regiones húmedas, las terrazas del Cuaternario antiguo han sufrido muchas veces una lateritización y todos los ripios no silicosos son podridos sobre espesuras que llegan a los 10-15 m. Todas las características del material son así completamente modificadas, principalmente la granulometría y las propiedades geoténicas e hidrológicas.

La evolución de una formación detrítica después de su acumulación es también importante, como lo demuestra el caso de la alteración que acabamos de relatar.

La formación de una terraza es el resultado de un cambio de la dinámica del río. Durante un primer período, él acumula, generalmente por causa de una intensificación de la ablación sobre las vertientes que sepultan al fondo del valle con materiales que no consiguen en ser evacuados. Durante un segundo período, él se encajona y lleva parcialmente el material acumulado

durante la fase anterior. En el caso que esta variación de dinámica tiene su origen en una oscilación climática, uno habla de terrazas climáticas. Estas son siempre ligadas a la alternancia de un período de fuerte ablación (período de acumulación del material detrítico), con destrucción de los suelos sobre las vertientes y de un período con ablación mucho más lenta (el encajonamiento del río), que en la mayoría de los casos permite la formación de suelos sobre las terrazas bien como sobre las divisorias. Estos suelos pertenecen asimismo al grupo climático y se diferencian unos de otros por su roca-madre y su grado de evolución (incluso el drenaje). Es así siempre muy importante intentar una correlación geomorfológica de la evolución de los fondos de valles, con las terrazas y de las vertientes. Se llega así a consideraciones que permiten explicar la génesis de los suelos, y, partir de ella, sus características y su extensión.

Pero todas, las terrazas no son terrazas climáticas, a pesar de que éstas sean mucho más frecuentes. Cerca del mar, las oscilaciones del nivel marino ligadas a los fenómenos glaciares de las altas latitudes (oscilaciones glacio-eustáticas). Por ejemplo, la subida reciente del nivel marino provocada por la fusión de los glaciares de la última glaciación (glaciación urmiana en Europa Central, de la Vistula en Europa del Norte, de Wisconsin en América del Norte), llamada transgresión flandriana, fué el factor de la formación de unos rellenos litorales, generalmente finos, arcillosos o limosos, ocupados unos por manglares, otros por llanuras inundables cerca de la boca de los ríos. En muchos casos, las terrazas climáticas del interior tienen relaciones complicadas con los antiguos niveles marinos y las terrazas glacio-eustáticas de las regiones litorales. En efecto, las variaciones glacio-eustáticas del nivel marino son la consecuencia de cambios climáticos importantes en las latitudes altas y medias que, generalmente, in-

fluenciaron también la zona intertropical, pero de manera muy variada de acuerdo con las condiciones locales y hay todavía mucho más para estudiarse sobre este tema.

Una última variedad de terrazas son las terrazas tectónicas, en las cuales la acumulación fué provocada por deformaciones tectónicas. Un paroxismo tectónico desencadena, cuando bastante brusco y violento, una erosión acelerada como fué, a pequeña escala, el caso del terremoto de Chile en 1960. La terraza de Lagunillas (Edo. Mérida) tiene este origen. Después, una vez la erosión menos intensa, el río puede nuevamente encajonarse. Una terraza se formó así. Otras terrazas tectónicas pueden ser provocadas por el represamiento de un río por un bloque que se levanta y en el cual rocas duras retrasan la excavación de una garganta.

Las terrazas eustáticas y tectónicas no tienen las mismas relaciones claras con la pedogénesis que las terrazas climáticas. También, en muchos casos ellas presentan aspectos geomorfológicos distintos. Las terrazas climáticas, cuya fase de acumulación es debida a una llegada excesiva de material detrítico de las vertientes, pasan lateralmente a conos de deyecciones y a acumulaciones coluviales. Hay siempre que cuidar mucho, en su estudio, de las interdigitaciones entre el material de origen lejano y el de origen local, que pueden ser muy diferentes.

Durante el período de encajonamiento del río, las terrazas sufren unas modificaciones.

La alteración y la pedogénesis en su superficie. El encajonamiento del río provoca el material bastante permeable un descenso de napa freática que proporciona un drenaje de los suelos cada vez mejor, lo que influye sobre la pedogénesis.

La disección de la terraza por barrancos oriundos de las orillas del

río principal. Estos barrancos son sometidos a la erosión regresiva y se encajonan paulatinamente en la acumulación aluvial. Cuando el material es grueso, la erosión regresiva es más lenta y mucho tiempo puede pasar antes que ella llegue al pie de las vertientes.

La superposición al material de la terraza, de acumulaciones más recientes, al pie de las vertientes cuando la erosión regresiva no ha llegado hasta ellos. Estas acumulaciones pueden ser pequeños abanicos o coluviones, material de coladas de barro o de solifluxión, etc. y presentar diferencias importantes con el material de la terraza que el recubre. También su evolución pedológica, en muchos casos es distinta, por lo menos más reciente. Así, estos fenómenos tienen bastante importancia para el estudio de los suelos y la clasificación de tierras.

El régimen dinámico del río durante el período de encajonamiento es también importante. En algunos casos, la tendencia al encajonamiento es muy fuerte y una verdadera garganta, estrecha y con paredes empinadas, corta la acumulación aluvial. En otros casos, el río se encajona menos rápidamente y su curso varía. En estas condiciones, los socavamientos son importantes. Las orillas son más diferenciadas, con sectores socavados, abruptos y otros más suaves. El fondo del valle puede también ser más ancho. Los socavamientos presentan un interés práctico: ellos son un peligro para las instalaciones ubicadas demasiado cerca del borde de la terraza.

Tal es la orientación muy general que puede darse a los estudios geomorfológicos aplicados a los problemas de riego, en las regiones de ablación predominante y en las de acumulación predominante. Vamos a ver, luego, como pueden usarse en estos estudios de ciertas técnicas particulares.

2o. - Utilización de técnicas particulares: -

Trataremos de dos técnicas específicas: el uso de las fotografías aé-

río principal. Estos barrancos son sometidos a la erosión regresiva y se encajonan paulatinamente en la acumulación aluvial. Cuando el material es grueso, la erosión regresiva es más lenta y mucho tiempo puede pasar antes que ella llegue al pie de las vertientes.

La superposición al material de la terraza, de acumulaciones más recientes, al pie de las vertientes cuando la erosión regresiva no ha llegado hasta ellos. Estas acumulaciones pueden ser pequeños abanicos o coluviones, material de coladas de barro o de solifluxión, etc. y presentar diferencias importantes con el material de la terraza que el recubre. También su evolución pedológica, en muchos casos es distinta, por lo menos más reciente. Así, estos fenómenos tienen bastante importancia para el estudio de los suelos y la clasificación de tierras.

El régimen dinámico del río durante el período de encajonamiento es también importante. En algunos casos, la tendencia al encajonamiento es muy fuerte y una verdadera garganta, estrecha y con paredes empinadas, corta la acumulación aluvial. En otros casos, el río se encajona menos rápidamente y su curso varía. En estas condiciones, los socavamientos son importantes. Las orillas son más diferenciadas, con sectores socavados, abruptos y otros más suaves. El fondo del valle puede también ser más ancho. Los socavamientos presentan un interés práctico: ellos son un peligro para las instalaciones ubicadas demasiado cerca del borde de la terraza.

Tal es la orientación muy general que puede darse a los estudios geomorfológicos aplicados a los problemas de riego, en las regiones de ablación predominante y en las de acumulación predominante. Vamos a ver, luego, como pueden usarse en estos estudios de ciertas técnicas particulares.

2o. - Utilización de técnicas particulares: -

Trataremos de dos técnicas específicas: el uso de las fotografías aé-

reas y de los métodos de laboratorio.

a) Uso de las fotografías aéreas:

La utilización de las fotografías aéreas puede aliviar seriamente el trabajo de mapeo, y, así, disminuir sus costos. Pero debe ser realizada con mucho cuidado. Oficinas especializadas en la foto-interpretación y que trabajan únicamente sobre fotografías, sin estudio de campo, son responsables de numerosos errores. En esta especialidad se encuentra también mucha picardía y hay personas que no tienen más responsabilidad que los autores de horóscopos que pretenden indicar, con apenas la observación de fotografías aéreas, el pH de los suelos.

El trabajo de foto-interpretación es una interpretación antes de todo. Como toda interpretación, exige mucha experiencia y en numerosos casos no puede llegar a una conclusión exacta. Con las fotografías aéreas, hacemos deducciones a partir de unos índices. Por ejemplo, los suelos no aparecen sobre las fotografías y es a partir de la vegetación que se vé, que podemos hacernos una idea al propósito. Pero la ecología es muy compleja y un factor puede perfectamente compensar a otro. Por ejemplo, en la llanura donde está el aeropuerto de Barcelona, que es una llanura de acumulación fluvial cuaternaria, uno puede observar restos de antiguos canales, que datan del fin del período de acumulación. El problema para nosotros, es identificar la naturaleza del material aluvial. El aspecto de la fotografía indica que es fino, pero queremos saber si son arcillas, limos o una mezcla de arena con arcillas y limos. A lo largo de estos canales, la vegetación espontánea es más densa y más oscura. Esto podría indicar una formación más arcillosa, con mejor capacidad de retención. Pero también, estos canales forman micro-relieves con depresiones en los cuales puede permanecer un poco de humedad, lo que explicaría también la diferencia de vegetación. Entre estas dos hipótesis, no tenemos con solamente

las fotografías, ninguna posibilidad de escoger. Es en el campo que uno debe decidir. Pero allá, se ahorra bastante tiempo. Aprovechando de lo que fué observado sobre las fotografías uno puede ir directamente, por el camino más fácil, reconocer las cosas y, después de unas verificaciones, aprovechar de las fotos para determinar la extensión del fenómeno interpretado.

Felizmente, para la geomorfología, el uso de las fotografías aéreas es más directo que para la pedología o la geología. Las formas del terreno se ven directamente y es justamente por esto que las fotografías aéreas son, ahora, la base de los mapas topográficos. Varios fenómenos geomorfológicos pueden perfectamente reconocerse sobre las aerofotos sin ninguna hesitación, como los fenómenos de escurrimiento concentrado, y, a veces difuso; los conos de deyecciones, los lechos fluviales y canales, actuales y antiguos; las coladas de barro ; los derrumbes y deslizamientos, etc. En varios casos, las cosas se ven mucho mejor sobre la aerofoto que en el campo. Es el caso, por ejemplo, de los antiguos lechos y canales, siempre sobrelineados por diferencia de vegetación.

Frecuentemente, es por el medio de observaciones geomorfológicas que pueden ser realizadas directamente sobre las fotos, que uno puede proseguir a la fotointerpretación en materia de geología, de edafología o de estudio de la vegetación. Por estas razones, la aerofoto rinde mucho más y más seguro en geomorfología que en estas disciplinas y es esta una de las razones de la economía que se hace en el mapeo de suelos cuando el es vertido sobre la geomorfología. Una división racional del trabajo determina que el geomorfólogo realice la fotointerpretación para caracterizar el medio físico.

Pero como todas las buenas herramientas, la fotointerpretación debe ser utilizada con juicio. No se debe pedir demasiado a las aerofotos sin peligro de fracaso. Ellas son un complemento utilísimo del trabajo de

campo , pero no pueden y no deben reemplazarlo.

Nuestro método comprobado por 10 años de experiencia práctica en países muy variados es el siguiente:

Durante la fase preliminar del trabajo, antes de la primera salida al campo, una inspección de las fotografías aéreas es necesaria. Ella permite, con examen de pares estereoscópicas, hacerse una idea del aspecto de la región, de los problemas planteados, de las facilidades de recorrido etc.

En el campo, durante la fase de reconocimiento, es utilísimo disponer de las fotografías aéreas, de preferencia pares estereoscópicas y mosaico. Este puede ser sin controlar en este caso. La comparación sistemática de la visión directa del campo con las aerofotos permitirá adquirir una experiencia muy buena en la interpretación. Uno tendrá como objetivo determinar como tal fenómeno, tal cosa aparece sobre la aerofoto. Esto muy importante, porque de acuerdo con los tipos de vegetación lo que puede dar una aerofoto se modifica completamente. Debajo de una selva no hay ninguna esperanza observar el escurrimiento difuso, y también si la selva es densa, los talvegues de primer orden son escondidos. En una región semi-árida, estos fenómenos pueden observarse perfectamente. Pero, aún en una misma región, una serie de fotos puede rendir muy diferentemente de una otra de acuerdo con la hora de operación, la temporada, la longitud del período sin lluvias, etc. Estos factores, en efecto, influyen las sombras y los contrastes de vegetación que son siempre índices muy importantes. En ciertos casos, en Francia, mandamos a hacer dos coberturas aerofotográficas con el mismo vuelo, una con película normal, la otra con película infra-rojo. Podrán observarse a propósito de daños causados por una inundación catastrófica, hechos completamente distintos sobre las dos coberturas, lo que hace la opera-

ción más fructífera.

Al fin del período de reconocimiento, uno debe saber lo que podrá mapear a partir de las aerofotos y disponer de una clave de interpretación, que vale estrictamente para la zona y para la cobertura utilizada. Se establecerá, para cada fenómeno, un índice con referencia a la fotografía donde se observa típicamente el fenómeno.

Si los estudios permanecen al nivel de reconocimiento o semidetallado esta clave de interpretación servirá para mapear rápidamente a pequeña escala las zonas de mayor erosión, los grandes tipos geomorfológicos etc.

Si los estudios se continúan al estado detallado, esta clave será el punto de partida del mapeo. El levantamiento se hará con las fotografías en la mano. Ellas proporcionan mayores facilidades para referirse en el campo y también permiten una interpretación de las observaciones. Una vez identificada una forma en el campo uno puede utilizar la fotografía para delimitar su extensión y trazar sus linderos con unas verificaciones. Si no hay mapa, uno puede hacer los trazados directamente sobre las fotografías, con tintas especiales de colores vivos o sobre un papel de acetato puesto sobre el mosaico. Claro que en este caso hay interés en que el mosaico sea controlado si uno desea evaluaciones precisas de las superficies de los varios tipos de unidades geomorfológicas.

Así, las aerofotos deben esencialmente usarse en el campo. El geomorfólogo necesita de:

Pares estereoscópicas

Mosaico.

Un pequeño estereoscopio de bolsillo.

b). - Los métodos de Laboratorio:

La correlación permanente entre las formas de relieve, los pro-

cesos y los materiales es la base de nuestra concepción de la geomorfología que tiene cada vez más adeptos. Para nosotros, el trabajo de Laboratorio sobre muestras tiene una importancia decisiva.

Sus objetivos son los siguientes:

Proporcionar un control o criterios para la identificación de las unidades geomorfológicas observadas en el campo. El aspecto de una forma puede ser completamente modificado por acciones posteriores, lo acontece más frecuentemente para las formas más antiguas. En este caso, es apenas por el medio de las características del material que uno puede identificar la forma y hacer correctamente su mapeo.

Analizar los procesos con más precisión. Por ejemplo, los aluviones de un río presentan diferencias granulométricas muy acentuadas de acuerdo con los mecanismos de deposición. La clasificación granulométrica es distinta cuando se trata de bancos de material libremente abandonados en un canal ó de aluviones acumulados por un efecto de represamiento o de un abanico. En los diversos bancos abandonados sucesivamente durante una crecida, podemos reconstruir así fases de dinámica distinta. Esto es, generalmente, de suma importancia para el estudio de correcciones de lechos y de protección de orillas o de obras. Los mismos estudios hacense a propósito de lavas torrenciales, de coladas de barro, de morenas glaciales, de material de solifluxión, etc.

Determinar el origen del material detrítico. La comparación de la composición petrográfica con las características litológicas de las cuencas permite, en muchos casos, principalmente cuando las rocas son de fases bien diferentes, determinar las proporciones en las cuales varios ríos han cooperado con la construcción de un relleno aluvial.

Contribuir a establecer la sucesión de los varios acontecimientos geomorfológicos en una región. Por ejemplo, a través de la naturaleza petro

gráfica, se puede identificar el material transportado de una acumulación para otra. Esta última es necesariamente mas reciente. También, los tipos de alteración, caracterizadas por la desaparición o la transformación de ciertos minerales, pueden ser identificados en el laboratorio, lo que sirve para controlar las observaciones de campo y establecer correlaciones estigráficas entre varias unidades. Es uno de los métodos más seguros para clasificar los restos de terrazas en un valle donde ellas son intensamente disecadas.

Estos objetivos demuestran la importancia de los estudios de laboratorio. Pero, estos estudios son muy complejo y cada vez más costosos, porque los métodos se perfeccionan rapidamente. Entonces, es muy necesario cuidar mucho de su organización y de la coordinación entre los estudios de campo y los de laboratorio. Para lograr buenos resultados, una coordinación muy estrecha es necesaria entre el personal de campo y los especialistas de laboratorio. Generalmente hacemos participar el personal de laboratorio del conocimiento de campo. El interviene en la fase de reconocimiento o en la fase final, participando en las giras de inspección.

Cada muestra debe ser tomada con una referencia muy exacta a los problemas que se espera resolver con ella. No tomamos tantas muestras por K2., pero sí las suficientes para solucionar los problemas y es siempre mejor concentrar el muestreo sobre un espacio típico que facilita la comparación de varias muestras que dispersarlas.

3o. - La organización de los estudios geomorfológicos.

Los estudios geomorfológicos, como nosotros los concebimos, son estudios complejos y su éxito depende de su buena organización. Para lograrla, debemos tomar en consideración las exigencias internas de nuestra disciplina y las de la integración de nuestro trabajo en un conjunto más amplio, el

del equipo que estudia un proyecto de riego.

a) La programación de los estudios geomorfológicos.

Trataremos esencialmente de los estudios detallados: los problemas planteados por los estudios de reconocimiento son muchos y más sencillos y ya fueron expuestos.

La programación siguiente es a la cual hemos llegado como la más eficiente.

El reconocimiento que, cuando no hubo estudios anteriores del tipo de reconocimiento, tiene el objetivo siguiente:

Plantear los diversos problemas característicos de la región.

Esbozar un inventario de lo que será mapeado para establecer una leyenda del mapa geomorfológico, leyenda que será susceptible de unas modificaciones posteriores, pero cada modificación obliga a controlar el trabajo anterior y a modificarlo lo que es una pérdida de tiempo y de dinero. Un buen reconocimiento permite evitar estas dificultades.

Determinar los servicios que pueden prestar las aerofotos y así, el uso que puede hacerse de ellas para el mapeo. Como lo expuesto anteriormente, se llegará a la elaboración de una clave de interpretación y de definición de los fenómenos.

Establecer el programa de mapeo, de acuerdo con las facilidades materiales (abertura de picas, por ej.), y de acuerdo con la naturaleza particular de los problemas específicos. En regiones litorales, por ej., hay que dar una atención excepcional al entrelazamiento de los fenómenos terrestres y marinos, en zonas de terrazas climáticas, a la correlación entre la evolución de las vertientes y de los talwegues etc.

Solucionar los problemas básicos, como los grandes rasgos de la evolución de la región y determinar las varias etapas de la morfogénesis que se-

rán tomados en consideración para el establecimiento de la parte cronológica de la leyenda del mapa.

Esta fase de reconocimiento es una fase crítica de los trabajos. Ella orienta todo el mapeo. Es por esto que tiene ella que ser realizada por un personal de muy alta calificación que aconsejará el equipo de levantamiento. Las responsabilidades de orientación son muy grandes. Como los hemos expuesto arriba, insuficiencias en esta fase pueden obligar a hacer nuevos levantamientos costosos y pueden llegar hasta un fracaso.

El levantamiento, dedicado al establecimiento del mapa-borrador.

Este trabajo se hace en el campo pero exige una base con un mínimo de instalaciones.

El mapeo realizado con las fotografías aéreas en el campo debe ser controlado, de preferencia cada día, en la noche o en la tarde. El dibujo provisional de campo es transferido sobre un papel de acetato ubicado de manera permanente sobre el mosaico que no debe ser llevado al campo. Se debe llegar a un dibujo perfectamente claro y exacto, que pueda ser después utilizado sin ningún riesgo de errores de interpretación. Para más simplificación, no es necesario que la leyenda sea exactamente la leyenda definitiva estandarizada de nuestros mapas. Cada uno puede utilizar una leyenda provisional, con más lápices de color y menos convenciones dibujadas, pero esta leyenda debe ser perfectamente clara e indicada sobre las márgenes mismas del mapa-borrador.

En la oficina de campo, también se hace cada día, la redacción definitiva de las observaciones del día, y de vez en cuando, unas tentativas de correlación y de síntesis provisionales, pero que ayudan a esclarecer los problemas y que serán muy útiles en la fase de la redacción final.

Se utilizará también un estereoscopio de mayor precisión, por ejemplo:

con espejos, para estudiar las fotografías aéreas con más detalles antes de la redacción del mapa-borrador.

Al final del período de levantamiento, se establecerá un plan de muestreo de acuerdo con los problemas a resolver y unas giras especiales serán dedicadas a la recolección de muestras y a tomar fotografías. Si un especialista de laboratorio puede acompañar estas giras será perfecto. Se aprovechará también de estas giras para controlar y completar unos puntos flojos de los levantamientos. En algunos casos de dificultades excepcionales de acceso, naturalmente será mejor organizarse de manera que las muestras y las fotografías sean tomadas al momento del mapeo para no necesitar un regreso penoso.

El trabajo de procesamiento después del levantamiento. El rendimiento será mejor si esta fase de los estudios se realiza en un centro bien equipado donde la coordinación es más fácil entre los varios trabajos. Estos son los siguientes:

Estudio de las muestras al laboratorio. La presencia periódica del principal autor del mapeo es necesaria para discutir, proporcionar informaciones al personal de laboratorio, etc.

Redacción del informe final, que será iniciada con los capítulos para los cuales no se necesita de los resultados de laboratorio y completada después con ellos.

Dibujo definitivo de los mapas por un cartógrafo especializado. Siempre que sea posible, es necesario darle la posibilidad de un recorrido del terreno. En todos los casos, el debe disponer de las aerofotos para fines de control, y de todas las fotografías. Contactos frecuentes con el personal de mapeo son indispensables. Después, la preparación de los mapas para la impresión será realizada por un dibujante especializado.

En esta fase terminal, unas insuficiencias pueden revelarse, por ejemplo: unos elementos que fueron olvidados o trazados criticables. En estos casos, una gira de control sobre el terreno será necesaria. Ella podrá ser aprovechada para completar eventualmente el muestreo. Pero, en muchos casos, es aconsejable tratar de evitar esta última gira que retrasa considerablemente la conclusión de los estudios. Para esto es preferible un control en el campo hecho por el orientador de los estudios al final de la fase del mapeo.

Vamos a ver ahora como estas necesidades de programación interna del estudio geomorfológico pueden combinarse con el trabajo en equipo.

b) Coordinación de los estudios geomorfológicos con los otros:

Como ya hemos tratado de los estudios preliminares y de reconocimiento (p.), nosotros nos limitaremos aquí al caso de los estudios detallados.

La operación preliminar es la realización de la cobertura aerofotográfica. Esta es indispensable aún para los estudios preliminares y de reconocimiento. El trabajo directo sobre mapas, sin fotografías aéreas menos exacto aún cuando uno aprovecha de mapas al 1/25.000. Su costo es también más elevado porque los mapas no permiten ninguna interpolación y presentan siempre unas imperfecciones y errores, principalmente los que provienen de la equidistancia demasiado fuerte de las curvas de nivel, lo que obliga al geomorfólogo a controlarlas durante el mapeo. Para establecer mapas geomorfológicos a la escala de 1/25.000 sin fotografías aéreas pero con el mapa topográfico a la misma escala, uno debe contar con un costo aproximadamente doble al cual se llegaría con las aerofotos.

Al final del reconocimiento geomorfológico, una coordinación con los varios miembros del equipo es necesario. Unas giras comunes con el recorrido de las partes más típicas de la región y de las que plantean más problemas permitirá al geomorfólogo dar a sus colegas una idea de la ayuda que él les puede

prestar. De acuerdo con los anteproyectos de mejoramiento y de planificación, se adoptará la leyende del mapa geomorfológico. Los otros especialistas, principalmente los de edafología y de clasificación de tierras pueden dar más importancia a ciertos detalles o aspectos que el geomorfólogo los había descuidado aún cuando son útiles y que su mapeo puede aliviar el trabajo de los otros o hacerlo más eficiente.

Una buena organización debe permitir al geomorfólogo acabar su mapeo antes del inicio de los levantamientos edafológicos y de clasificación de tierras. En efecto, estos deben apoyarse sobre el mapa geomorfológico. Es necesario, pues prever el mapeo geomorfológico en las primeras etapas de los levantamientos. El puede combinarse con los levantamientos topográficos, cuando se hacen estos. El geomorfólogo puede así aprovechar de las picas abiertas para esta finalidad y el puede también guiar el topógrafo, el mapa geomorfológico poniendo en evidencia las líneas directrices del relieve, lo que permite disminuir la densidad de cotas y dibujar mejor las curvas. Hemos realizado en 1946-50 experiencias muy halagadoras en este campo con el Institut. Geographique National francés.

Al fin del mapeo geomorfológico, durante las giras de control o inmediatamente después, deben organizarse giras comunes del geomorfólogo con los otros miembros del equipo, principalmente el edafólogo, el agrónomo, el clasificador de tierras y el ingeniero civil que planifica las obras. Durante ellas, el mapa-borrador será presentado sobre el terreno y explicado. Cada especialista podrá así entender su concepción y ver los resultados para aplicarlos después a sus propios problemas. Esta operación puede compararse con lo que se llama en el ramo industrial, entregar una fábrica, llaves en la mano. Los varios especialistas podrían así pedir más detalles; y eventualmente, mapas de gran detalle en ciertas pequeñas zonas. Ellos podrán también indicar cuáles partes de la

región mapeada les interesan con más urgencia, lo que permitirá dibujarlas con prioridad e imprimirlas en primero.

Durante el mapeo edafológico y el de clasificación de tierras, contactos bastante permanentes con el geomorfólogo serán siempre útiles. El podrá proporcionar indicaciones susceptibles de aliviar el trabajo de los otros especialistas. El podrá también aprovechar de estos contactos para conocer mejor las exigencias de sus colegas y, en otra oportunidad, servirlos mejor. El geomorfólogo tiene mucho interés en visitar los huecos del edafólogo, para controlar su propio mapeo y recoger muestras que completarán las anteriormente recogidas y cuyo estudio realizado en coordinación con el estudio de laboratorio pedológico, permitirá correlaciones interesantes, susceptibles de facilitar el mapeo pedológico de las demás superficies, y en ciertos casos, de otras regiones.

Durante este período final, el geomorfólogo actúa como consultor de los otros especialistas para facilitar su comprensión del factor geomorfológico. Lo mismo acontece con los ingenieros civiles. En este momento, después del mapa básico, se preparan mapas especiales de gran detalle para ciertas obras. Unas visitas de un geomorfólogo orientador de gran experiencia son extremadamente útiles durante esta fase. Ellas permiten unas verificaciones y un aprovechamiento máximo de los datos geomorfológicos.

Una buena organización de los estudios geomorfológicos utiliza, pues, tres tipos de personal:

Uno, orientar, que tiene la responsabilidad científica de los estudios y que participa a las discusiones al nivel técnico más alto cuando la geomorfología puede intervenir. Estos especialistas son muy escasos. Pero su presencia no debe ser permanente. Su intervención es particularmente necesaria en: el momento inicial, para organizar el trabajo.

El estudio inicial para encaminar el trabajo.

Al final del mapeo para el control y los contactos con los otros especialistas.

Después del mapeo general, para unas consultas especiales.

Un personal de geomorfólogos especializados en el mapeo, con prácticas de campo, y cuando se puede, una cierta formación básica en pedología, que les permite mantener el contacto con los otros especialistas. Este tipo de personal, lo forma el Centre de Geographie Appliquée, con el nivel del doctorado. Ingenieros Agrónomos pueden recibir allá una formación complementaria, lo que les permitiría hacer un "puente" entre los geomorfólogos y los agrónomos y edafólogos.

Un personal de ayudantes de campo con la proporción de uno para cada geomorfólogo. Estos ayudantes los tomamos al nivel de la licenciatura. Ellos acompañan al geomorfólogo y aumentan su rendimiento haciendo unas observaciones complementarias, debidamente controladas o sencillas, sin riesgos de errores. Ellos ayudan también en la redacción del mapa-borrador y de las notas de campo, etc. Así, ellos mejoran su entrenamiento profesional y pueden llegar con estudios complementarios a ser geomorfólogos.

CONCLUSION.

Es bien claro que la introducción de métodos geomorfológicos no puede rendir en su primera aplicación todos los beneficios que ella trae, por dos razones:

Como toda ciencia de la naturaleza, la geomorfología es vertida en gran parte sobre la experiencia y el juicio observador. Por lo tanto, un geomorfólogo tiene siempre que acostumbrarse a un nuevo campo de trabajo. Es por esto que la orientación de un especialista de alto nivel es necesaria en las fases preliminares de los trabajos. Ella ahorra muchos engaños y muchas

vacilaciones.

La evolución reciente muy rápida de la Geomorfología (nosotros tendríamos tendencia en hablar de "revolución"), hace con que los especialistas de las otras disciplinas y los ingenieros no están generalmente al corriente de su orientación y de sus posibilidades. Es necesario que ellos se familiaricen, por la experiencia, con ella para aprovecharla plenamente.

Nuestro deseo sincero es ayudar en esta evolución, que pensamos provechosa y capaz aumentar en Venezuela, como en otros países, el rendimiento de las inversiones puestas en la extensión del riego.

AGEDECIMIENTO

Es un agradable deber para nosotros agradecer al Ing. Agr. Servando Bastardo García la simpatía y la ayuda que nos ha demostrado.

Durante el Seminario sobre la Planificación de Cuencas Hidrográficas organizado en Mérida en setiembre-octubre de 1962, se entusiasmo por los métodos geomorfológicos, e inició lecturas para continuar su formación en esta disciplina, y ha estudiado con una atención y un interés que nos **ha tocado profundamente**, nuestro pequeño libro "L' Epiderme de la Terre".

A propósito del estudio agrológico del Valle de Orituco, gracias a la amplitud de espíritu de la Dirección de Obras Hidráulicas, él se lanzó con coraje en un trabajo-piloto, apoyado sobre el uso de las concepciones y de los métodos geomorfológicos.

En cuanto se refiere al presente Boletín, nos ayudó a darle una forma correcta y en hacerlo más adecuado.

Gracias a su intervención, yo he tenido la magnífica oportunidad,

durante la misión de cooperación técnica otorgada por el Ministère des Affaires Etrangères de la République Française, dedicarme, convidado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, a una tarea de divulgación de los métodos nuevos de aplicación de la Geomorfología a los problemas de riego, que fueron organizados en la Universidad de Strasbourg bajo mi dirección durante los últimos años. Mi más sincero deseo es que nuestra labor sirva a Venezuela y ayude sus técnicos de valor a realizar obras de las cuales el país que gentilmente me ha convidado necesita urgentemente.

Caracas, 2 de octubre de 1963

Prof. J. TRICART,
Director del Centre de Géographie Appliquée
(Université de Strasbourg)
Presidente del Comité de Geomorfología
Aplicada de la U. G. I. UNESCO
Colaborador Principal al Servicio del Mapa
Geológico de Francia.

BIBLIOGRAFIA

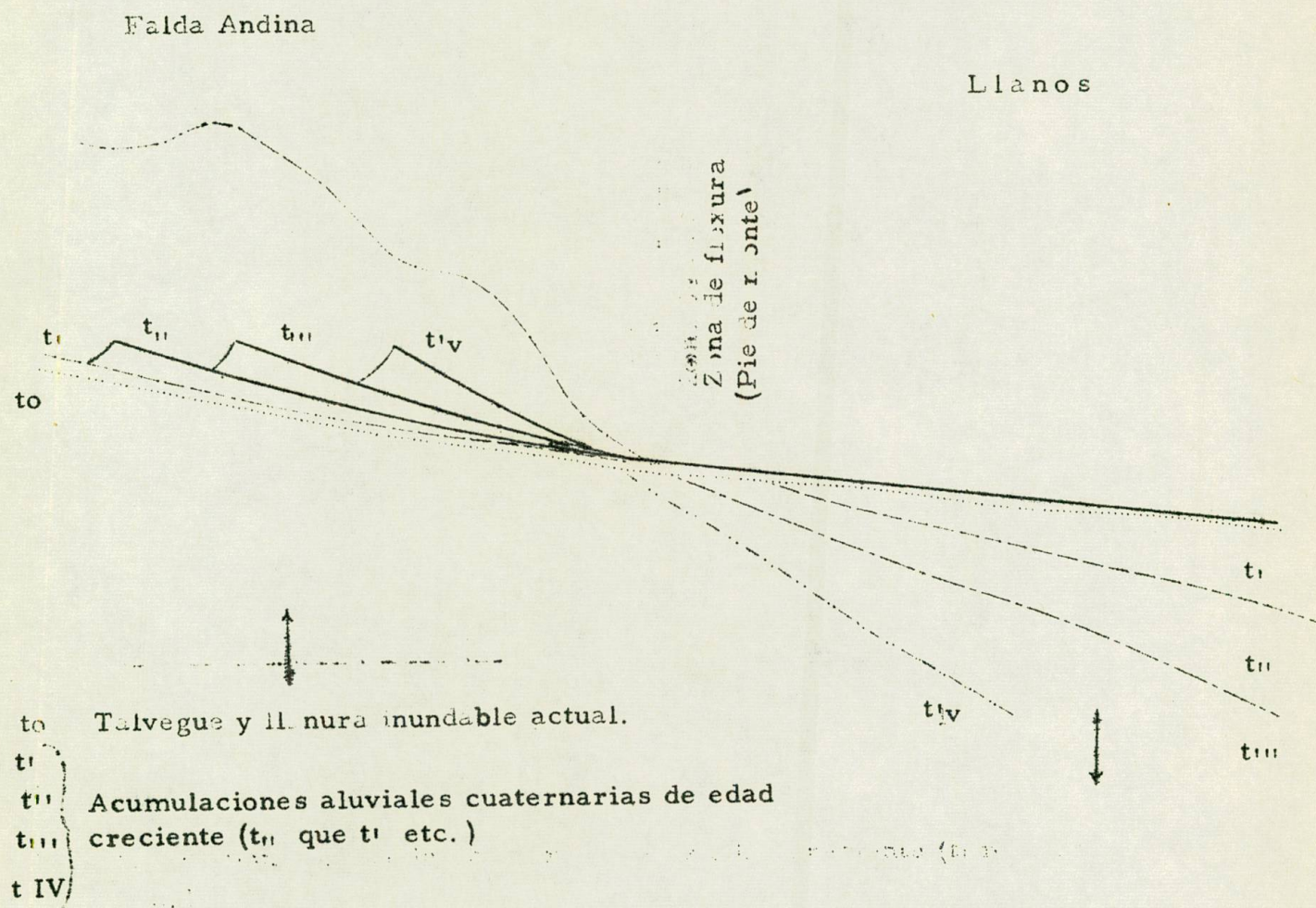
Notice explicative de la carte géomorphologique du Delta du Sénégal, travail effectué sous la direction de J. TRICART, du E. R. G. M., No. 10, 1961, Ed. Technip 137 p., 21 fig. 3 cartes géom. en couleurs h. t.; au 1/100.000.

TRICART (J), 1960: Etude géomorphologique du projet d'aménagement du Lac Faguibine (texte bilingue, français et anglais). Sols Africains, V. No. 3, p. 207-289, 1 carte h. t. au 1/75.000.

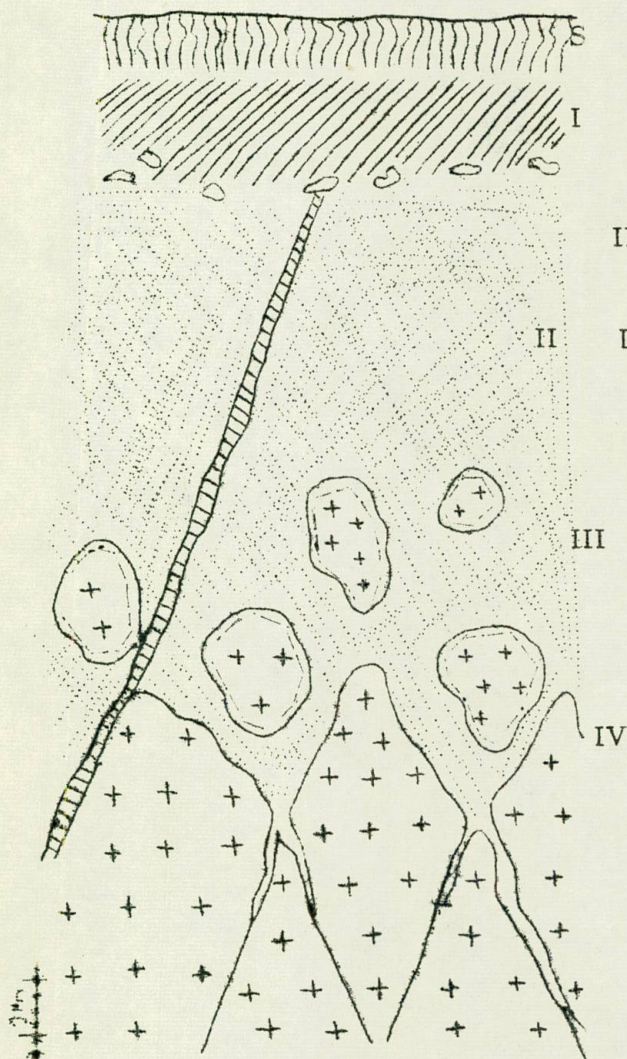
TRICART (J), 1962: L'épiderme de la Terre. Coll. Evol. des Sc. Masson, Paris, 167 p, 35 fig.

=====

Deformación tectónica de terrazas. -



Estas acumulaciones, levantadas en Los Andes, forman terrazas escalonadas; en Los Llanos, hundidas, ellas están en superposición geológica normal, las más recientes cubriendo a las más antiguas.



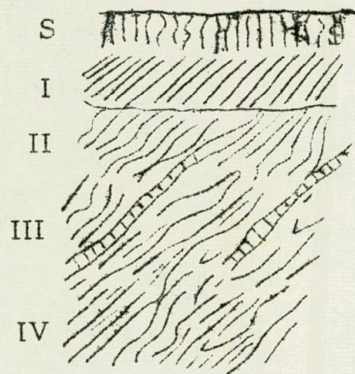
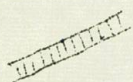
Granito diaclasado

S = suelo

I, II, III, IV Zonas de alteración

I Con piedras en la base

Veta de cuarzo



Micaesquistos

Zonas

I: arcillosa, sin estructura original

II: arcillosa, roca podrida, estructura original.

III: roca fragilizada pasando a piedras en la parte superior.

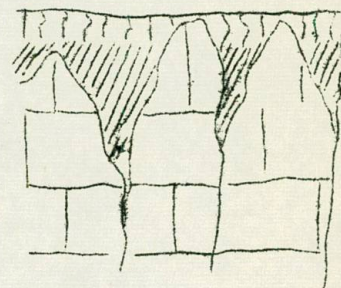
IV: roca con alteración fisural (arcilla y óxido de hierro en las diáclasis).

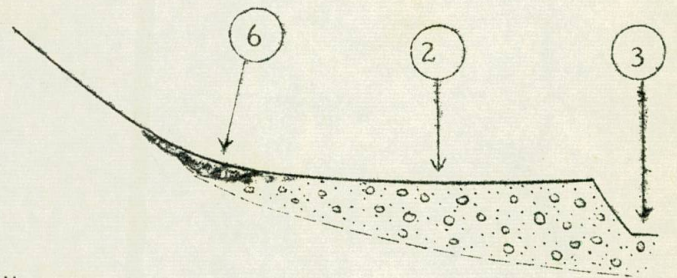
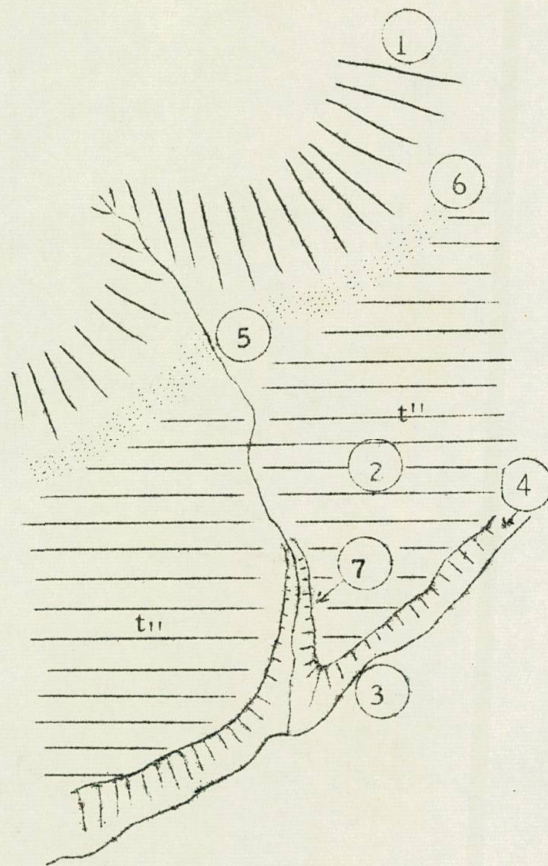
Calizas

Zonas

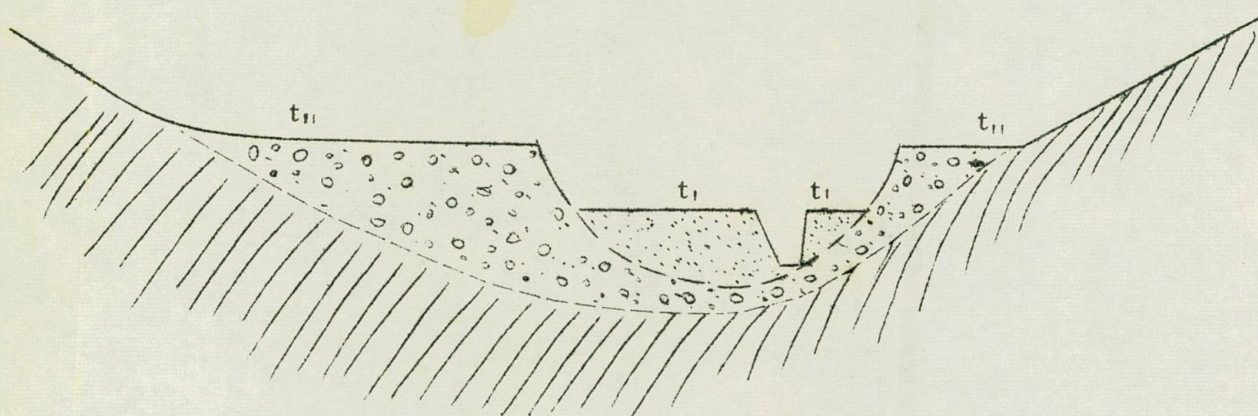
I: Arcillas de decalcificación (tierra rosea etc.)

II: Roca con fisuras ensanchadas por la corrosión (puede llegar hasta centenas de metros de espesor).

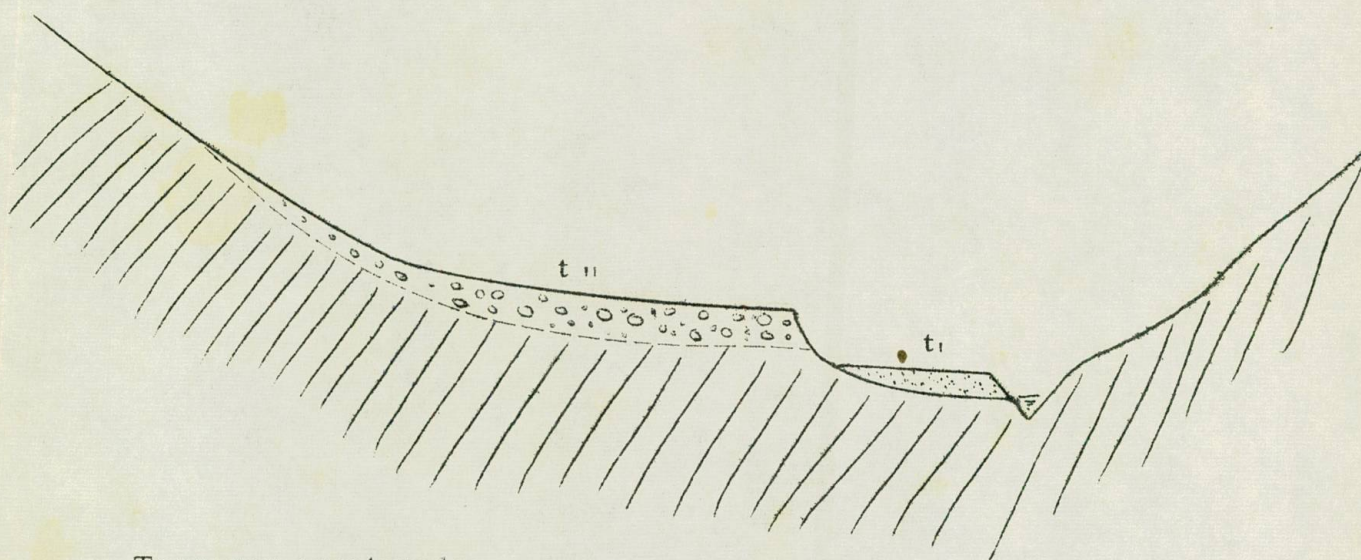




- 1 Vertiente
- 2 Terraza (t_{II})
- 3 Rio encajonado posteriormente a t_{II}
- 4 Escarpa de la terraza t_{II}
- 5 Cono de deyecciones local posterior a t_{II} en un sector donde no ha llegado la erosión regresiva.
- 6 Coluviones posteriores a t_{II}
- 7 Reinicio de erosión posterior a t_{II} sobre el afluente.



Terrazas encajonadas



Terrazas escalonadas

