

## **S I N T E S I S**

### **EL SEUDOKARST Y SU IMPORTANCIA EN LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS DEL NEA**

por Ing. ELISEO POPOLIZIO

El trabajo pone a consideración una serie de observaciones realizadas por el autor, en el NE argentino, sobre los procesosseudokársticos.

Sobre la base del estudio de las condiciones morfogenéticas y paleogeográficas, se analizan las causas de estos procesos, su localización, la importancia de los mismos en las modificaciones que introducen en los límites de las cuencas y los procesos de erosión que originan.

Se tipifican las formasseudokársticas en modelos areolares y lineales.

Se adjuntan 9 figuras en 2 planchas y 34 fotografías comentadas, como así también la bibliografía sintética.

## EL SEUDOKARST Y SU IMPORTANCIA EN LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS DEL NEA

### INTRODUCCION :

Entiéndese por modelo kárstico, a la morfología resultante de una serie de procesos dominados por la disolución en rocas calcáreas; su nombre deriva de la región del Karst ( o Carso ), de Histria, si bien modelos de este tipo son comunes en otras partes del mundo.

Las formas que caracterizan el karst son muchas, desde las grandes cavernas hasta los lapiez, sin embargo, desde el punto de vista hidrológico, su rasgo dominante es la circulación subterránea del agua y la desintegración o incluso inexistencia de red de avenamiento superficial.

Por lo antedicho, las áreas afectadas a estos o semejantes procesos merecen un capítulo aparte en hidrología.

Hasta hace poco tiempo solo se han tenido estudios detallados de áreas kársticas típicas, en tanto que procesos semejantes pero desarrollados sobre rocas no calcáreas, son bastante comunes en sedimentos arenosos, arcillosos, limosos o mezclas de estos, con cierto contenido de carbonatos y/o sulfatos de calcio y/o cloruro de sodio e incluso en ciertos suelos arcillosos tropicales.

Los modelos de formas generados en las rocas finalmente mencionadas, no pueden considerarse típicamente kársticos y se ha empleado para designarlos varios términos, tales como falso karst, pseudo karst o seudo karst y no deben confundirse con el cripto karst en el cual el karst existe, efectivamente, en profundidad y propaga sus efectos a rocas sobrepuestas (Ej. Vila Velha, Arenisca de Furnas - Estado de Paraná - Brasil).

Con respecto a la expresión "karst" algunos autores usan "carst"; nosotros seguiremos manteniendo la primera acepción y para los modelos semejantes elaborados en otras rocas usaremos "seudokarst".

La terminología del karst típico ha sido sistematizada con buen criterio por ALMEIDA ROLFF, P. (1) a quien remitimos al lector.

Con referencia a los procesos kársticos recomendamos a FENELON, P. entre otros, y de las obras de fácil consulta, los capítulos correspondientes en THORNBURY, W. (22) y DERRUAU, M. (10).

Procesos y formas seudokársticas han sido actualmente tratados en trabajos de CHEBATAROFF-ZAVALA (7,8), donde se encuentra una buena bibliografía sobre el tema.

El objeto de este trabajo es dar a conocer una serie de observaciones realizadas en el NE argentino sobre procesos seudokársticos, los cuales en conjunto extralimitarían el campo del Congreso, de allí que solamente nos referiremos a aquellos que tienen verdadera importancia para los estudios hidrológicos, dejando los otros para un trabajo específico de geomorfología que tenemos en vista, siguiendo los lineamientos de CHEBATAROFF, J. ZAVALA, y que ciertamente se complementarán con los trabajos de dichos autores, y de otros como MAGNANI, M. (14) y CHRISTOFOLLETTI, A. (9), entre muchos más que han realizado estudios sobre la morfología seudokárstica en América del Sur.

El conocimiento de los procesos pseudokársticos reviste una singular importancia en los estudios hidrológicos del NE argentino, como consecuencia de la existencia de depósitos sedimentarios de gran extensión en los cuales aquellos pueden desarrollarse. Evidentemente, serán necesarios muchos trabajos de detalle sobre el tema, ya que estos procesos influyen particularmente en el escurrimiento subterráneo y en la modificación de las divisorias de aguas superficiales.

Por otra parte, en tanto que determinan disolución y coluviación hipodérmica, originan modificaciones edáficas importantes, siendo por ello motivo de investigaciones agrogeológicas que recomendamos iniciar a la brevedad, teniendo en cuenta que están en marcha importantes estudios de recuperación y aprovechamiento de áreas afectadas a estos procesos y cuyo desconocimiento puede llevar a desequilibrios morfosirológicos de importancia creciente.

Un nuevo campo de investigación en equipo se abre con el estudio de la influencia de los procesos pseudokársticos en hidrología; sólo intentamos poner en consideración el resultado de observaciones realizadas en varios años y motivar con ello a otros investigadores, para que las transformaciones tecnológicas que ya se vislumbran, no se adelanten a los estudios de detalle imprescindibles para el éxito y continuidad de aquellas.

#### ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA GEOMORFOLOGIA DEL NEA Y LAS CONDICIONES PALEOGEOGRAFICAS QUE INFLUYEN EN EL MODELADO SEUDOKARSTICO

En la Fig. 1 se han esquematizado los dos grandes conjuntos morfológicos del NEA, contrastando sobre el predominio casi absoluto de la llanura un pequeño sector de meseta que abarca gran parte de Misiones.

Hacia el oeste de Chaco y Formosa, altimétricamente ya no se puede hablar de llanura, ya que allí termina un vasto piedemonte con característica de gigantesca "bajada" desde las Sierras Subandinas y Pampeanas.

Sin embargo, esta primera división tan simple oculta factores de cohesión y diferenciación interna, que se manifiestan al considerar unidades de otro orden taxonómico (menor tamaño), como podemos observar en la Fig. 2 donde se indican los compartimentos geomorfológicos del área.

Por otra parte, desde el punto de vista de los procesos pseudokársticos, una marcada diferencia se denota al este y al oeste de la depresión Iberá-Río Corrientes, como consecuencia de condiciones litológicas. En efecto, al este de dicha depresión aparecen rocas mesozoicas (areniscas de Botucatú y basaltos de Serra Geral), en tanto que al oeste sedimentos más modernos (terciarios y cuaternarios) dominan totalmente el espacio. Al este, los procesos pseudokársticos que pueden aparecer son predominantemente de tipo pseudolapiez y presentan arealmente poca significación y casi ninguna desde el punto de vista hidrológico. Al oeste, en cambio, la existencia de depósitos antiguos de facies lacustres, palustres y de esteros o pantanos, generados bajo condiciones paleoclimáticas más secas que las actuales, ha dado lugar a la formación de evaporitas intercaladas (en proporción y composición variable) en los sedimentos limosos, arenosos y arcillosos, lo cual favorece el desarrollo de formas pseudokársticas por disolución y coluviación lateral. En ciertos sectores, la dominancia absoluta de esta morfología da lugar a verdaderos relieves pseudokársticos, como ocurre en los compartimentos de loma del triángulo NW de la provincia de Corrientes (continuándose en el Paraguay hasta el estero Neembucú).

Por lo antedicho, centraremos nuestra atención en el sector situado al oeste de la depresión Iberá-Río Corrientes, donde estos procesos juegan un importante papel en los estudios hidrológicos.

Toda esa área forma parte de una vasta cuenca sedimentaria que antiguamente ocupara una extensión mucho mayor que la actual y que poco a poco se fue reduciendo, como consecuencia de la incorporación de grandes sectores periféricos al proceso de elevación de los macizos cristalinos del NE y del este, como lo explicáramos en otro trabajo anterior (20). La característica morfogenética de subsidencia dominante permitió, en algunos momentos de la historia geológica de la cuenca, la ingresión del mar desde el Atlántico y en otras, la existencia de áreas muy vastas con escasa diferencia de nivel con respecto al mar y poca energía del relieve. Evidentemente, estas últimas condiciones impidieron un rápido escurrimiento de las aguas formándose extensas lagunas de poca profundidad, que en algunos casos deben haber entrado en coalescencia, hasta generar ambientes palustres casi sin discontinuidad por decenas o centenas de Km. de extensión.

Por mucho tiempo se hicieron correlativos estos períodos de grandes lagunas (o lagos (21)) a facies "pluviales", como si fuera imprescindible una excesiva precipitación para originar tan vastos espejos de agua, sin embargo todos los estudios geomorfológicos parecen indicar lo contrario. En efecto, para que se originara una morfología de grandes lagunas y esteros, sería imprescindible que el escurrimiento de las aguas fuese lento, es decir que no se pueda producir entallamiento lineal, pues de lo contrario los cursos regularizarían el sistema de avenamiento, tanto más rápidamente cuanto más fáciles de erosionar resultaran los sedimentos.

La evolución morfogenética del área nos indica que ya desde el Terciario medio se alternaron períodos secos con otros húmedos y que durante los primeros se generalizaron vastos pediplanos a cotas muy próximas al nivel del mar.

La influencia de los procesos de ascenso epirogénico de los macizos cristalinos del este fue elevando esas superficies de erosión en las áreas periféricas, que poco a poco se incorporaban al ascenso y hoy podemos observarlas claramente en el este de la depresión Iberá-Río Corrientes y en el Brasil. Al oeste, en cambio, la tendencia de la subsidencia sepultó los vastos pediplanos bajo nuevos depósitos, y yacen hoy bajo capas más modernas.

Entre la depresión del Iberá-Río Corrientes y el valle del Paraná - Paraguay, en la provincia de Corrientes, el pediplano más antiguo que podemos ver es el Pd1 (formado en el límite Terciario-Cuaternario), en tanto que al este de la depresión y en especial en Misiones, se puede reconocer hasta el Pd2 y el Pd3 que son terciarios.

Como es sabido, los pedimentos y los pediplanos (estos últimos con secuencia de la coalescencia generalizada de los primeros) son superficies de erosión que, no obstante, presentan en su parte terminal un sector agradacional formando la "bajada". Todo el conjunto, área degradacional y "bajada" forman casi un plano de pendiente bajísima y energía casi nula, de allí que en su parte terminal las aguas que se escurren, en forma de manto o de múltiples filetes con modelo anastomosado, tengan tendencia a acumularse formando enormes espejos de agua de muy poca profundidad.

Si bien el origen de los pedimentos está asociado a bruscos cambios climáticos (Rexistasia) de condiciones húmedas a secas, ellos se desarrollan y siguen funcionando en tanto se mantengan estas últimas.

El término "condiciones secas" lo usamos para significar condiciones climáticas semiáridas, donde durante gran parte del año la precipitación es nula y en el resto ella tiene lugar en pocas, cortas y muy intensas manifestaciones, de allí que el escurrimiento sea fundamentalmente laminar.

Por lo antedicho, los grandes espejos de agua se ven sometidos a procesos de evaporación muy intensos, con la formación de depósitos de evaporitas e incluso concreciones de óxidos de hierro y granos de arena cementadas por óxidos o sílice coloidal.

Todo un complejo sistema de interacción entre el clima, los seres vi-

vos y la morfología tiene lugar en estas condiciones y sería muy largo detallarlas en este trabajo, salvo en aquellos aspectos que nos interesan directamente.

Vemos entonces que la existencia de depósitos con concreciones o cristales de evaporitas está íntimamente ligado a la existencia de condiciones morfológicas que determinan un avenamiento difícil y de condiciones climáticas que aceleren la evaporación, sumado a una actividad biológica que favorece, en los ambientes lóticos, la precipitación de las soluciones de carbonatos, sulfatos, etc.

En el gran triángulo comprendido por el eje Paraguay-Paraná, la depresión Iberá-Río Corrientes y los esteros de Neembucú (en Paraguay), se alternan dos tipos de compartimentos morfológicos: de lomas y de valles. En la Fig. 3 se puede observar un perfil esquemático transversal a dichos compartimentos en dirección meridiana. En la misma se puede apreciar la sucesión de los compartimentos morfológicos a que hemos hecho referencia y las secuencias estratigráficas factibles de encontrar en el área.

Desde el punto de vista del modelado pseudokárstico, podemos observar que en profundidad existen cuatro depósitos correspondientes al Mesopotamiense medio, Mesopotamiense superior, Entrerriense inferior y Entrerriense superior, los cuales están normalmente bien desarrollados bajo los compartimentos de loma, pero pueden también aparecer en los valles cuando los antiguos procesos de entallamiento fluvial no los arrasaron (2, 3, 4, 18, 19).

El Mesopotamiense medio descansa sobre las arenas amarillentas con óxidos de hierro del Mesopotamiense inferior y comúnmente sobre la parte terminal de este último, formada por una arenisca rojiza conocida como Asperón Guaranítico la cual a su vez es una paleolaterita (20). Según CASTELLANOS, A. (4), durante el Mesopotamio medio se produce una ingresión marina correspondiente a la 3ª fluctuación del mar Entrerriano, la cual no llegó a formar más que un golfo en la provincia de Entre Ríos sin llegar a nuestra área en estudio, la cual estaba por aquella época a muy poca altura sobre el nivel del mar, por lo cual se originaron depósitos lacustres muy extensos representados por una "capa granosa de yeso concrecionado de aspecto algo terroso"... "En general los sedimentos de esta división del Mesopotamiense estarían constituidos por depósitos representativos de dos facies: la fluvial, más antigua, de arenas y areniscas blancas y amarillas, y la superior, lacustre o palustre, de légamos, gredas, limos, arcillas o margas gris-verdosas, con distinta proporción de arena y cristales de yeso en la masa y a veces salitrosas. Suelen encontrarse también lentejas yesosas y más raramente otras de calcáreo". (4, pp. 35).

En realidad, en gran parte de la provincia estos depósitos están formados en su parte basal por granos de cuarzo hialino o amarillento, sobre antiguos vegetales de ambientes lóticos, dando una estructura fibroso-esponjosa. Es probable que los procesos de disolución hayan lavado los carbonatos o sulfatos, por lo cual en los afloramientos no se obtiene reacción de este tipo.

Sobre el Mesopotamiense medio se depositó el Mesopotamiense superior "Los sedimentos de este período es muy raro encontrarlos en la mitad occidental y desconocidos en la oriental. Posiblemente se trate de arenas (areniscas) amarillo-herrumbrosas que no afloran en las barrancas correntinas del río Paraná, pero deben existir debajo del Puelchense, en la base de las "lomas testigos" de erosión. No se han practicado en esos lugares perforaciones, por lo que no es factible constatar su presencia. También puede ocurrir que hayan sido tomadas como arenas puelchenses con quienes tienen analogías". (4, pp. 35 - 36).

Suceden a los depósitos Mesopotamienses los correspondientes al Entrerriense, que según CASTELLANOS, A. (4) corresponderían al inferior de origen marino y al superior de origen lacustre.

Con respecto al primero, es evidente que en la Provincia de Entre Ríos existió una ingresión correspondiente a la 4ª fluctuación del mar Entrerriano, dejando calcáreos netamente marinos. CASTELLANOS, A. asocia los calcáreos de

Curuzú Cuatiá y Mercedes (Corrientes) a esta ingresión, la cual habría formado un "mar epicontinental" (sic), llegando hasta el Paraguay y dejando restos en la provincia de Corrientes y a los cuales correspondería un depósito ostrífero encontrado en Itatí. Este último hallazgo sufrió muchas críticas, pues no se ha vuelto a encontrar ese banco ostrífero que denotaría la ingresión del mar tan al norte.

De cualquier manera, en el área situada al NW de la depresión Ibero- Río Corrientes, existen depósitos del Entrerriense, por lo menos con seguridad del Entrerriense superior o lacustre. "Sobre el banco de calcáreos, en Corrientes, como en la serie entrerriana, como ya lo señalara D'Orbigny, en algunos perfiles se denuncia la existencia de un depósito que pasa insensiblemente a constituir las capas de "argile gypseuse" de aquel autor (capa C)".

... "el Entrerriense superior lacustre con yacimientos de yeso de la serie entrerriana, tiene en Corrientes su equivalente; donde falta en el perfil señalada ausente el calcáreo, en cambio aparecen limos arcillosos lacustres (greda de Bonarelli)"... "con pequeños cristales de selenita dispersos en la masa límica; en otros puntos existen también lentejas calcáreas y yesosas que indican un origen lacustre" (4, pp. 44).

Vemos entonces que sobre las arenas del Mesopotamiense inferior existen varios depósitos sedimentarios, cuyas características permiten o favorecen los procesos de disolución, tanto mayor cuanto mayor su contenido de minerales fácilmente solubles. Si tenemos en cuenta que en la mayoría de los casos estos depósitos descansan sobre una arenisca muy compacta (el Asperón Guaranítico) de la parte superior del Mesopotamiense inferior, podemos comprender que las aguas de infiltración encuentran en dicha arenisca, una condición límite que las obliga a escurrir lateralmente y las aísla de la napa acuífera inferior existente en las arenas del Mesopotamiense inferior, lo cual favorece la disolución hipodérmica lateral y el arrastre coluvial en el mismo sentido.

Al oeste del valle Paraguay - Paraná, la marcada tendencia a la subsidencia ha dado lugar a condiciones morfológicas totalmente diferentes a las mencionadas precedentemente. Todo el conjunto (con excepción del dorso Charata) se caracteriza por la progresiva acumulación del material muy fino proveniente del oeste. Sin embargo, debemos mencionar que la alternancia de condiciones más secas y más húmedas que las actuales, han dado lugar a procesos de sedimentación bien diferentes como consecuencia de las condiciones morfofisiológicas que impusieron.

Bajo condiciones húmedas los procesos de colmatación han sido predominantemente biógenos, a causa del desarrollo de vegetación palustre y la consabida depositación de restos orgánicos en el fondo de las depresiones lo cual, al disminuir la profundidad, obligaba a las aguas a ocupar mayor área aumentando la evaporación. Ambos procesos tienen siempre como tendencia la de colmar las depresiones y disminuir la energía del relieve, a tal punto que, si la precipitación es suficientemente importante, termina por dar un "mosaico tierra-agua", donde la diferenciación interfluvial pierde toda significación. Si las precipitaciones son escasas el aspecto del relieve al final de la evolución es de una vasta planicie.

Durante los períodos húmedos y siempre que el nivel de base no presente gran desnivel, los cursos tienen tendencia a cambiar de posición por derramamiento y rotura de albardones, originando así un verdadero laberinto de cauces abandonados, lagunas semilunares, back swamps y cursos en funcionamiento. Grandes mantos de derrame pueden favorecer la colmatación del área en esas condiciones.

Durante los períodos secos los procesos son bien diferentes. Por un lado la acción eólica puede alcanzar valores extremos, con la presencia de formas dunares, cubetas de deflación y rellenamiento de depresiones. Por otro lado, el escurrimiento del agua en forma laminar es preponderante. Mantos de agua sobrecargados de sedimentos se encargan de rellenar las depresiones. Los pocos cursos fluviales, generalmente alóctonos, debido al gran caudal sólido sobrelevan su lecho y forman grandes albardones, los cuales frecuentemente son trasvasados originando-

se abanicos o enlames, en tanto el modelo fluvial se vuelve anastomosado.

Estos procesos que hemos mencionado han tenido lugar varias veces el oeste del valle Paraguay-Paraná, pudiendo reconocerse incluso el paleomodelo dunar como lo destacara ya TAPIA, A. (21) y otros autores, y hemos podido verificar en estudios realizados en la provincia de Formosa.

Desde el punto de vista de los modelos pseudokársticos es importante destacar que durante los períodos secos, en las áreas lagunares, se han originado evaporitas por el efecto de intensa evaporación. Por otra parte bajo esas condiciones la ascensión capilar origina precipitaciones y concreciones de carbonatos, sulfatos y cloruros, algunas veces en forma de nodulitos y otras revistiendo las raíces de los vegetales.

Las cenizas volcánicas, que también afectaron la zona, traídas por los vientos desde la cordillera, juegan un gran papel en el aporte de cationes necesarios para las concreciones referidas. Se han encontrado en el Chaco yacimientos de yeso que tal vez sean mucho más importantes y numerosos de lo que se piensa y en el área de Las Lomitas (Formosa), la abundancia de cristales de yeso diseminados en una masa limo arenosa es extremadamente notoria, lo que también puede observarse en muchos otros sectores del área.

Las condiciones mencionadas favorecen la formación de modelos pseudokársticos, siempre que exista un desnivel que acelere el escurrimiento subterráneo de las aguas. Sin embargo, debido a las condiciones morfogenéticas descriptas, los modelos no alcanzan a tener aquí la misma significación ni la misma extensión areolar que en la provincia de Corrientes. No obstante, cárcavas y modelos cribados son detectables en fotografías aéreas, por lo cual será de gran interés realizar estudios de detalle sobre estos procesos en este sector de la llanura, todavía poco conocido desde el punto de vista geomorfológico. (Foto 34)

## LOS MODELOS:

Creemos conveniente diferenciarlos en dos grandes tipos:

- 1 - Areolares
- 2 - Lineales

si bien pueden presentarse asociados determinando modelos complejos.

### 1 - Modelos areolares:

Los denominamos así pues en ellos predominan las formas isodiamétricas y no presentan un marcado entallamiento lineal predominante; son comunes las formas circulares de tipo pseudodolinas (Foto 1) o bien asociaciones de estas, de tipo pseudovalas (Foto 2). Dan lugar a un paisaje típico de depresiones cerradas con lagunas en su interior, sobre los sedimentos del Puelchense que constituyen los compartimentos de lomas a que hemos hecho referencia anteriormente.

Estos sedimentos constituyeron inicialmente un gigantesco conoide aluvial con vértice próximo a la ciudad de Posadas, dispuesto en discordancia de erosión sobre los sedimentos del Entrerriense superior ya mencionados, si bien en algunas partes, el entallamiento fluvial que precedió a la depositación de estos sedimentos llegó hasta el Mesopotamiense inferior, en cuyo caso aquellos descansan sobre estos, como se puede observar en el perfil de la Fig. 3.

Por su parte, los depósitos del Puelchense fueron a su vez incididos por un abanico de valles fluviales (en los cuales se depositaron sedimentos cuaternarios) quedando largas lomadas dispuestas en abanico, constituyendo los interfluvios.

El origen de la depresiones mencionadas es consecuencia de procesos complejos con predominio de la disolución de carbonatos, sulfatos y otras veces cloruros, asociados a antiguos depósitos lagunares o palustres de condiciones paleo-climáticas diferentes a las actuales.

Requieren un nivel de base de la napa frática más bajo que el del fondo de las depresiones, aún cuando esa diferencia sea de pocos metros, pero la suficiente como para permitir el gradiente necesario para una circulación del agua, que además de disolución origine una migración coloidal lateral.

La progresiva disolución y la pérdida de coloides da lugar a una arenización de los sedimentos, que perdiendo su poder soporte originan asentamientos diferenciales. Dichos asentamientos son tanto mayores cuanto mayor sea la potencia, el contenido de sales y de coloides en los depósitos subyacentes sometidos al proceso.

Por esa razón puede detectarse una cierta alineación en las depresiones, (foto 2) en dirección a los ejes de escurrimiento subterráneo más pronunciado, que se reconocen por fajas más bajas que la cumbre del interfluvio pero más altas que el fondo de las depresiones, las cuales en algunos casos semejan pequeños cursos de interconexión lagunar (no obstante la acción del agua superficial en ellos es secundaria). Fig. 4.

Estos procesos tienden a la cohesencia de las depresiones, que de esa manera dan modelos complejos de límite lobulado pasando a constituir verdaderas pseudovalas.

Es evidente, que como consecuencia de lo antedicho, la divisoria de aguas se va modificando totalmente en función del avance del proceso. En las lomas correntinas, el primitivo modelo era el de una serie de divisorias cerradas, que en conjunto daban un modelo poligonal (Fig. 5) en tanto que el de las depresiones correspondía al denominado modelo cribado (Fig. 6)

Sin embargo, las depresiones más próximas a las áreas más bajas (compartimentos de valles), especialmente en aquellos lugares en los cuales estas últimas tenían condiciones de esteros (como ocurre en todas las cabeceras de las cuencas de este sector), las condiciones fisiográficas acentuaron el proceso de disolución y terminaron por conectar las depresiones a los esteros, modificando totalmente la ecología de las antiguas lagunas (Foto 4).

A causa de estos procesos, el límite de las áreas de esteros adquiere el aspecto de pequeñas planicies alveolares, subsidiarias al modelo rectilíneo de los paleocauces, las cuales periódicamente se inundan.

Nos encontramos así con condiciones morfofisiológicas que tienden a la destrucción de los interfluvios, lo cual en muchos casos ya ha acontecido quedando como relicto una serie de "islotes" de loma sobresaliendo de una vasta extensión de área inundable (foto 5).

Lo descrito anteriormente crea problemas sumamente serios para la delimitación de las cuencas, ya que por un lado la divisoria frática es independiente de la topográfica y depende del nivel de las aguas en las lagunas y en los esteros. Por otra lado, al desaparecer la divisoria, las cabeceras de los esteros entran en cohesencia y las aguas en crecienta pasan con facilidad de una cuenca a la otra por transfluencia, dependiendo el sentido del escurrimiento no de la pendiente topográfica sino del nivel del pelo de agua en cada cuenca (Fig. 7). Esto nos lleva a dos proposiciones de carácter práctico:

- 1º) Deben preservarse del proceso de captura regresiva todas las áreas de interfluvios estrechas (Foto 3).
- 2º) La delimitación de la divisoria de aguas en cabecera de esteros es totalmente arbitraria y más que definirla hay que construirla, para lo cual se aconseja un estudio detallado de la red vial, ya que terraplenes de poca altura serían suficientes para avitar los procesos de transfluencia.



## 2 - Modelos lineales:

Los denominados así pues en ellos predomina una dirección sobre las otras y el entallamiento se desarrolla preferencialmente a lo largo de líneas. Si bien las formas lineales no tienen una expresión tan amplia como las areolares, ellas son muy frecuentes incluso donde las otras no tienen condiciones de evolución.

Estas formas siguen toda una secuencia evolutiva desde los microsurcos hasta las cárcavas, y su grado de evolución depende de las condiciones morfológicas, petrográficas y climáticas a que están sometidas, siendo la acción antrópica un factor muy importante donde ella actúa.

Creemos importante hacer una consideración inicial sobre la inclusión de estos procesos dentro del modelado pseudokárstico.

Es aún muy común asociar estos procesos a la acción del agua superficial encausada, es decir el comienzo del modelado fluvial y sin embargo el origen de los mismos corresponde fundamentalmente a procesos de coluvación hipodérmica y disolución por acción del agua subsuperficial y subterránea.

Es por lo antedicho que estos procesos deben considerarse como de transición entre la acción del agua laminar y encausada, por efecto combinado del agua subsuperficial y subterránea, de allí la dificultad de clasificar estas formas o de confundirlas con el modelado fluvial.

Como es sabido, el agua que escurre hacia los colectores lo hace en forma superficial, subsuperficial y subterránea. En condiciones ideales, el agua escurriría en forma de una lámina hacia los colectores, sobre una película estática adherida al suelo y de velocidad cero. Pero ocurre que la rugosidad de la superficie da lugar a movimientos turbulentos en el contacto con la superficie, lo cual aún no ha sido bien determinado. Además, el suelo no es normalmente impermeable y permite infiltración vertical y un escurrimiento hipodérmico subsuperficial, cuya velocidad es menor que la del agua superficial pero mucho mayor que la subterránea.

De allí que en el límite, las partículas de suelo estén prácticamente sometidas a un cierto empuje hidrostático y a la acción de turbulencia superficial lo cual favorece el desprendimiento de algunos granos que inician microsurcos (Fig. 8, foto 6), los cuales al avanzar el proceso retroceden sus cabeceras por descalce sucesivo de los granos situados aguas arriba (foto 7), por lo cual dichos surcos aparecen desde media ladera y no de la base, como ocurriría si el proceso fuera de tipo fluvial.

En aquellos suelos en los cuales existen minerales solubles, ellos aceleran el proceso y los microsurcos presentan pequeñas depresiones correspondientes a los granos disueltos (Foto 8 - 9 - 10 - y 11).

Cuando la pendiente de una ladera sea lo suficientemente fuerte como para no permitir un perfil de fondo (de microsurcos) de igual inclinación, estos últimos se irán profundizando rápidamente auxiliados por la acción del agua encausada en ellos, pasándose así al modelado fluvial incipiente (fotos 12 - y 13). Cuando por condiciones naturales o antrópicas existe un quiebre de pendiente muy brusco, la napa de agua subterránea se ve obligada a una fuerte inflexión, lo cual la acelera lo suficiente como para arrastrar coloides, haciendo perder al suelo su cohesión, tanto más cuanto más fuerte sea la inclinación de la napa y mayor porcentaje de coloides rodee los inertes.

Este proceso origina pequeños asentamientos y microfisuras en la estructura del suelo, lo que aumenta la permeabilidad acelerando la infiltración vertical, lo que a su vez acelera el proceso (Fig. 9). Si además el suelo contiene materiales solubles, con más rapidez penetrará el agua desde la superficie.

Poco a poco aparecerán en la superficie una serie de depresiones (microsimas pseudokársticas) (Fotos 14 y 15) que terminan por conectarse con conductos superficiales que salen al exterior en la parte inferior de la ladera (Foto 16), donde se aprecian microconos de deyección resultado del arrastre subterráneo de coloides (Fotos 17 y 18). Estos conductos aumentan rápidamente de tamaño por la ac-

ción del agua superficial que se precipita en ellos, hasta que entran en cohesión quedando una placa vertical separada del frente de la ladera (Foto 19 y 20). Dichas placas evolucionan luego a formas lanceoladas o en agujas, que no son sino pseudopiez y cuando se generalizan dan lugar al "mal país", "huayquerías" o "bad land" (Fotos 21 - 22 - y 23). Entretanto la napa subterránea retrocede y el proceso se repita hasta dar un verdadero relieve en agujas que puede ocupar áreas muy extensas.

Es importante destacar que estos procesos han sido analizados siempre en rocas solubles, asignando a la disolución un papel casi exclusivo. Nosotros hemos querido llamar la atención sobre la existencia de procesos semejantes, en los cuales la disolución va acompañada de coluviación hipodérmica y lavado superficial en el estado final, generadas sobre rocas sedimentarias resultantes de la mezcla de arenas, arcillas y limos con concreciones de carbonatos y sulfatos de calcio o cloruro de sodio. Hemos podido apreciar también idéntico proceso con cavernas, simas y dolinas miniaturas en depósitos arcillosos de la zona tropical ( San Pablo Brasil ) (Fotos 14 y 15).

Estos modelos lineales, en el área de los compartimentos de lomas y valles de la provincia de Corrientes, se desarrollan fundamentalmente sobre los sedimentos cuaternarios (Platense y Lujanense), a diferencia de los areolares que lo hacen sobre los Puelchenses.

Esta morfología progresa con gran rapidez cuando existe un fuerte desnivel, como ocurre en las barrancas del río Paraná y de sus afluentes, dando lugar en su estado final a cárcavas que progresan abarcando grandes extensiones y adoptan modelo dentrítico (Foto 26).

Debido a que los sedimentos del Lujanense y del Platense han rellenado los valles labrados a expensas del Puelchense (como ya lo mencionáramos ), estas cárcavas se desarrollan siguiendo el eje de los antiguos valles cubiertos por los depósitos cuaternarios. Los sedimentos del Platense y del Lujanense, constituidos por arcillas arenosas a limos arcillosos, de color grisáceo y gris verdoso respectivamente, tienen en su constitución nódulos de carbonato de calcio y en general presentan siempre un cierto porcentaje de carbonatos. Debido a estas condiciones, son factibles la disolución y el arrastre coluvial de los coloides, que da lugar a los procesos pseudokársticos a que hemos hecho referencia. Estos sedimentos suelen ser utilizados, por su contenido calcáreo, para obras viales, sin embargo, cuando el talud de los terraplenes es acentuado los procesos pseudokársticos progresan con extrema rapidez favorecidos por la ruptura de las condiciones estructurales originales, como podemos apreciar en el terraplén de acceso al puente Chaco-Corrientes, (en la ciudad de Corrientes) (Fotos 8 - 9 - 10 - y 12) en la cual, en solo 6 meses se originó un típico modelo de bad land (Foto 27 y 28) obligando a realizar trabajos de protección del talud.

En las fotos 29 - 30 - 31 y 32 se puede observar el límite entre la banquina y el talud del terraplén, donde el proceso pseudokárstico es extremadamente manifiesto, ya que la microcuenca formada en la banquina, termina en sumideros que se pierden bajo el talud aflorando las aguas al pie del mismo, como se observa en las fotos 17 y 18.

Estos procesos de ruptura de la estructura natural de los suelos (que de por sí tienen tendencia a originar modelado pseudokárstico), con fines de su utilización en obras viales, siempre acelera el desarrollo de esta morfología, como lo podemos observar en la foto 33 correspondiente al camino de acceso al aeropuerto de Las Lomitas (Formosa).

Lo dicho es una prueba más de que no solamente la disolución es el factor determinante de los procesos pseudokársticos, sino que también influyen la estructura del sedimento y la mayor o menor facilidad de arrastre coluvial de los coloides.

Es fácil comprender que si bien estos procesos son de importancia fundamental para los estudios hidrológicos de la zona, también lo son para muchas obras civiles, en especial las viales, por lo cual creemos que este tipo de investigación deberá continuar con la profundidad que requiere.

Ing. Eliseo Papolizio

## **BIBLIOGRAFIA SINTETICA:**

### ALMEIDA ROLFF, P.A.M. de

- 1) 1969 - Terminologia do Carste. Boletim Geográfico, N° 210. Instituto Brasileiro de Geografia. Rio de Janeiro.

### BONARELLI, G. - NAGER, J.J.

- 2) 1929 - Memoria explicativa del mapa geo-agrológico y minero de la provincia de Corrientes, Tomos I y II. Imprenta del Estado. Corrientes.

### CASTELLANOS, Alfredo.

- 3) 1959 - Historia hidrogeológica del río Corriente. Facultad de Filosofía. Universidad Nac. del Litoral. Rosario.
- 4) 1965 - Estudio fisiográfico de la provincia de Corrientes. Instituto de Fisiografía y Geolog. de la Fac. de Ciencias, Mat. etc. Universidad Nacional del Litoral. Publicaciones XLIX. Rosario.

### CORDINI, Rafael I.

- 5) 1947 - Los ríos Pilcomayo de la región del Patiño. - División de Minas y Geología. Buenos Aires.

### COSTA VASCONCELOS, A.

- 6) 1949 - A Gruta de Maquiné. - Boletim Geográfico. I.B.G., Ano VI, N° 70, pp. 1212 - 1213. Rio de Janeiro.

### CHEBATAROFF, J. - ZAVALA SUNDBERG, M.E.

- 7) 1970 - Alveolación y ahuecamiento basal y lateral de bloques graníticos. - Fac. de Hum. y Cienc., Dpto. de Geografía. Trabajos de Investigación y Revisión, N° 3. Montevideo.
- 8) 1970 - Los fenómenos de pseudolapiez del Uruguay y de los países vecinos. - Fac. de Hum. y Cienc., Dpto. de Geografía. Trabajos de Investigación y revisión, N° 2. Montevideo.

### CHRISTOFOLLETTI, A.

- 9) - Os matacões da Serra dos Cocais. - Noticia Geomorfológica, N° 13 y 14 Campinas.

### DERRUAU, Max

- 10) 1966 - Geomorfología. - Trad. del original en francés. Barcelona.

### DOLABELA, E.

- 11) 1948 - Estudo das regiões Cársticas. - Belo Horizonte.

### FENELON, P.

- 12) 1954 - As grutas calcárias do vale do rio Ribeira de Iguape. - Arquivos do Museu Nacional, Vol. XV. Rio de Janeiro.

### MAGNANI, M.

- 14) 1959 - Phénomènes de type karstique dans le Précambrien non - calcaire des Sierras Pampeanas. - XVIII Cong. Intern. de Géographie. Compt. Rendus, T. II. Rio de Janeiro.

MATTOS, Francisco A.

- 15) 1965 - A gruta da Tapagem (Caverna do Diabo). - Rev. da Esc. de Minas, Vol. XXIV, N° 3. Brasil.

PASSOS GUIMARAES, José E.

- 16) 1969 - Grutas Calcáreas. - Bol. Geogr., N° 213, Ano 28, Nov-Dez. 1969, I. B.G. Río de Janeiro.

PASOTTI, P. - CASTELLANOS, A.

- 17) 1967 - Rasgos geomorfológicos generales de la llanura pampeana. - Bol de la Soc. Arg. del Est. Geog., Filial Rosario, N° 3, julio de 1967. Rosario.

POPOLIZIO, Eliseo

- 18) 1969 - Contribución a la Geomorfología de la provincia de Corrientes. - Pres. al XXII Cong. Bras. de Geogr. Belo Horizonte. En prensa Inst. Fisiog. y Geol. Universidad Nacional de Rosario.
- 19) 1970 - Contribución a la Geomorfología del NE Argentino. Bol de la Soc. Arg. de Botánica. Vol. XI. Septiembre 1970. Suplem. La Plata.
- 20) 1972 - Geomorfología del relieve de plataforma de la provincia de Misiones y zonas aledañas. Capítulos I a IV. - Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. T. XV. Buenos Aires.

TAPIA, Augusto

- 21) 1935 - Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. Min. de Agric. de la Nación. Dirección de Minas y Geol. Bol. N° 40. Buenos Aires.

THIEBAUT, Lucía C.

- 22) 1969 - Esquema de un estudio aerofotográfico sobre paleopotamología de la provincia del Chaco. - Ined. Presentado a la XXXI Semana de Geografía en San Carlos de Bariloche.

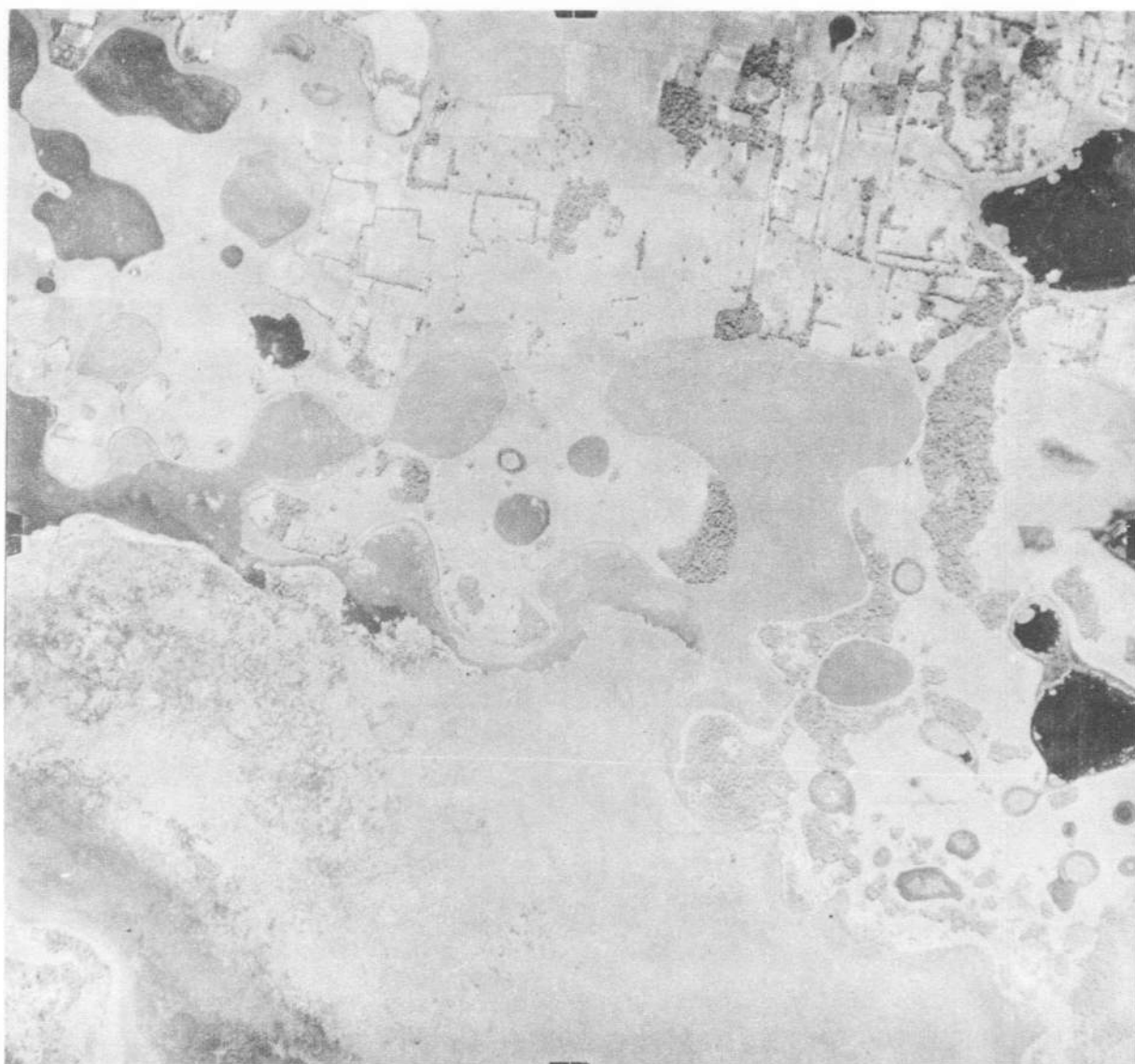


FOTO 4:

Fotografía aérea tomada por IFTA en el NW de la provincia de Corrientes, donde se puede observar nítidamente el proceso de incorporación progresiva de las lagunas de la loma puelchense, a las áreas de esteros correspondientes a los compartimentos de valles, labrados sobre sedimentos cuaternarios.

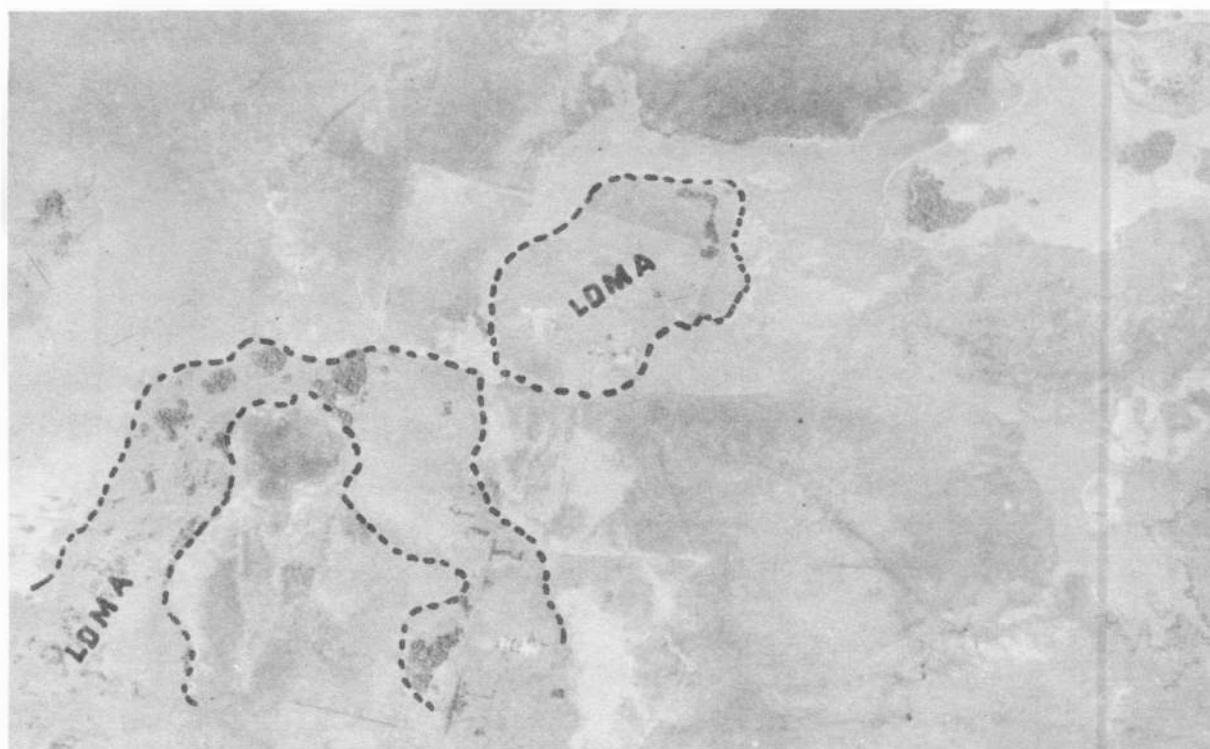


FOTO 3:

Fotografía aérea tomada por IFTA, donde puede apreciarse un relicto de loma puelchense sobresaliendo de una vasta planicie palustre, en la parte alta de la cuenca del estero Riachuelo (en la provincia de Corrientes) próximo a la localidad de Berón de Astrada.

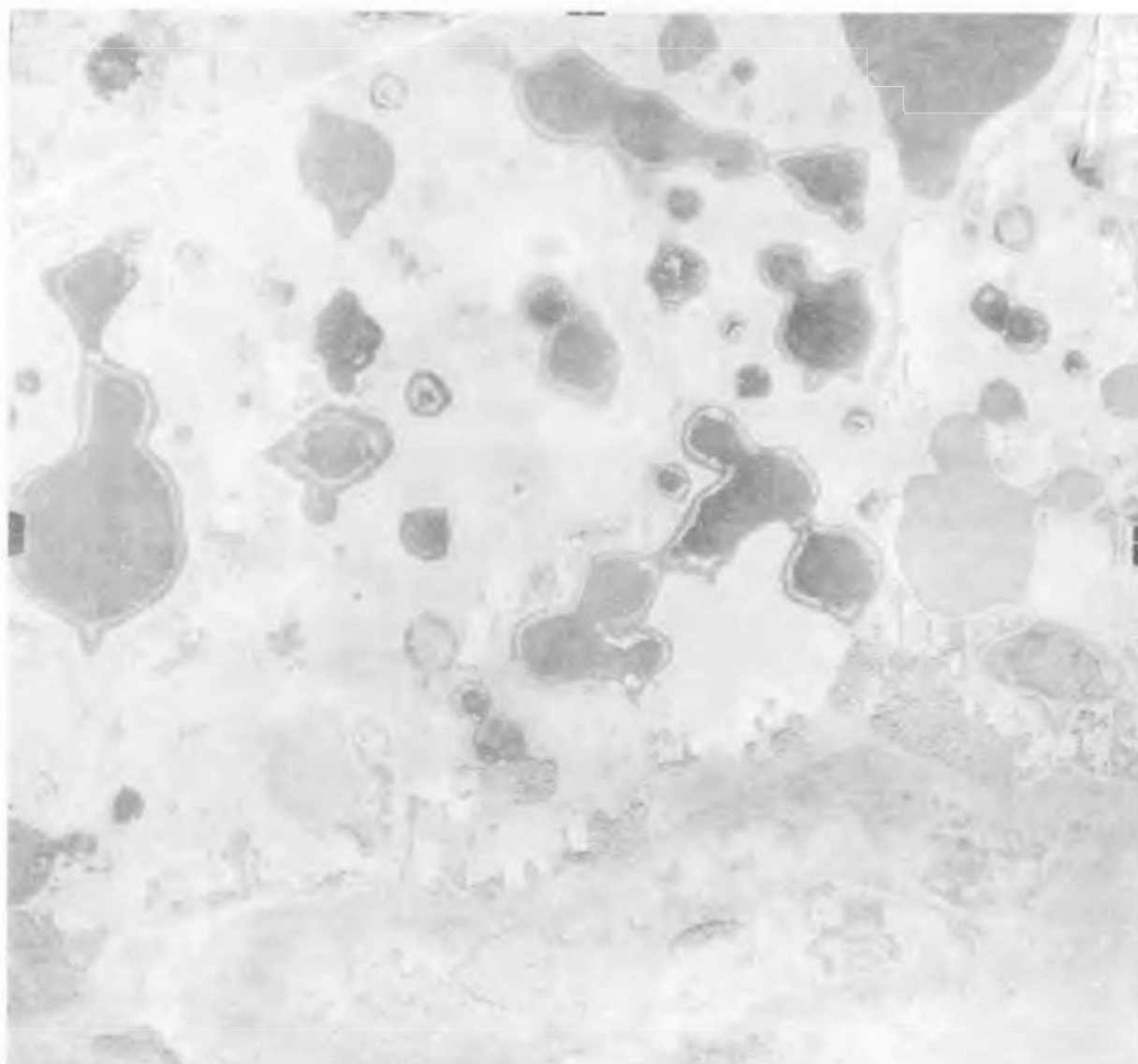


FOTO 2:

Fotografía aérea tomada por IFTA correspondiente a una lomapelchense en el NW de la provincia de Corrientes, donde puede observarse el avanzado proceso de interconexión de pseudodolinas para originar pseudovalas. También se puede distinguir la alineación de las depresiones siguiendo las líneas de mayor escurrimiento subterráneo.



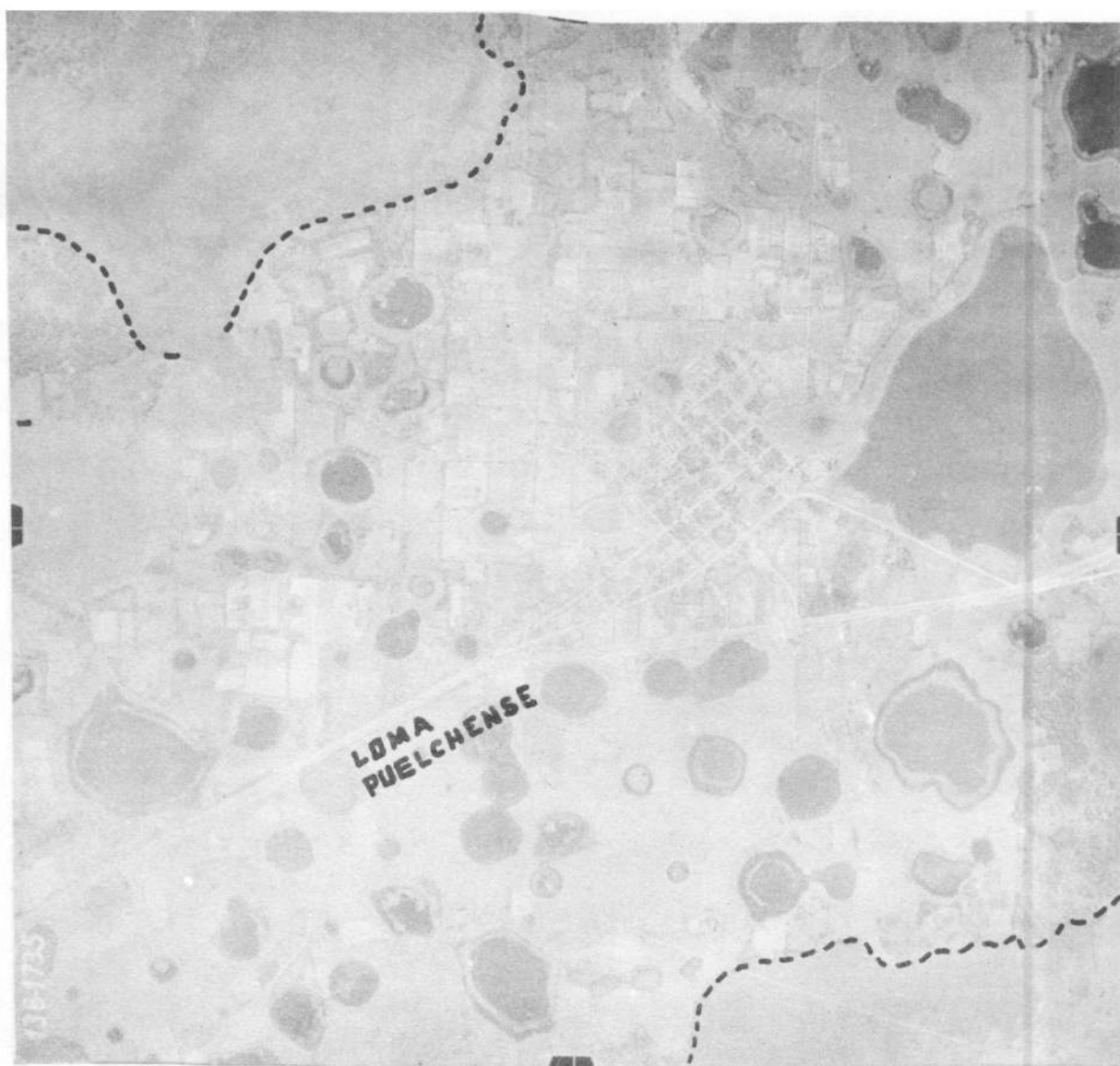


FOTO 1:

Fotografía aérea tomada por IFTA, donde se puede apreciar el típico modelo de pseudodolinas con lagunas circulares en su interior. Se observa el proceso de anexión incipiente de varias pseudodolinas para originar pseudovalas. Ejemplo típico de modelo cribado sobre los sedimentos puelchenses que constituyen la loma, cuyo límite se indica con trazos en la fotografía (Localidad de San Cosme - Corrientes)



#### FOTO 6:

Vista del proceso inicial de formación de microsurcos evolucionando hacia cárcavas en material limoso con cristales de yeso incorporados. Aeropuerto de Las Lomitas (Formosa).

#### FOTO 7:

Vista del mismo lugar de la foto anterior donde se puede apreciar el proceso de erosión regresiva por descalce y asentamiento en los surcos de erosión.

#### FOTO 8:

Vista de los microsurcos formados en el terraplén de acceso al puente Chaco-Corrientes, en la ciudad de Corrientes, donde se aprecia el efecto de la disolución que origina una serie de depresiones que terminan por unirse en un surco definido. El material corresponde a depósitos del Lujanense, el cual una vez removido aumenta enormemente su tendencia al modelo pseudokárstico.

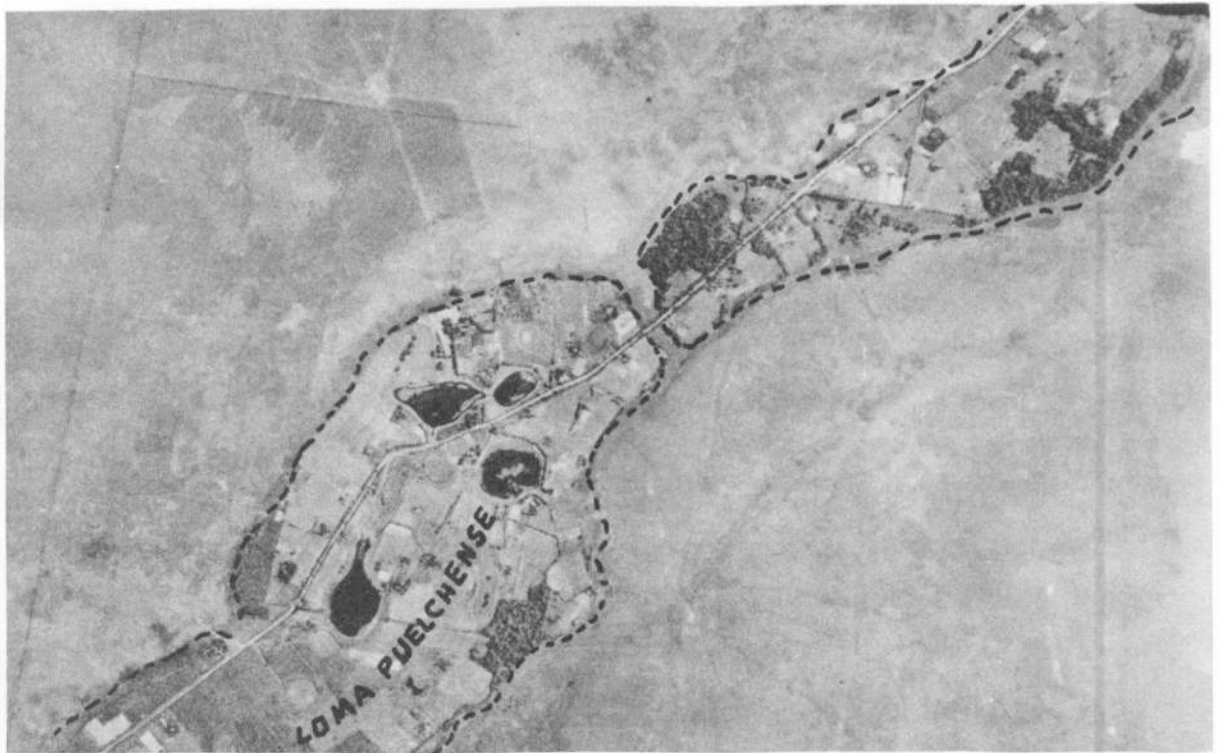


FOTO 5:

Fotografía aérea tomada por IFTA, donde se puede observar una loma puelchense muy estrecha como consecuencia de los procesos a que se hace mención en este trabajo. Obsérvese que en el punto "A" existe interconexión entre las áreas de esteros situados a ambos lados de la loma, actuando la R.P. 17 como divisoria efectiva de aguas. (Fotografía tomada en el área de la localidad de Loreto, provincia de Corrientes).



FOTO 12:

Vista del terraplén de acceso al puente Chaco-Corrientes (en la ciudad de Corrientes) a los seis meses de construido. Obsérvese el desarrollo generalizado de surcos de erosión partiendo de procesosseudokársticos y a causa de la fuerte pendiente del talud y a la facilidad de evolución hacia este tipo de modelado que presentan los sedimentos del Lujanense utilizados para la obra.

FOTO 13:

Vista de un proceso semejante en el talud de la pista del aeropuerto de Las Lomitas (Formosa), donde puede apreciarse la escasa pendiente necesaria para iniciarse el modeladoseudokárstico, favorecido aquí por la existencia de cristales de yeso en la masa lfmica.



F O T O S 9 y 10:

Vista del proceso de evolución del seudokarst en el talud de acceso al puente Chaco-Corrientes (en la ciudad de Corrientes). Se aprecia nítidamente el efecto del escurrimiento subterráneo con la formación de microdolinas y microsías que terminan por unirse, a causa de desplomes sucesivos, para originar surcos de erosión en los sedimentos del Lujanense.

F O T O 11:

Vista del proceso seudokárstico evolucionando hacia surcos de erosión en Las Lomitas (Formosa).



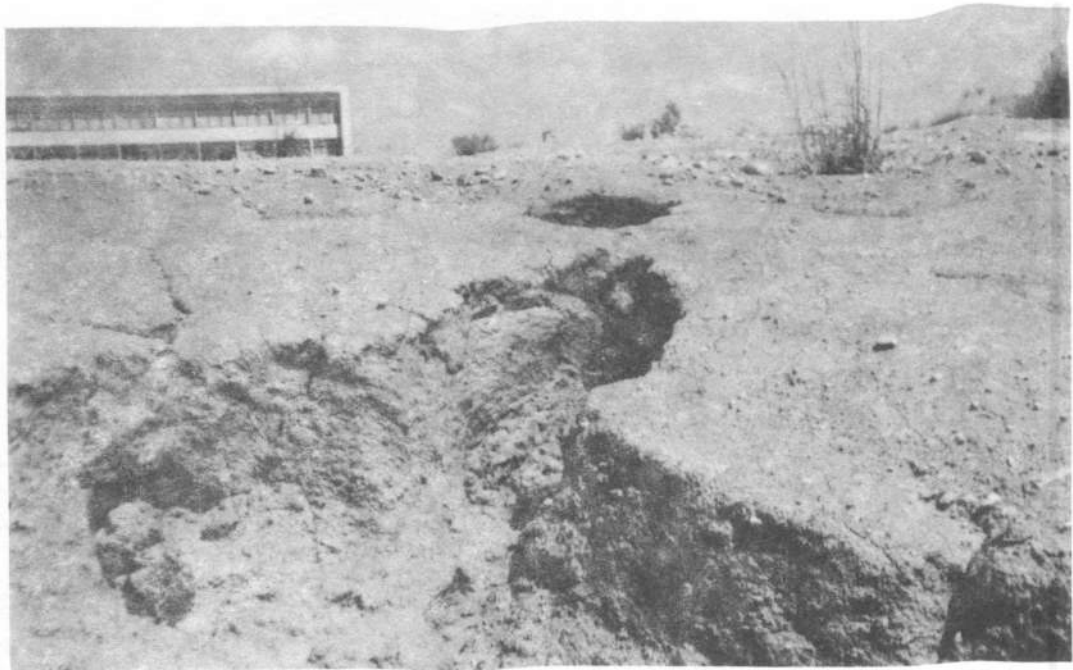
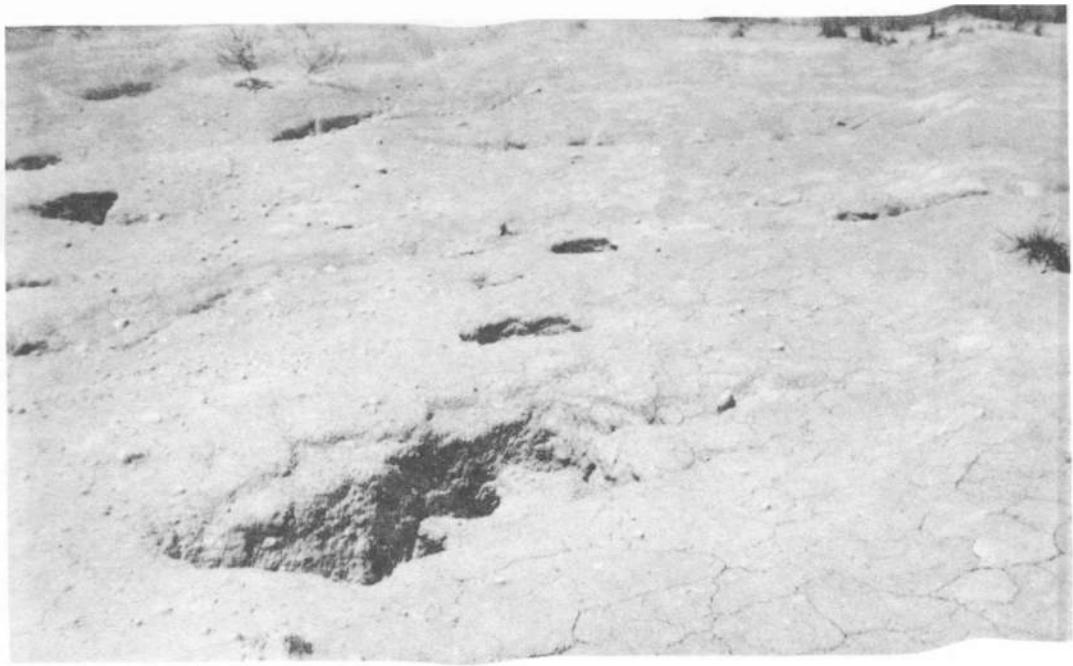
FOTO 16:

Vista del conducto de salida del escurrimiento subterráneo en la ladera del Arroyo El Sombrero al sur de la ciudad de Corrientes.

FOTO 17 y 18:

Vista de los microconos de deyección formados a la salida del escurrimiento subterráneo en el talud de acceso al puente Chaco-Corrientes, originados por el depósito de los coloides arrastrados por las aguas de infiltración.





FOTOS 14 y 15:

Vista del proceso pseudokárstico en suelos rojos tropicales de un relleno compactado en la Ciudad Universitaria de San Pablo (Brasil). Obsérvese la formación de simas alineadas siguiendo el escurrimiento subterráneo (Foto 14), el cual origina microcavernas cuya salida al exterior puede apreciarse en la Foto 15. El material tiene en este caso un alto contenido de arcilla, lo que origina la contracción poligonal que se aprecia en el ángulo inferior derecho de la Foto 15.



#### FOTOS 21 y 22.-

Vista del modelo de "bad land" en agujas en una cárcava de los alrededores de Empedrado, donde se pueden distinguir claramente los diferentes depósitos por las características morfológicas. (Foto Club Corrientes).

#### FOTO 23:

Vista de un modelo de torreón en una cárcava situada en las inmediaciones de la Hilandería Tipográfica (Corrientes). El fondo de la depresión está formado por las areniscas de la parte superior del Mesopotamiense inferior, en tanto el modelo pseudokárstico se desarrolla en sedimentos cuaternarios.



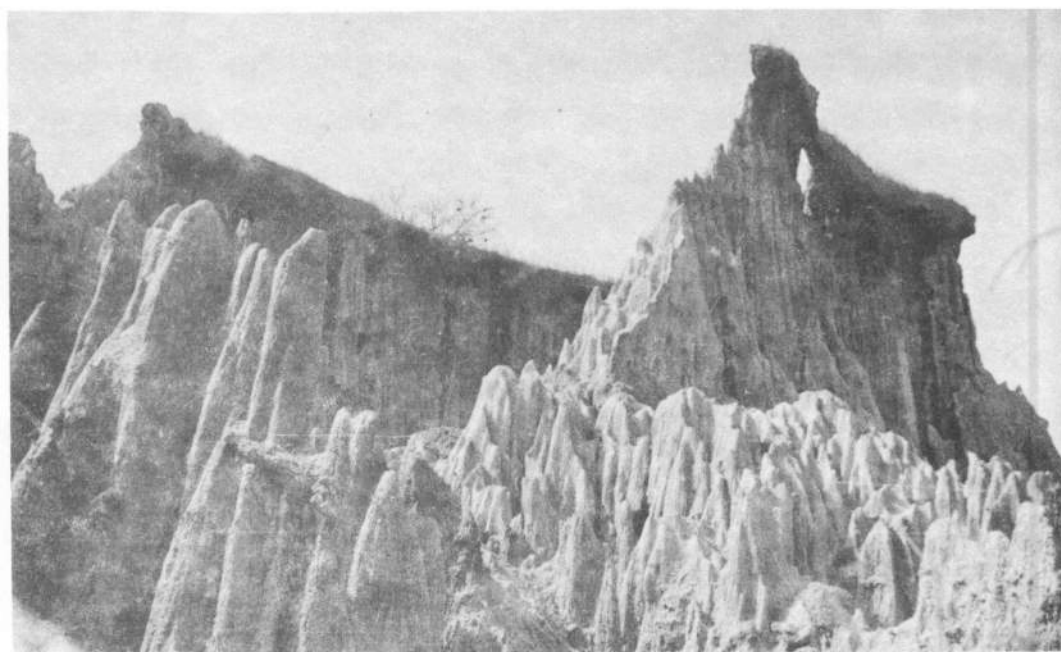
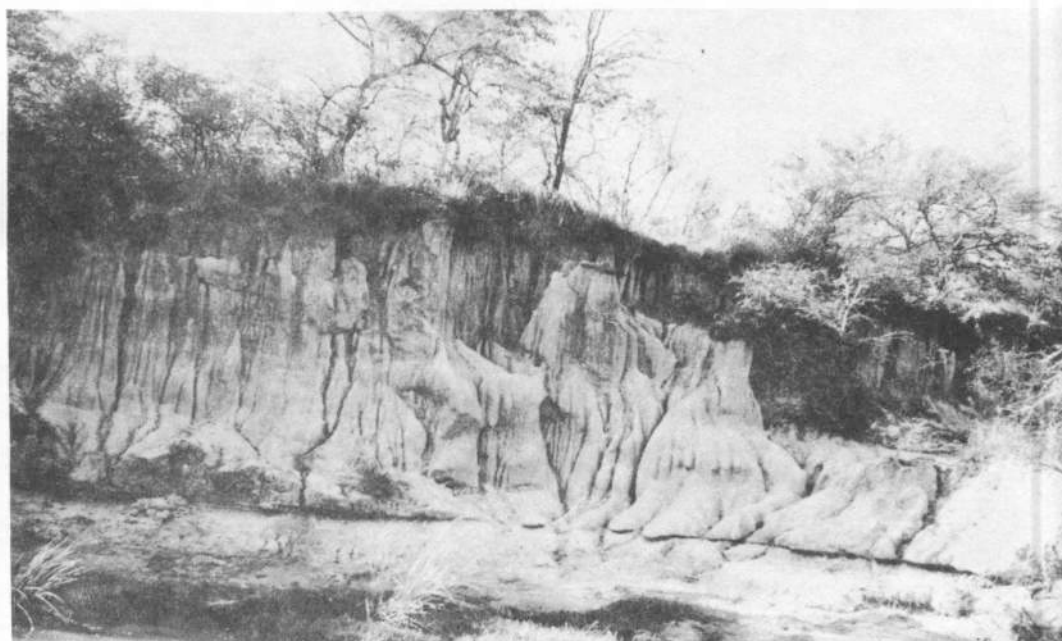


FOTO 19:

Vista de la margen derecha del Arroyo El Sombrero, al sur de la ciudad de Corrientes, aguas abajo de la R.N. 12. Obsérvese el modelo pseudokárstico avanzado sobre los sedimentos del Platanense y Lujanense, con desprendimiento de placas verticales e inicio de modelo en agujas.

FOTO 20:

Vista de una placa vertical desprendida de la ladera en una cárcava situada en los alrededores de Empedrado (Corrientes) donde se observa el progresivo desarrollo de este proceso y el típico modelado en agujas.



FOTO 26:

Fotografía aérea tomada por IFTA, correspondiente a la localidad de Empedrado (Corrientes), donde puede observarse el gran desarrollo de las cárcavas sobre los sedimentos cuaternarios. La localidad de Empedrado está emplazada sobre una loma puelchense, observándose la marcada diferencia del uso del suelo en los compartimentos de lomas y compartimentos de valles.

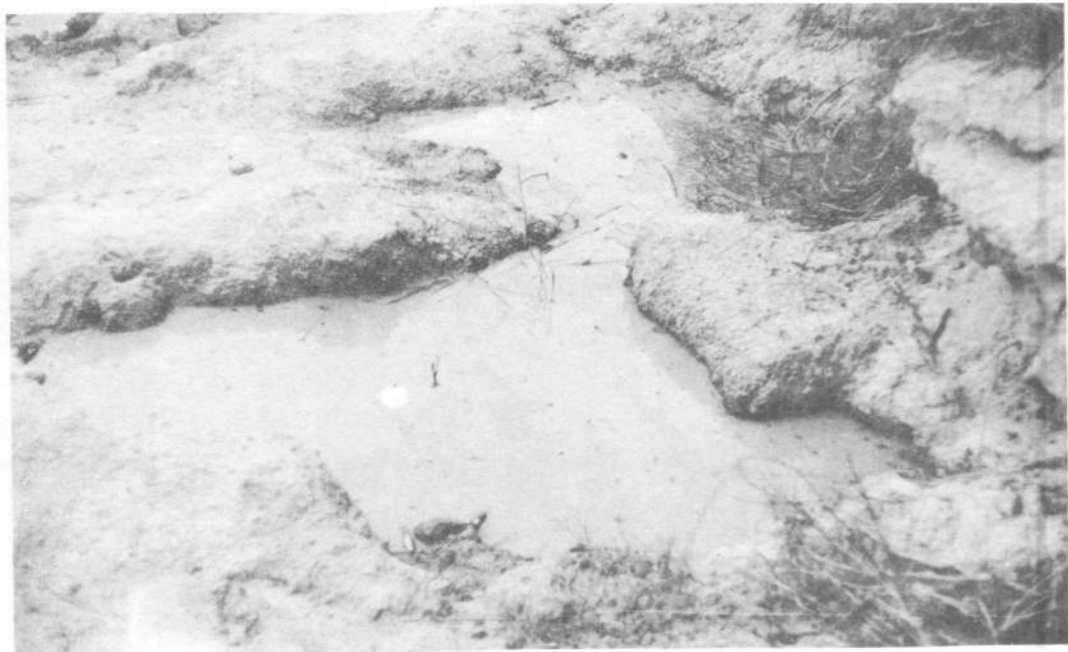
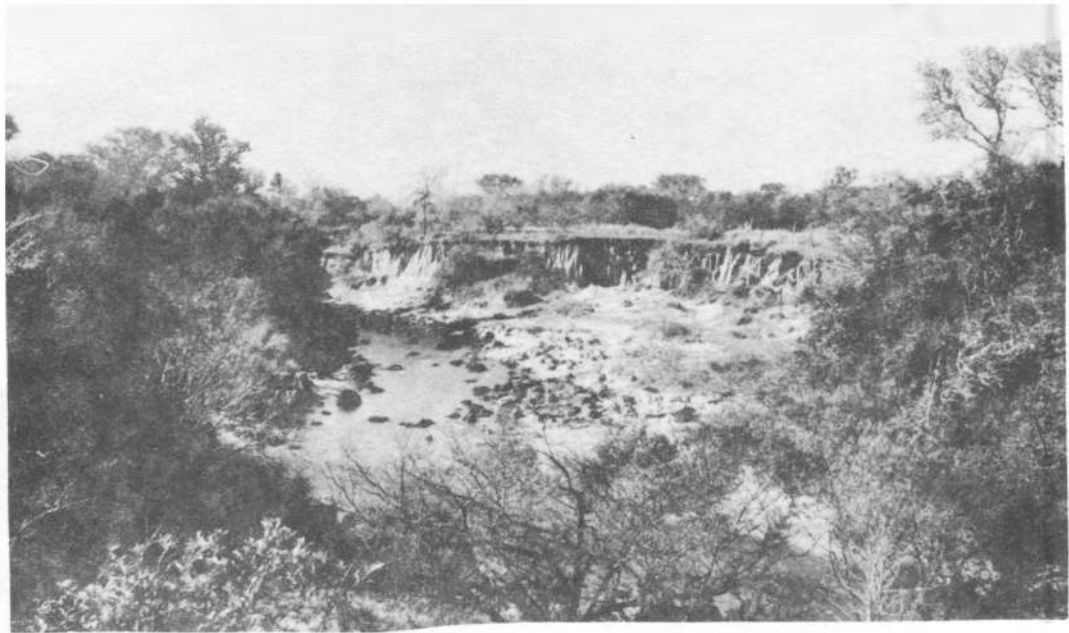


FOTO 24:

Vista del Arroyo El Sombrero, al sur de la ciudad de Corrientes y aguas abajo de la R.N. 12. Obsérvese como el proceso de entallamiento ha cortado los sedimentos cuaternarios (Platense y Lujanense) que se observa en las barrancas, llegando a los terciarios (Enterriense medio?) que forman el piso y originan rápidos a lo largo del arroyo.

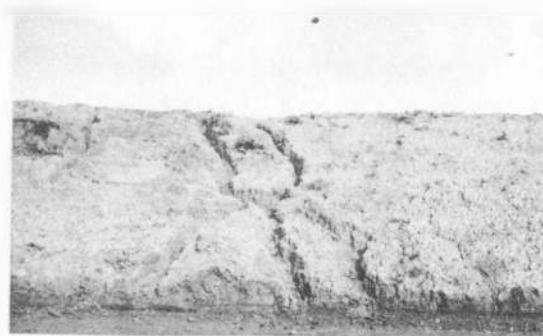
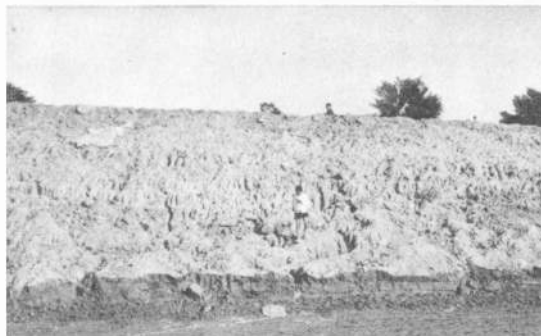
FOTO 25:

Se observa una típica depresión por disolución en los sedimentos que forman el piso del arroyo de la foto 25, El agua contenida en estas depresiones presenta un aspecto lechoso con alto contenido de sulfato de calcio.



FOTOS 29 -30 -31 y 32:

Vista de la banquina y talud del terraplén de acceso al puente Chaco-Corrientes, donde se puede apreciar el escurrimiento superficial que se pierde en simasseudokársticas para escurrir subterráneamente tal como se explica en el trabajo.



FOTOS 27 y 28

Vista del talud del acceso al puente Chaco-Corrientes a los 6 meses de construído, donde se puede apreciar la rapidez con que evolucionó el proceso pseudokársticos, originando profundos surcos y modelado miniatura del "bad land".

FOTO 33:

Vista de un proceso semejante al anterior en el camino de acceso a las pistas del aeropuerto de Las Lomitas ( Formosa ).







Fig. 4

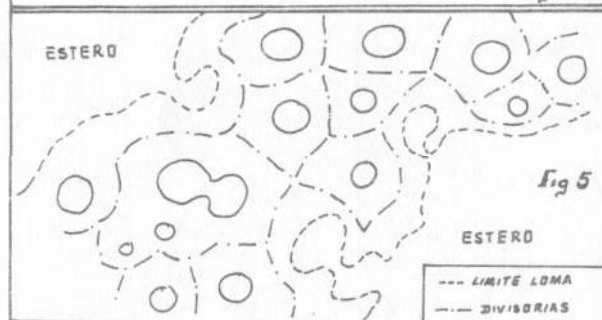


Fig. 5

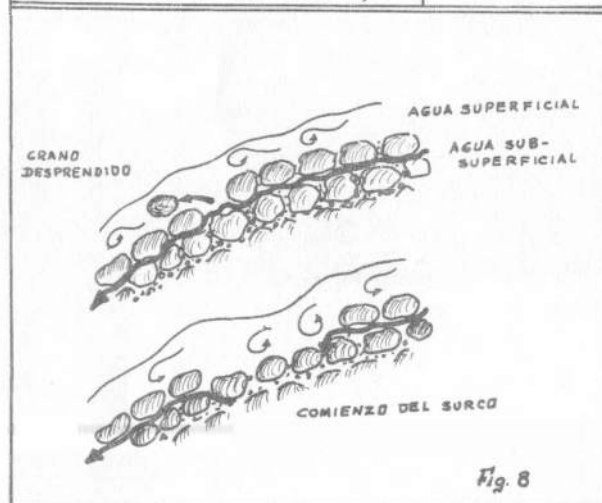


Fig. 8



Fig. 6

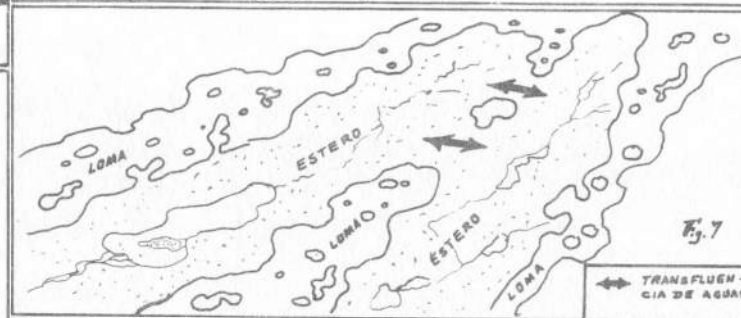


Fig. 7

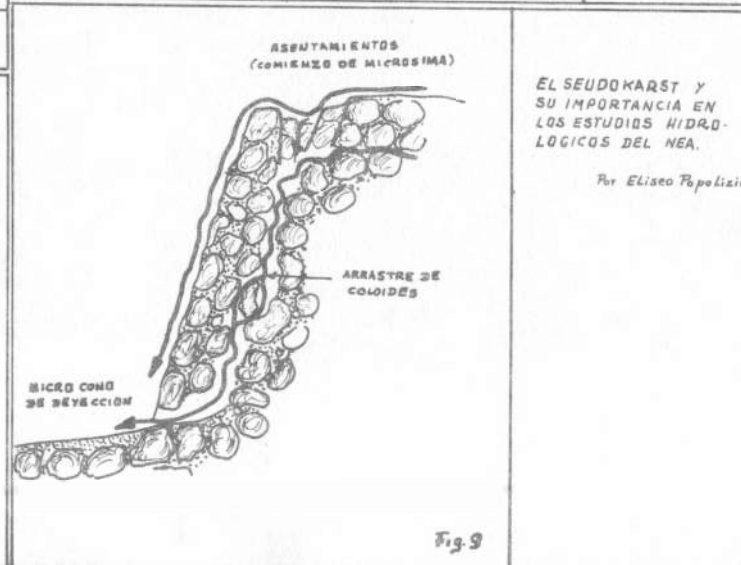


Fig. 9



FOTO 34:

Vista de una cárcava afluente de El Teuquito desarrollándose sobre sedimentos limosos con cristales de yeso (proximidades de El Aibal - Formosa). Se observan también los meandros del río Teuco.