

EL ÍNDICE DE ARIDEZ Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS DISTRITOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA MEXICANA *

Por *Luis Fuentes Aguilar*

INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la precipitación en diversas regiones del país, así como en diversas épocas del año, origina contrastes marcados en la disponibilidad de humedad para el desarrollo vegetal, así como para la práctica de la agricultura.

Para poder apreciar las condiciones de humedad del país, se disponen de estadísticas meteorológicas por medio de las cuales puede seguirse el curso de varios de los elementos del clima. Sin embargo, cuando faltan datos, en alguna zona, se puede observar el aspecto de la vegetación natural, ya que ésta es una indicadora de las condiciones de humedad de la zona en donde faltan por completo los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas.

Relacionando la temperatura y la precipitación se han obtenido diferentes índices por medio de fórmulas empíricas que permiten conocer mejor las condiciones de aridez del país.

Para determinar dicho índice, se utilizó la fórmula propuesta por el meteorólogo Ernesto Jáuregui en 1965 en su trabajo "Isotermas extremas e índice de aridez en la República Mexicana".

La ecuación propuesta, semejante a la sugerida por Emberger (1932),** es una función de las temperaturas máximas y mínimas promedio y de la precipitación media anual en milímetros.

El índice de aridez no concuerda necesariamente con el tipo de clima ya que el primero toma como base el promedio de las temperaturas máximas del mes más caluroso, las temperaturas mínimas promedio del mes más frío y la precipitación media anual.

Entre esos extremos de temperatura se desarrollan las funciones vegetativas de las plantas. La temperatura óptima de germinación y la del crecimiento muestran amplias variaciones, de manera que el índice de aridez revela las necesidades hídricas de las plantas que se desarrollan en una determinada zona.

Por lo accidentado del territorio mexicano, se presentan gran diversidad de factores que modifican notablemente las condiciones climáticas propias de la latitud en que se sitúa. De este hecho, resultan igualmente gran diversidad de condiciones en que la vegetación se desarrolla. No es suficiente tener los datos de temperatura media mensual y anual y los de precipitación ya que los extremos son los que influyen notablemente sobre el desarrollo vegetal.

* Ponencia presentada en el 1er. Simposio Mundial de Zonas Áridas en México, D. F.

** Emberger, L., Sur une formule climatique. La météorologie, París, 1932.

Distribución de las zonas áridas y semiáridas. La situación de los principales sistemas montañosos del país, es uno de los factores que modifican las condiciones naturales de las masas de aire húmedas, procedentes de los océanos. Las elevadas sierras actúan como barreras que impiden el paso de estas masas de manera que al observar el mapa de distribución del índice de aridez en la República Mexicana se puede constatar que el más elevado corresponde precisamente a la Altiplanicie Mexicana, sobre todo, en su parte norte en donde las condiciones de aridez se acentúan debido a su situación con respecto a la faja subtropical de alta presión y a la orientación general de las sierras que la limitan. El Noroeste del país revela condiciones semejantes ya que la llanura costera del Pacífico se encuentra asimismo dentro de la faja subtropical de altas presiones. La Península de Baja Cali-

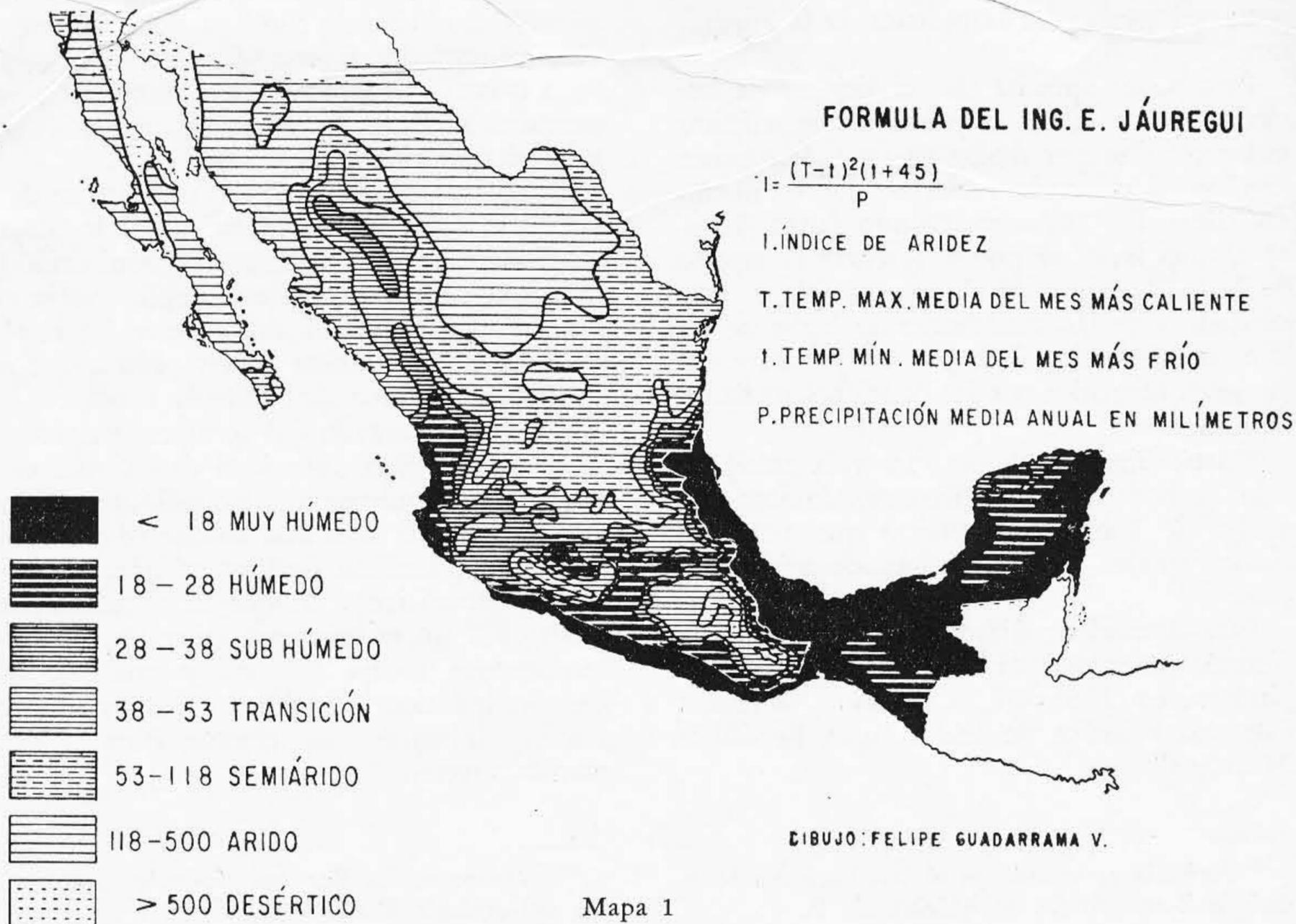
fornia es otra de las porciones del país con un índice de aridez elevado.

En el litoral del Golfo de México se manifiesta un índice semiárido al norte del Trópico de Cáncer. En el interior del país, se observan algunas zonas cuya índice semiárido detecta las condiciones topográficas en que se desarrolla. Son depresiones bajas rodeadas de elevadas sierras como la cuenca del río Tepalcatepec y, los cañones de Tomellín y Cuicatlán en Oaxaca y los valles de Acatlán y Tehuacán del sur del Estado de Puebla (mapa 1).

Calculando la superficie que abarcan las zonas cuyos índices de aridez son desérticos, áridos y semiáridos se obtiene el 56% de la superficie total del país.

Este hecho es por demás significativo, ya que es esta extensa zona en donde se acusan condiciones de deficiencia de humedad y en

DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA REPÚBLICA MEXICANA.



Mapa 1

donde existe la imperiosa necesidad de planificar el riego para la práctica de la agricultura.

Las zonas cuyo índice se cataloga como de transición se sitúan inmediatamente al sur de las anteriores correspondiendo a los piedemontes de la Sierra Madre Occidental y vertiente interior de la misma, los del Sistema Volcánico Transversal, y los de la Sierra Madre Oriental y las elevaciones de la región de la Mixteca. El área ocupada por este índice representa el 20% de la superficie total del país.

El resto, o sea el 24% es ocupado por zonas cuyo índice varía entre subhúmedo y muy húmedo, se localiza en las elevaciones de la Sierra Madre Oriental, Occidental, Sistema Volcánico Transversal, y los litorales al sur del Trópico de Cáncer, y en donde, en muchos casos se realizan obras para drenar las regiones inundadas del sureste del país.

Relación entre las zonas áridas y los Distritos de Riego. A efecto de tener bases en la planificación de los recursos hídricos y teniendo en cuenta las necesidades de humedad, examinaremos algunos otros hechos importantes.

Del total de la población económicamente activa del país, el 47.1% se dedican a actividades agropecuarias (censo general de población, 1970), dato que muestra la importancia de proyectar los recursos hidráulicos. La planificación y estudio de los Distritos de Riego data de la fecha en que fue creada la Comisión Nacional de Irrigación en el año 1926. Las obras realizadas se destinan para cubrir necesidades como: abastecimiento de agua potable, riego, abrir nuevas tierras al cultivo, desarrollo de energía hidroeléctrica, control de avenidas para evitar inundaciones, mejoramiento y conservación de la vida vegetal y animal y para fines recreativos.

Del estudio de cada cuenca hidrográfica, realizado por un equipo interdisciplinario, es posible conocer las características de los recursos hidráulicos disponibles y aprovecharlos en forma más eficiente. Se conocen aquellas cuencas que disponen de exceso de agua con el objeto de derivarla a otras, como sucede con la presa Manuel Avila Camacho en el Estado de Puebla, de la cual se pasa de la cuenca del Balsas a la del Alto Papaloapan.

La importancia del régimen de las corrientes se observa determinando la capacidad activa de los almacenamientos, tanto para riego como para energía hidroeléctrica, el control de avenidas, la capacidad de vertederos de demasías, capacidad de toma y la productividad de las plantas hidroeléctricas.

Los distritos de riego que funcionan en México tienen características muy variables desde varios puntos de vista.

Por lo que se refiere al modo de obtención del agua existen cuatro tipos distintos:

1. Con presas y vasos de almacenamiento.
2. Que aprovechan el agua de las corrientes por derivación directa.
3. Que aprovechan el agua de las corrientes, mediante su elevación a las redes de distribución con sistemas de bombeo.
4. Que extraen el agua del subsuelo por medio de equipos de bombeo en pozos profundos.

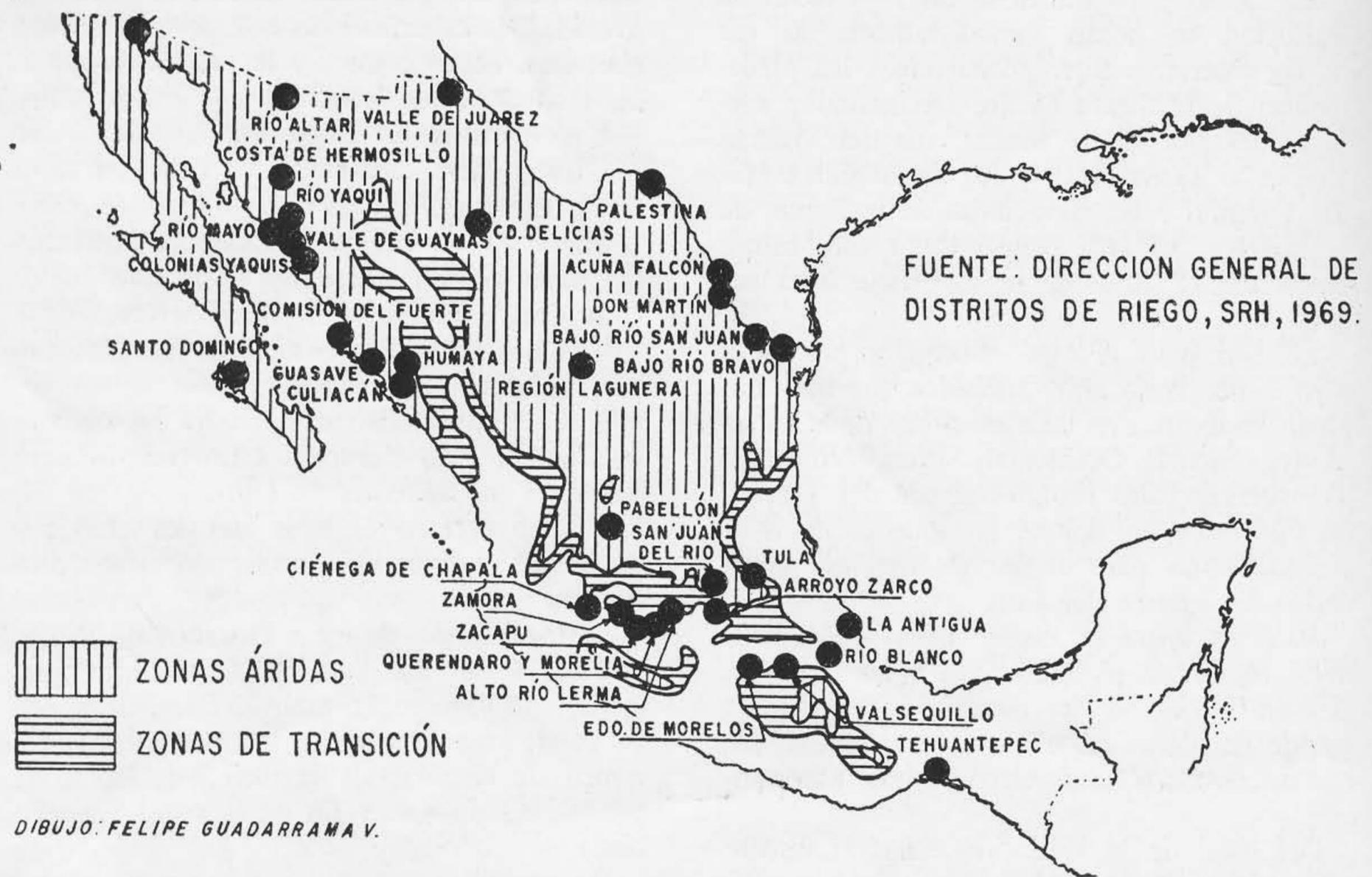
La localización de estos Distritos de Riego, además de ser una función de la hidrología, topografía y geología, están determinados por las condiciones ecológicas, los mercados, el régimen de tenencia de la tierra, así como la posibilidad de desarrollo de la región beneficiada.

En esta forma vemos que hay 42 distritos en las zonas áridas del país, 31 en la zona de transición y 63 en las zonas húmedas. Desde luego, estos datos pueden dar una idea equivocada de la labor desarrollada en las zonas áridas en donde están bajo riego el 77.2% de la superficie denominada con 2 036 472 hectáreas, de las cuales el 42.3% pertenecen a ejidos beneficiándose 117 782 ejidatarios que poseen un promedio de 7.3 hectáreas por persona, mientras que los pequeños propietarios o colonos de las zonas áridas regadas tienen un promedio de 21.8 hectáreas por persona.

En la zona de transición está bajo riego el 10.3% de la superficie beneficiada por los Distritos de Riego con 272 185 hectáreas, de las cuales el 54.8% pertenecen a ejidatarios que poseen un promedio de 2.1 hectáreas siendo el área ejidal regada de 143 343 hectáreas.

En las zonas húmedas están bajo riego 329 218 hectáreas que representan el 12.5% de las cuales el 60.3% pertenecen a ejidatarios con un promedio de 2.8 hectáreas por persona, siendo la superficie ejidal beneficiada

DISTRIBUCIÓN DE LOS DISTRITOS DE RIEGO CON SUPERFICIE DOMINADA DE RIEGO MAYOR DE 10 000 HECTÁREAS.



Mapa 2

de 1 210 476 hectáreas, comprendidas en las tres zonas: áridas, de transición y húmedas.

En el país se realizan dos tipos de obras de riego: pequeñas y grandes obras. La diferencia entre ambas está en el costo de la obra y en la cantidad de hectáreas que riegan. En muchos casos conviene la pequeña obra de riego, pero no sustituye la construcción de las grandes obras que abarcan la instalación de sistemas de producción de energía eléctrica, lo que trae como consecuencia una elevación integral del nivel de vida de grandes áreas.

La política de riego se ejerce también a través de las siguientes comisiones descentralizadas: del Papaloapan, del Lerma, del Fuerte, del Grijalva, del Balsas y de la Cuenca del Valle de México; estas atienden además de las obras de irrigación, control de ríos, agua potable, alcantarillado, tareas de promoción agropecuarias y programas de mejoramiento integral de la zona.

Los Distritos de Riego comprenden: presas, canales, sistemas de bombeo, represas, bordos, drenaje, caminos, redes de conducción y distribución, redes telefónicas, casetas para los canaleros, etc.

La Secretaría de Agricultura y Ganadería a su vez, suministra asistencia técnica en toda la República Mexicana por medio de Centros de Investigación Agrícola, recomendando: variedades de semilla, época de siembra, método y densidad de siembra, tipo de fertilización, calendario de riego, labores culturales, así como métodos para combatir plagas.

Los rendimientos que se obtienen en los Distritos de Riego son elevados en comparación con los obtenidos en zonas donde se practica la agricultura de temporal, principalmente porque dentro de los Distritos de Riego se tiene una mejor asistencia técnica. Sin embargo, aun dentro de las mismas zonas bajo riego se tienen rendimientos muy variables, producto de

la desconfianza, que provoca en algunas partes el uso de semillas mejoradas, el empleo de fertilizantes y mejoradores químicos, y la resistencia del campesino a cambiar su sistema de explotación agrícola.

Las cifras nos muestran que la mayoría de los campesinos mexicanos realizan una agricultura de tipo aleatorio o de temporal. Sin embargo, ya se hizo notar que existen zonas en la República Mexicana que poseen un régimen pluviométrico satisfactorio para la práctica de cultivos sobre todo de tipo tropical, en contraste con vastas áreas áridas y semiáridas en donde es imprescindible el riego para garantizar el éxito de cualquier cosecha.

Para la realización de este trabajo se dividieron los Distritos de Riego de acuerdo con la superficie que benefician, estableciéndose tres categorías: mayores de 10 000 hectáreas, entre 1 000 y 10 000 hectáreas, y menores de 1 000 (mapa 2).

En las zonas áridas se localizan 22 Distritos de Riego que benefician más de 10 000 hec-

táreas, 17 que riegan entre 1 000 y 10 000 hectáreas, y 3 Distritos de Riego que cubren áreas menores de 1 000 hectáreas.

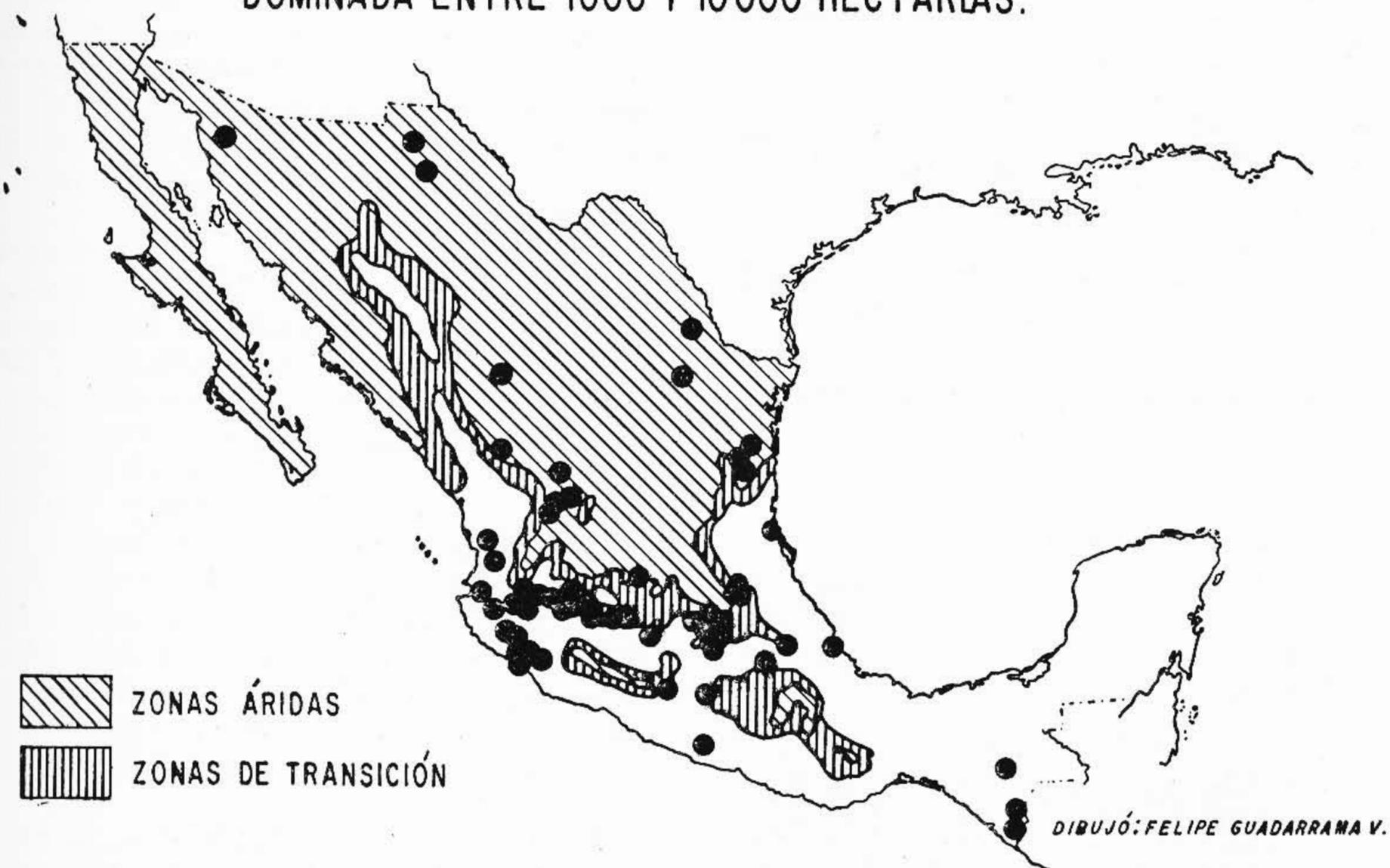
En las zonas húmedas se localizan 7 Distritos de Riego que benefician más de 10 000 hectáreas, 32 que riegan entre 1 000 y 10 000, y 24 Distritos de Riego que cubren áreas menores de 1 000 hectáreas.

En las zonas de transición se localizan 5 Distritos de Riego que benefician más de 10 000 hectáreas, 11 que riegan entre 1 000 y 10 000, y 15 Distritos de Riego que cubren áreas menores de 1 000 hectáreas (mapa 3).

De aquí se desprende que las obras de riego más importantes se localizan en las zonas áridas donde los Distritos que benefician más de 10 000 hectáreas, riegan el 74.3% del área total beneficiada.

Sin embargo, en los Distritos de Riego que benefician áreas mayores de 10 000 hectáreas según los datos presentados por la Dirección de Estadística y Estudios Económicos de la Dirección General de Distritos de Riego de

DISTRIBUCIÓN DE LOS DISTRITOS DE RIEGO CON SUPERFICIE DOMINADA ENTRE 1000 Y 10000 HECTÁREAS.

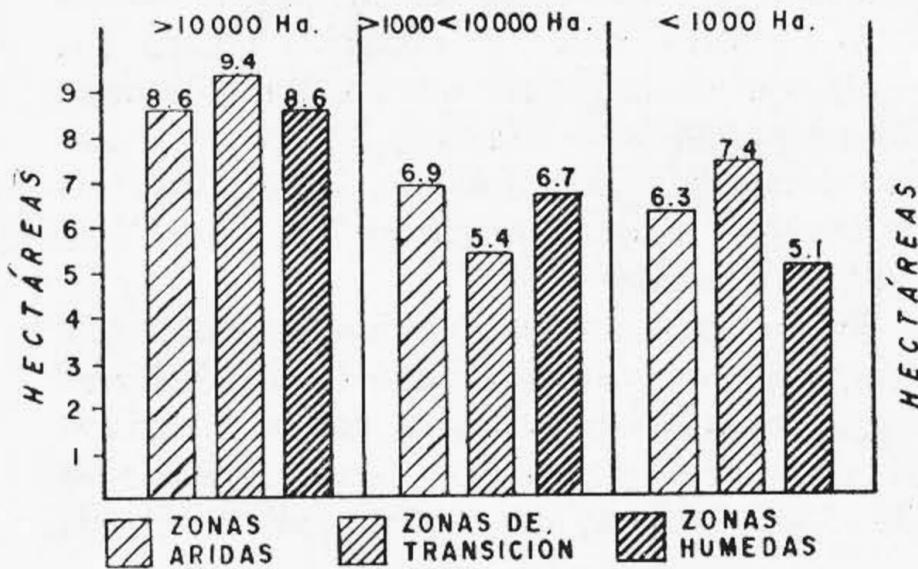


Mapa 3

la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en las zonas áridas se consumen 8.6 metros cúbicos de agua por hectárea, que es el mismo gasto que se tiene en las zonas húmedas, y en las zonas de transición, el consumo de agua se eleva a 9.4 metros cúbicos por hectárea.

En los Distritos de Riego que riegan áreas entre 1 000 y 10 000 hectáreas, el consumo de

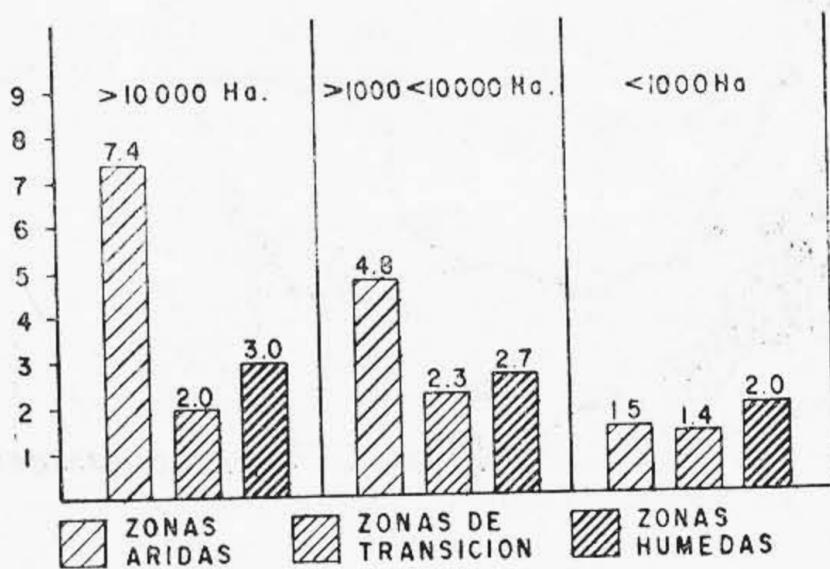
GASTOS DE AGUA EN METROS CUBICOS POR HECTAREA EN LOS DISTRITOS DE RIEGO



agua en las zonas áridas es de 6.9 metros cúbicos por hectárea, en las de transición de 5.4, y en las zonas húmedas de 6.7 metros cúbicos por hectárea, gasto muy semejante al que se tiene en las zonas áridas.

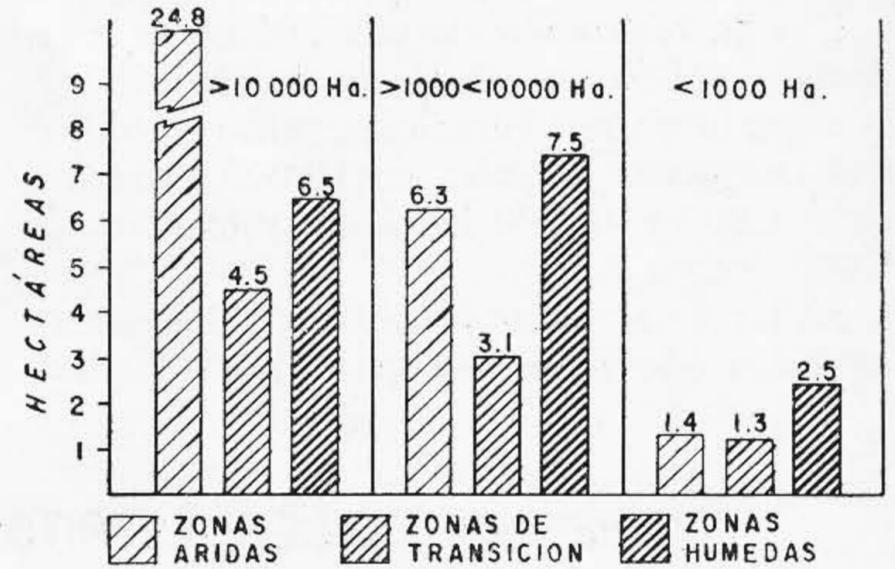
En los Distritos de Riego que benefician áreas menores de 1 000 hectáreas, en las zonas áridas se tiene un consumo de 6.3 metros cúbicos por hectárea, aumentando en las zonas de transición a 7.4 metros cúbicos por hectárea, y en las zonas húmedas el gasto es de 5.1 metros cúbicos por hectárea (gráficas).

EXTENSIÓN PROMEDIO DE LA PROPIEDAD EJIDAL EN LOS DISTRITOS DE RIEGO



De estas cifras se desprende el uso irregular que se hace de las láminas de agua. Es indiscutible que el factor más importante que influye en la eficiencia del riego y en los rendimientos de los cultivos es el calendario de riego, tanto en lo que se refiere a las fechas como a volúmenes aplicados. En cuanto al calendario de riego, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas da las recomendaciones necesarias en su Guía para la Asistencia Técnica Agrícola en México.

EXTENSIÓN PROMEDIO DE LA PEQUEÑA PROPIEDAD EN LOS DISTRITOS DE RIEGO



La importancia del calendario de riego es mayor cuando la disponibilidad de agua escasea y los costos son elevados, o cuando existen en el suelo condiciones que restringen el movimiento del agua o el desarrollo de las raíces.

El exceso de riego puede producir encharcamientos, fenómeno que reduce los rendimientos y en general, determina un aumento de los costos del agua, de los fertilizantes y del drenaje. Para poder lograr eficiencias de riego elevadas, es necesario mejorar las prácticas que actualmente se siguen al efectuar los riegos.

Las eficiencias de riego observadas con las características de los campos, los suelos, los cultivos y las prácticas agrícolas, son los factores que causan grandes diferencias en las épocas de riego y en los volúmenes usados. Son variables en tal grado, que las eficiencias de riego resultantes parecen ser eventos aleatorios con una distribución estadística amplia y poco uniforme.

Recomendaciones. Las posibilidades actuales para el mejor uso del agua han aumentado

durante los últimos 15 años debido al mejor control del agua y al establecimiento de estructuras medidoras, a la disponibilidad de métodos de más confianza para estimar la evapotranspiración, al conocimiento cada vez mayor de la respuesta de cada cultivo a los niveles de humedad aprovechables del suelo, y al equipo que ofrece el comercio para medir la humedad del suelo como base para determinar la oportunidad de los riegos.

Una de las principales razones para que las prácticas de riego no hayan cambiado sustancialmente, es que no se han modificado los procedimientos que siguen los agricultores para fijar la fecha de los riegos que se dan de acuerdo con un calendario fijo, sin tener en cuenta las variaciones climatológicas.

Además, los volúmenes aplicados suelen estar determinados por el método de riego, surcos o inundación, o la duración convencional del turno de riego, 6 ó 12 horas, en lugar de ajustarse a la cantidad de humedad aprovechable por el suelo después del último riego.

El campesino no adopta rápidamente los principios científicos modernos debido a que no tiene los conocimientos técnicos o la información necesaria para aplicar prácticas en las que influyen: el clima, la hidrología, los suelos y los cultivos. Por otra parte, los agricultores siempre muestran renuencia a desviarse de los métodos aceptados tradicionalmente para adoptar otros, cualesquiera que sean sus méritos, hasta que se les pueda demostrar que hay posibilidad de mejora y que obtendrá mayores beneficios.

Aunque tanto la fecha de riego como la cantidad de agua aplicada afectan a la eficiencia, la fecha tiene el mayor efecto sobre el rendimiento del cultivo y la calidad de la cosecha, debido a que una excesiva escasez de agua en algunas fases del desarrollo, causada por un retraso en el riego o a la aplicación de una cantidad de agua inadecuada, puede reducir de un modo irreversible el rendimiento potencial o la calidad de la cosecha, o ambos.

Cuando se hacen visibles los síntomas causados por la escasez de agua, ya se ha producido, en general, el daño o se producirá en el tiempo que transcurra hasta que se pueda regar el campo.

Las aplicaciones de agua excesivas también reducen invariablemente los rendimientos de

muchas cosechas, a menos que vayan acompañadas de fuertes dosis de fertilizantes nitrogenados para compensar las pérdidas ocasionadas por la lixiviación del suelo.

Existen varias alternativas para planear los programas de riego. En algunas zonas, es factible realizar los riegos a base de turnos de rotación con intervalos constantes y volúmenes constantes o variables, pero sin tener en cuenta las variaciones climatológicas de un año a otro. Estos sistemas determinan por sí mismos eficiencias de riego bajas y potenciales reducidos de rendimiento. De igual modo, los sistemas de gasto continuo son ineficaces debido a que la evapotranspiración y la precipitación no son uniformes durante el ciclo.

En lugar del uso de calendarios fijos, es más recomendable el empleo de calendarios variables por sistema de demanda. Este tipo de programación de los riegos se basa usualmente en la experiencia y en la observación del suelo y de ciertas características de las plantas.

Los métodos más directos para la planeación de los riegos requieren el uso de instrumentos que midan parámetros relacionados con el contenido de humedad del suelo, como los tensiómetros y los bloques de humedad.

Los tensiómetros se adaptan especialmente en el caso de cultivos que sean sensibles a una escasez de humedad en el suelo, pues indican directamente dicha escasez, excluyendo el efecto de las sales dentro del margen de la capacidad de campo, desde 0.15 atmósferas hasta unas 0.7 atmósferas.

El uso de bloques de humedad se puede adaptar mejor al caso de cultivos que pueden tolerar más la escasez de agua y al de suelos con concentraciones bajas de sales. La determinación gravimétrica de la humedad existente en el suelo da una indicación directa del consumo de agua.

Un riego eficiente implica un control de la humedad aprovechable almacenada en el suelo. Tal control requiere un conocimiento adecuado del contenido de humedad del suelo en todo momento, y la aplicación de agua necesaria para reponer su almacenamiento en el suelo, más lo que se requiera para el lavado destinado a eliminar sales donde sea preciso.

Los procedimientos para planear de un modo más exacto los riegos considerando tanto las fechas como los volúmenes a aplicar, pueden

dividirse en dos clases: los que emplean mediciones directas de los niveles de humedad en el suelo y los que utilizan predicciones basadas en estimaciones del agotamiento de la humedad aprovechable del mismo.

La medición directa de la humedad del suelo se basa en determinaciones gravimétricas, o en el uso de instrumentos que miden parámetros relacionados con la humedad del suelo. Se pueden establecer programas satisfactorios para el buen uso del agua de riego, basados en cada uno de estos procedimientos.

Los valores usados para el consumo óptimo de la humedad del suelo se basan en datos experimentales, en las características de la humedad aprovechable, en el suelo, en la tolerancia de los cultivos a una escasez de hume-

dad en el suelo y en la profundidad del sistema radicular.

En algunos sistemas de riego, el consumo óptimo es aquella cantidad de agua que se repone normalmente y puede ser independiente del tipo de suelo y de la profundidad que alcancen las raíces.

Es factible ajustar los valores del consumo óptimo para aumentar al máximo la producción por unidad de volumen de agua usada en las zonas que padecen escasez de humedad. De este mejor aprovechamiento del agua de riego dependerá el lograr mayores rendimientos tanto del mismo Distrito de Riego como de la productividad de la tierra y en esta forma será factible beneficiar nuevas tierras con las instalaciones ya existentes.

EL RELIEVE KÁRSTICO DE VALLE DE BRAVO, ESTADO DE MÉXICO

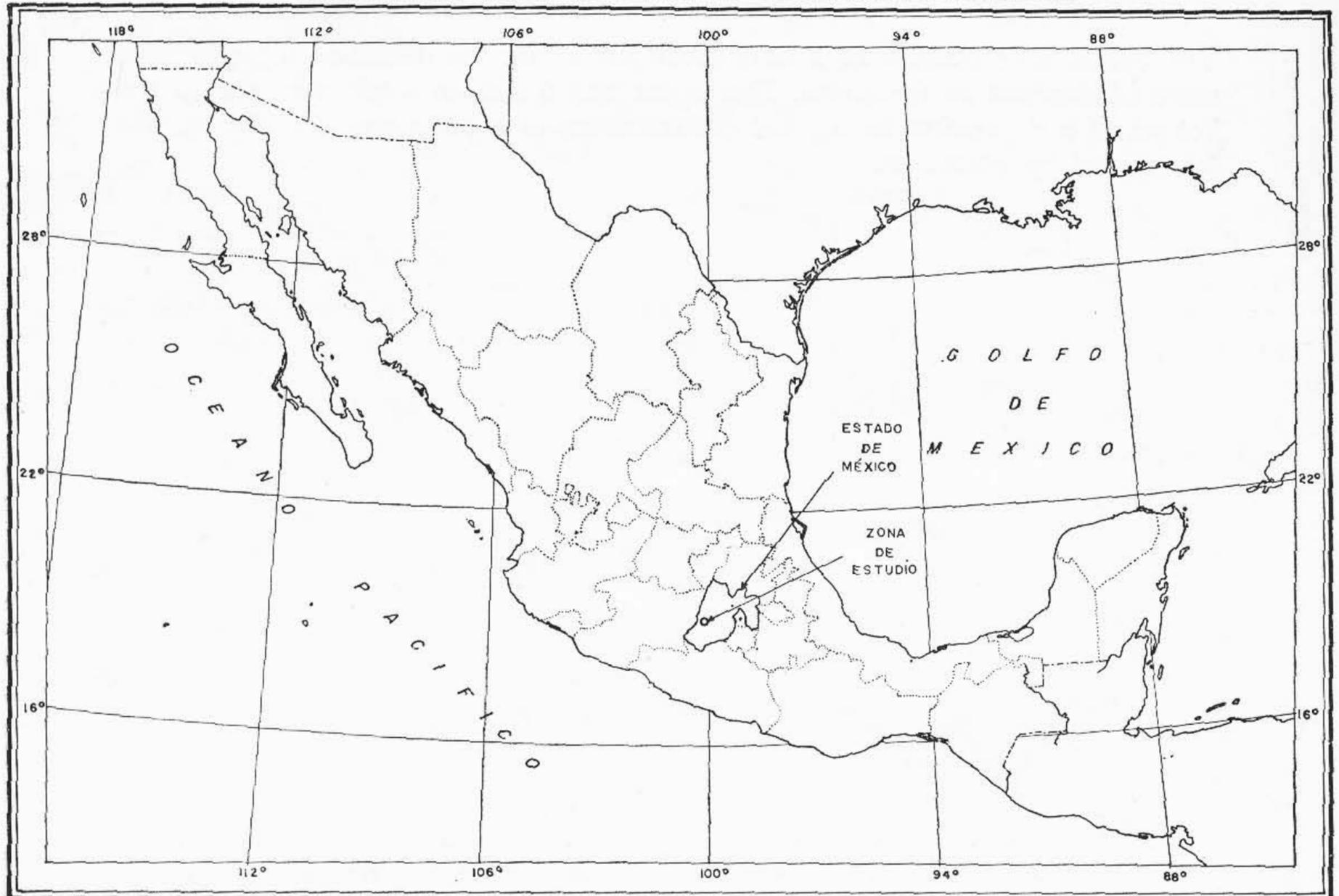
Por *Alberto López Santoyo*

Al oeste del Estado de México casi en la frontera con el de Michoacán y a una distancia de 110 kilómetros en dirección oeste-sur-oeste de la Ciudad de México, se encuentra la pintoresca población de Valle de Bravo

en la margen oriental del fondo de una depresión de forma aproximadamente elíptica y orientada de sureste a noroeste.

Junto a esa localidad, ocupando la parte más baja se halla un lago artificial de siete

SITUACIÓN DE VALLE DE BRAVO EN LA REPÚBLICA MEXICANA.



kilómetros de longitud, con un promedio de dos kilómetros de ancho, que es el mayor de una serie escalonada que forman el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, uno de los principales con que cuenta el país.

El relieve circundante es montañoso y generalmente con pendientes moderadas.

El basamento estructural de una amplia región dentro de la cual queda comprendida la zona de estudio es calcáreo, pero en la superficie predominan formas y materiales volcánicos. Cerca del lago se encuentra también roca metamórfica derivada de sedimentos antiguos.

Los principales escurrimientos que llegan a la presa provienen de las zonas localizadas al sur y al oriente, son de aguas cristalinas que forman cerca de su desembocadura vistosas cascadas sobre roca basáltica. El lago tiene una superficie translúcida de color azul verde pálido. Sólo en la época de lluvias, que se concentran de junio a octubre y después de una fuerte precipitación, las aguas de escurrimiento se enturbian por unas horas, debido al transporte del material erosionado de los suelos oscuros o rojizos de la región, pero esto no tiene influencia visible sobre la coloración general del lago.

En fotografías aéreas, tomadas hace aproximadamente 25 años, puede verse que antes de construirse la presa, el fondo de la depresión era una fértil llanura cultivada, a lo largo de la cual pasaba un río. Se encontraban también algunos arroyos que bajaban a la llanura en dirección al río, sin alcanzarlo pues terminaban en sumideros.

A dos kilómetros del extremo noroeste del lago y aproximadamente 100 metros abajo del nivel de éste se encuentra un manantial y hay otro en la parte norte un poco arriba del nivel del lago, que también indica una circulación de aguas subterráneas en la región.

En la margen oriental del lago, entre éste y Valle de Bravo se encuentra una colina de caliza masiva que se conoce localmente con el nombre de "La Peña" y sobre la cual se desarrolló un importante proceso geomorfológico que dejó rocas con formas espectaculares conocidas con el nombre de *lapiaz*.

Las características mencionadas hacen suponer que la depresión fue un polje donde el proceso kárstico fue interrumpido por la acti-

vidad volcánica y que el desarrollo del lapiaz se efectuó sobre un "hum" del polje.

—Un polje es una depresión cerrada sobre terreno calcáreo y cuya longitud es de algunos kilómetros hasta algunas decenas de kilómetros, con una anchura desde algunos centenares de metros hasta varios kilómetros; los taludes son pronunciados y el fondo es plano con un suelo fértil derivado de la intemperización de la caliza. Por lo general, hay un río que recorre la llanura que forma el fondo y se pierde en un sumidero llamado *ponor*.

Algunos poljes están siempre inundados parcialmente o contienen un lago. La parte plana puede tener mogotes rocosos llamados *hum* o también pueden presentar una topografía de lapiaz.

Un polje se desarrolla en una depresión que puede ser de origen tectónico o debida a un proceso avanzado de disolución. Esta depresión recoge las aguas subterráneas y crea un manto de inundación, formando después la planicie por sedimentación. Si el polje evoluciona por fases, las oscilaciones del nivel de agua a través del tiempo pueden provocar variaciones o trastornos en las formas, como exhumación de relieves antiguos de fondo que pueden evolucionar posteriormente en *lapiaz*.¹

Es indudable que la región de Valle de Bravo ha tenido un complejo desarrollo geomorfológico, sin embargo, el presente trabajo tratará del lapiaz que es el único relieve propiamente kárstico que ha quedado actualmente.

La parte superior de La Peña, donde se encuentra el lapiaz tiene aproximadamente un kilómetro de longitud, unos 400 metros de anchura y con respecto a la parte plana, alrededor de 150 metros de altura.

Por el lado suroeste, que mira al lago, se nota un desprendimiento de bloques en evolución regresiva que ha dejado un testigo de perfil recortado muy irregular en la cima. Han logrado desarrollarse allí, agaves y otras plantas pequeñas que se fijan en las irregularidades de la pared rocosa y que junto con los manchones de líquenes y hongos contribuyen a darle un bello e impresionante aspecto.

Por el lado noreste se aprecian una serie de escalones de bordes redondeados y la cubierta

¹ M. Derruau, *Geomorfología*, Ediciones Ariel, S. A., Barcelona, 1966, pp. 226-268.

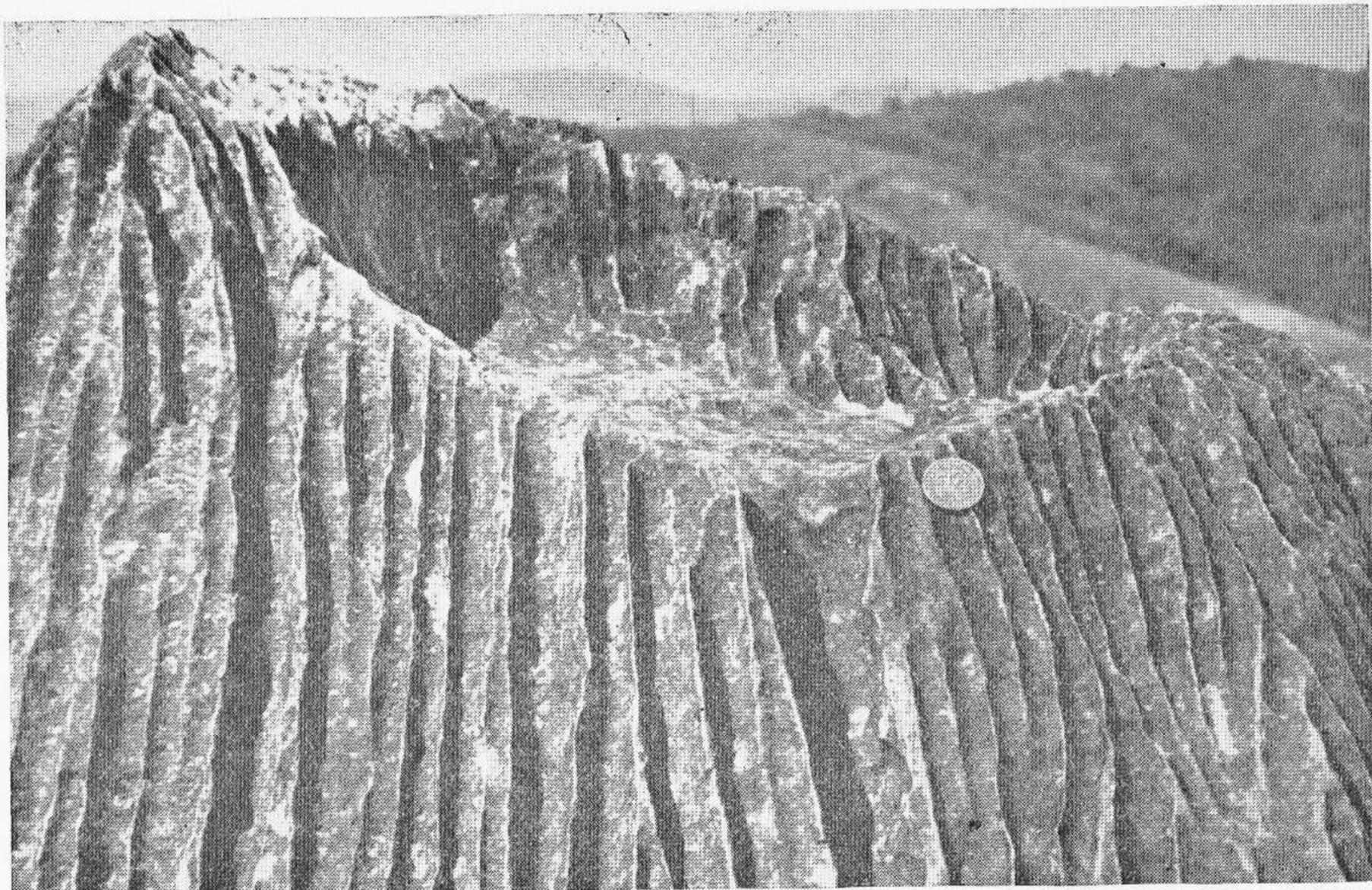


FIG. 1. Depósito que capta el agua de lluvia en la parte superior de una roca estriada.

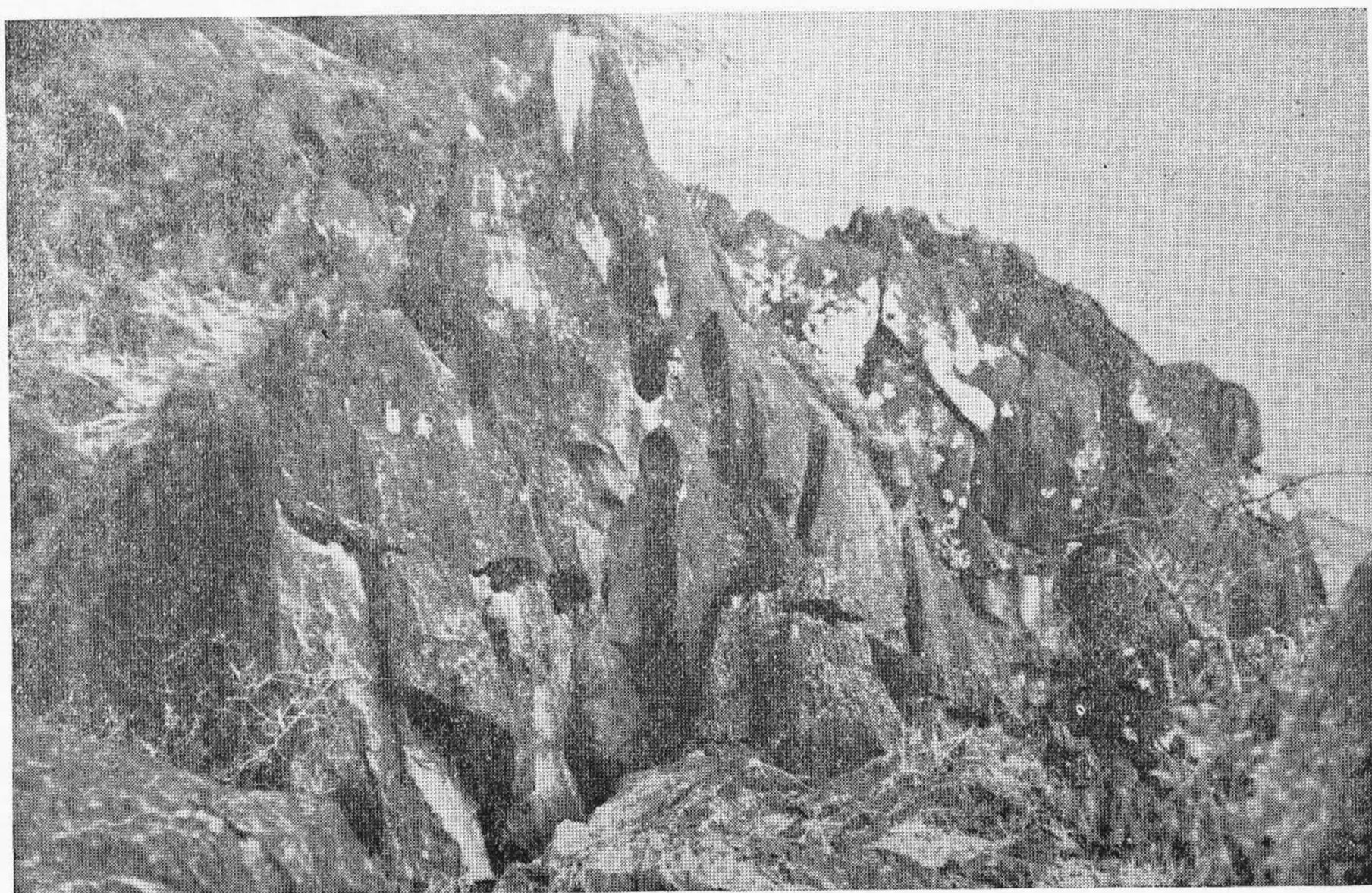


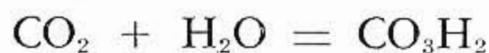
FIG. 2. Pináculos con huecos alineados, por disolución a lo largo de planos de estratificación y otros producidos por vegetación.

de suelo y derrubios suben mucho más arriba que en el lado opuesto, apareciendo ya cerca de la cumbre la roca desnuda.

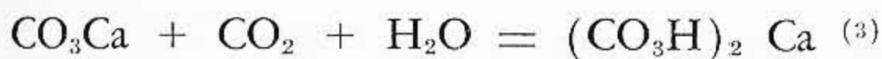
El lapiaz se debe a un fenómeno de disolución de la caliza favorecido por condiciones especiales donde concurren factores muy diversos: geológicos, topográficos, climáticos, químicos y biológicos.

—El principal constituyente de la caliza es el carbonato de calcio, que es prácticamente insoluble pues se requieren aproximadamente 75 000 partes de agua para disolver una de carbonato de calcio. Sin embargo, el agua de lluvia contiene disuelta una pequeña cantidad de ácido carbónico al reaccionar ésta con el dióxido de carbono del aire proporcionado por las plantas, y después ataca al carbonato de calcio transformándolo en bicarbonato de calcio que es como 30 veces más soluble en agua pura y muchas veces más si el solvente contiene algo de ácido carbónico—²

—El proceso simplificado de disolución es el siguiente



Sumando estas dos reacciones:



Este proceso opera en la superficie de la roca caliza que es entonces desgastada y modelada.

La disolución por el agua de lluvia es aumentada por la acción de los ácidos orgánicos de las plantas y si tiene lugar en horizontes intermedios, bajo la superficie, es aumentada por los ácidos húmicos del suelo.

El agua que se infiltra puede llegar a formar mantos y escurrimientos subterráneos, causando una considerable disolución que progresa en forma ascendente.

Cuando las formas predominantes de un determinado relieve son debidas a procesos de disolución de la roca caliza se le denomina relieve kárstico.

En La Peña las formas principales del lapiaz son las rocas estriadas en su superficie exterior. Las estrías son paralelas y a veces notablemente uniformes. Generalmente miden de dos a tres centímetros de ancho y se presentan verticalmente. Donde la superficie rocosa se reduce o donde forma un escalón, dos o más estrías pueden unirse formando una mayor. Si la superficie rocosa aumenta, la cresta que separa dos estrías puede bifucarse dando lugar en ese punto al comienzo de otra. Figuras 1 y 4.

La acción mecánica y la disolución química del agua de lluvia se manifiestan claramente en las rocas estriadas que en la parte superior tienen un hueco o depósito donde se acumula el agua y es desalojada por una estría lateral ensanchada o por varias estrías que se han unido formando una mayor. Fig. 1. En algunas rocas se aprecia un sistema de drenaje bien definido.

La caliza además de ser masiva está intensamente fracturada y el agua que penetra por las fracturas verticales se acumula en el fondo donde produce una mayor disolución lateral. La evolución de estas fracturas origina rocas aisladas. Fig. 3.

A lo largo de los planos de estratificación se forman por disolución huecos y alveolos que quedan alineados aun cuando las rocas hayan quedado aisladas unas de otras. Fig. 2.

La cima de esta colina está formada por una serie de pináculos truncados que más abajo son escasos. El que aparece en la fig. 2 tiene un hueco con entrada lateral, y en él pueden caber de pie alrededor de 10 personas.

Algunas de las paredes de las rocas son muy delgadas y en otros los huecos interiores hacen que al golpear levemente con una pieza metálica, se produzca un sonido corto y débil con el mismo timbre que el de una campana.

Se encuentran en algunas rocas, huecos cilíndricos de diferentes tamaños que hacen suponer que fueron hechos por troncos y raíces de plantas que ya no existen. Fig. 2.

Es evidente que el proceso de disolución que ha dejado todas estas formas no es actual, sino que tuvo lugar en una determinada época y las formas resultantes se preservaron bajo ciertas circunstancias, pues las condiciones climáticas y ecológicas de nuestro tiempo no favorecen el desarrollo del fenómeno.

² A. K. Logeck, *Geomorphology*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1939, p. 135.

³ M. Derruau, *Geomorfología*, Ediciones Ariel, S. A., Barcelona, 1966, p. 259.

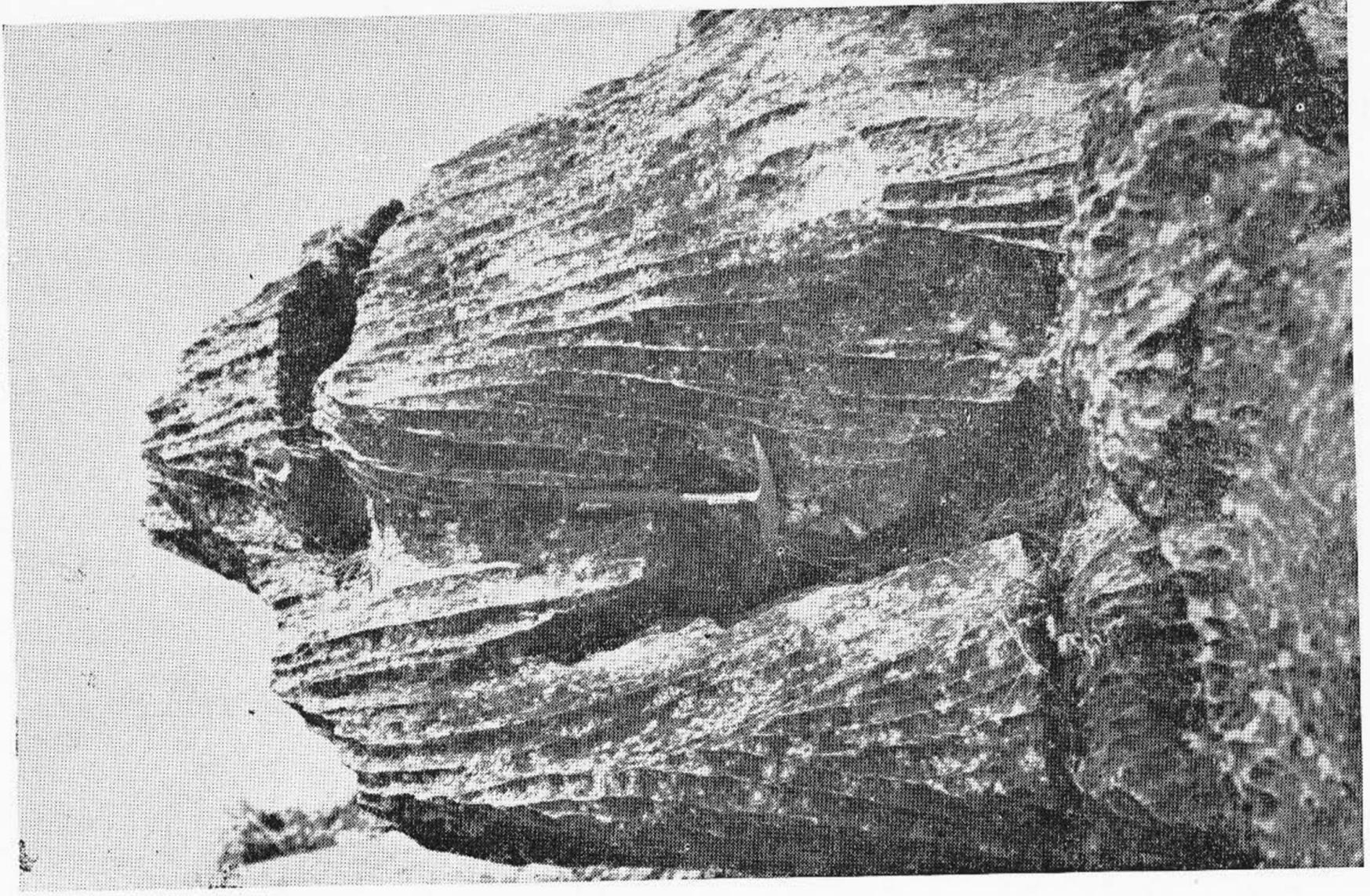


FIG. 4. Roca estriada, con huecos por efecto de la disolución a lo largo de fracturas y planos de estratificación.

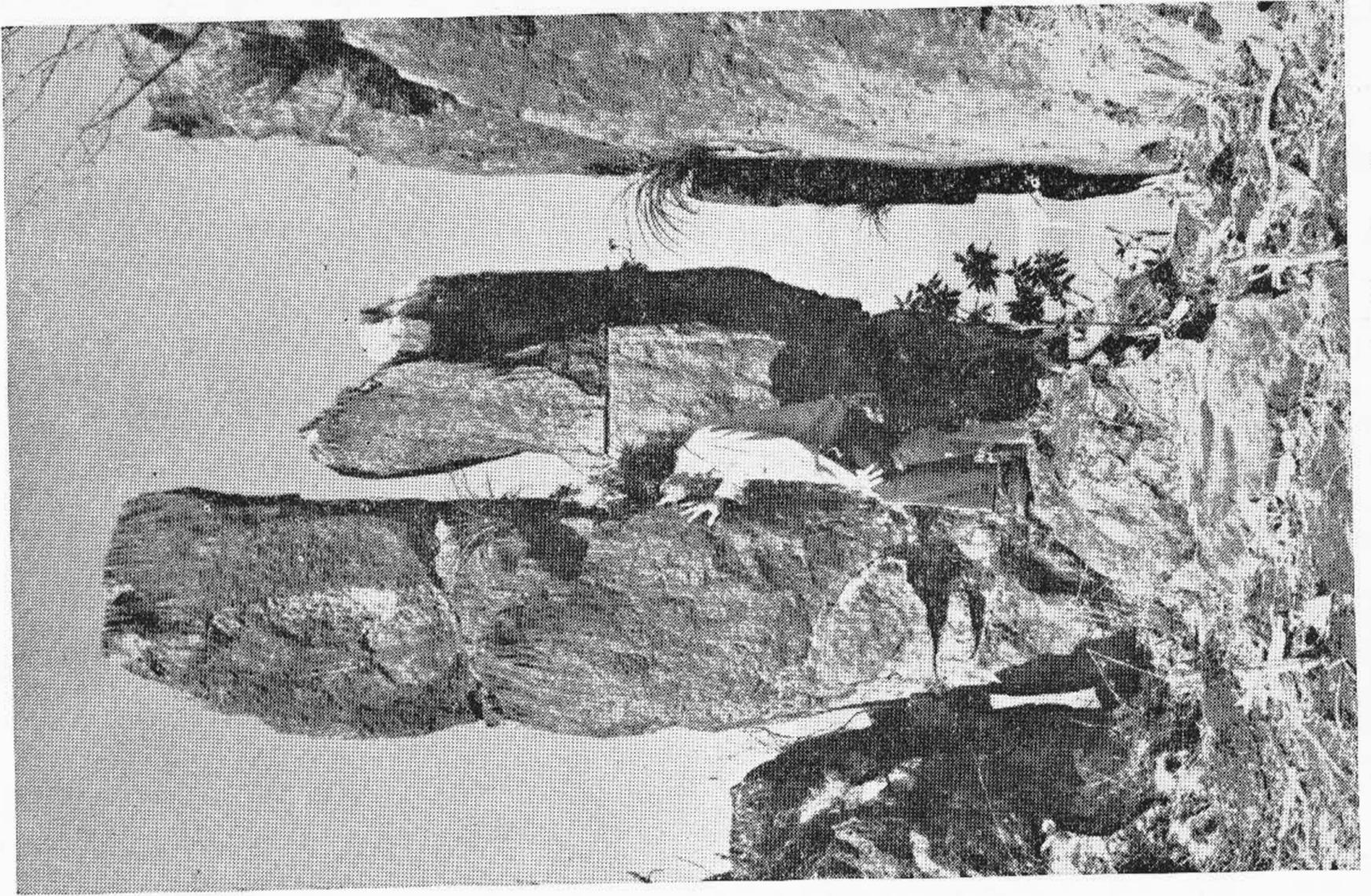


FIG. 3. Pináculos formados por la disolución sobre fracturas verticales que se ensanchan más en la parte inferior.

Valle de Bravo recibe una precipitación media anual de 1 311 mm; la temperatura media anual es de 18.3°C y se encuentra a 1 847 metros de altitud.

En otras regiones donde se tienen condiciones geológicas, litológicas y topográficas análogas, con precipitaciones mucho mayores y con una mayor cantidad de dióxido de carbono en el aire proporcionado por una densa vegetación, no se ha desarrollado realmente un lapiaz o alguna de sus formas características.

Además, la vegetación que hoy se encuentra sobre el relieve en cuestión es raquílica y los arbustos fracturan la roca al crecer; sólo entre sus raíces se nota una pequeña disolución, pero no la suficiente para darles espacio conforme crecen.

Esto indica que además de una escasez de ácidos orgánicos, el aire no tiene los elemen-

tos necesarios para ayudar a disolver la roca, esto es, una abundante precipitación y gran cantidad de dióxido de carbono proporcionado por las plantas.

Por otra parte un modelado tan superficial como el dado por las estrías no puede ser muy antiguo.

Es posible que la última fase de desarrollo del fenómeno de disolución y la formación de estrías date de las épocas pluviales del Pleistoceno y las formas se hayan preservado, después, bajo una capa de sedimentos, pues las características que presenta la colina son las de un relieve exhumado, por el escaso desarrollo de los taludes en la base, la carencia de abarrancamientos en ellos y la ruptura de pendiente que lo limita de la parte plana. Además, la parte superior más expuesta al intemperismo es la que presenta destrucción en las formas del lapiaz.