

tuate the causal characteristics of the modelling whether the object of the study be karst or cryonival modelling. The alternation of freezing and thawing favors, in fact, the evolution of the cryonival forms, and exercises its vigorous action in the plateau in the month May, June, September and perhaps even in the first half of October, that is, in that period in which the daily thermal average is above 0° centigrade but the night minimum is constantly below 0° C. In the months of July and August, however, even the minimum temperature remains generally above 0° C and thus the solvent action of the melting and falling waters is more important than cryonival action. The blanket of snow performs an important action; precipitations in solid form are particularly abundant in the plateau. These precipitations, besides often protecting the ground from freezing, constitute a potential water reserve, both because they contribute to maintain the constantly humid terrain and because in the summer months they are the source of relevant quantities of water which favor an intense action of chemical dissolution.

Undoubtedly the surface modelling action has had its preliminary causes in the lithologic make up of the zone and in the surrounding conditions. But we must not forget another element of fundamental importance, and that is the present state of rock-riving. In fact, both the solvent action of the melting waters and that due to freezing and thawing have been able to act with great intensity in the points of minor resistance of formations present. In fact, and in agreement, in most cases with faults, diaclasses and leptoclasses a whole series of characteristic phenomena of erosion has started and developed. These phenomena if in the general lines do not change the aspect of the plateau, do modify its surface with a nervous and accentuated texture of terraces, niches, furrows, and cavities. And it is precisely on these formations I focused my attention trying to determine their genesis and the development.

In fact, one can note how the form of the cavity, that is a) the predominant direction of development and, b) the profundity, is fundamentally tied up with the presence of diaclasses and leptoclasses, which have rendered the water convey easy and relatively more abundant. And thus, to the presence of one or two almost parallel diaclasses are joined forms that are generally very lengthened in one direction, agreeing with the di-

rection of the diaclasses. In the case of two diaclasses, however, the forms are notably deeper and wider. When instead one is in the presence of a more or less numerous group of diaclasses, forms originate that are rounder and elliptical even if rather limited in dimensions.

Naturally if the karst and cryonival actions have contributed to the creation of these forms, each has marked them differently. In fact, while cryonival action has performed an intense dismantling of the surface, the karst action for the most part has effected the progressive deepening of the cavities and of the large fissures.

Thus we are watching on one hand a mountain landscape more uniform or anyway less incised in its lines, and on the other, the succession of forms in which the local erosion is very intense.

Bibliography

1. CAPELLO, C. F. (1960): Terminologia e sistematica dei fenomeni dovuti al gelo discontinuo. „Mem. e Studi Geogr. Univ. Torino“, Serie A, vol. VI, pp. 320.
2. CORBEL, J. (1957): Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques regions de comparaison. Etude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires. „Mem. et Docum. de Ist. d'Etud. Rhod. de l'Univ. de Lyon“, 12, p. 541, 162 fig. n. t., 100 fot. f. t.
3. CORBEL, J. (1957): Karsts hauts-alpins. „Revue de Geogr. de Lyon“, vol. XXXII, fasc. 2, pp. 135—158, 14 fig. n. t., 2 tav. f. t.
4. CVIJIĆ, J. (1924): The evolution of lapies. A study in karst physiography. „Geogr. Rev.“. Vol. XIV, pp. 26—49, 25 fig. n. t.
5. LEONARDI, P., ROSSI, D. (1957): La scogliera coralligena del Sella nelle Dolomiti Occidentali. „Ann. Univ. di Ferrara“, vol. III, fasc. I, pp. I—36, 27 fig. n. t. 8 tav. f. t.
6. LEONARDI, P. (1961): Carta geologica della Val di Fassa e dei Gruppi Dolomitici circostanti. Scala 1:25.000, Pubbl. Ist. Geol. Univ. di Ferrara.
7. MOJSISOVICS, E. V. (1879): Dolomitriffe von Südtirol und Venetien. Beiträge zur Bildungsgeschichte der Alpen, Hölder, Wien, pp. 552, 30 tav. f. t., I carta geol. alla scala 1:75.000.
8. NANGERONI, G. (1938): Morfologia del Gruppo di Sella e della regione del Berbellino. Soc. Ed. „Vita e pensiero“, Milano, pp. 1—34, fig. n. t., 3 tav. f. t.
9. NANGERONI, G. (1938): Fenomeni glaciali nel Gruppo di Sella. „Boll. Comit. Glac. It.“, 18, pp. 105—118, 4 tav. n. t.
10. REITHOVER, O. (1928): Geologie der Sellagruppe (Südtiroler Dolomiten). „Jahrb. d. Geol. Bund“, Bd. 78, Heft 3—4, pp. 529—579, 13 fig. n. t., 1 tav. f. t., 1 carta geol. alla scala 1:25.000.
11. SERVIZIO IDROGRAFICO (1957): Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921—1950, Roma.

BLATT 3 (NORD-PUERTO RICO) DES INTERNATIONALEN KARSTATLAS

ARMIN GERSTENHAUER
(siehe Beilage)

Für die finanzielle Unterstützung bei der Herausgabe des Blattes schuldet die Karstkommission der Wissenschaftlichen Gesellschaft an der Universität Frankfurt Dank.

Beilage 1 zur ERDKUNDE, Bd. XVIII, Heft 2

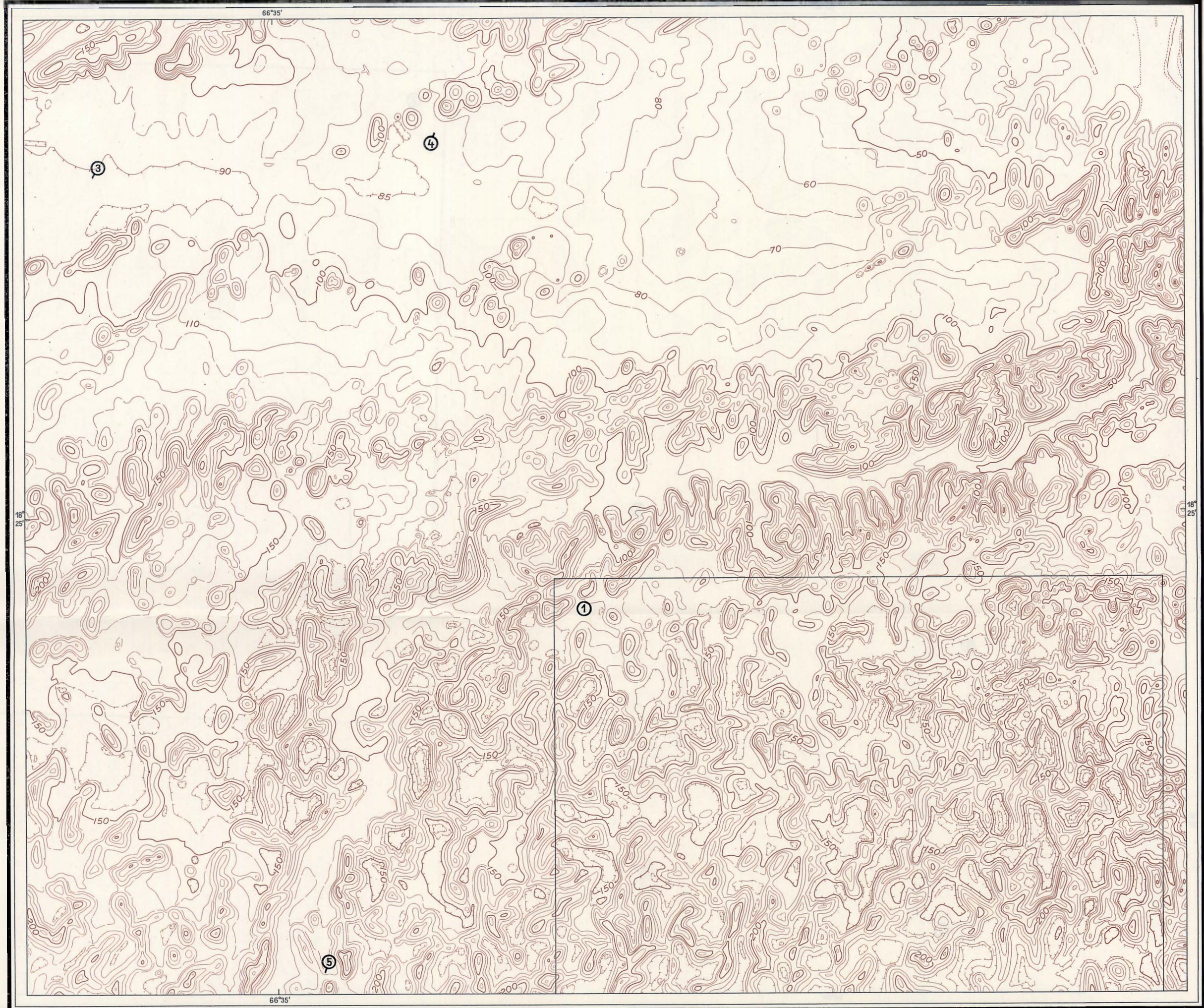
NORD-PUERTO RICO

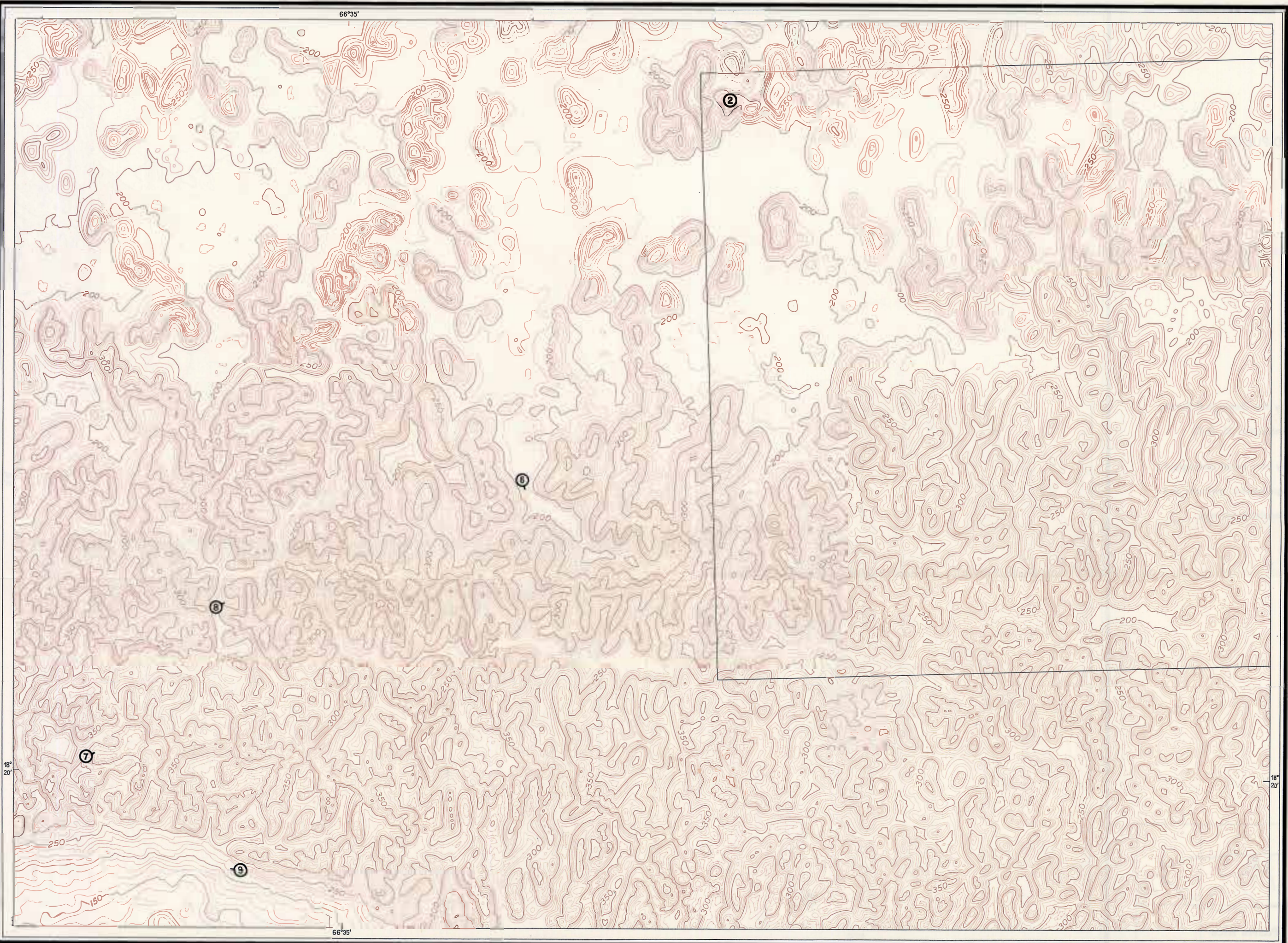
1 : 20 000

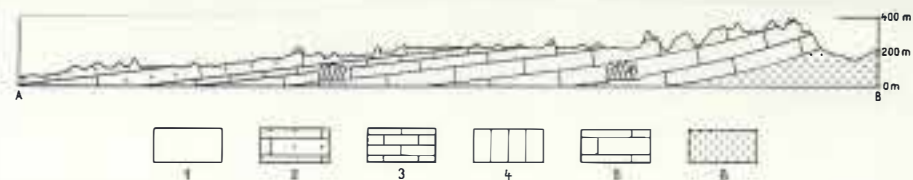
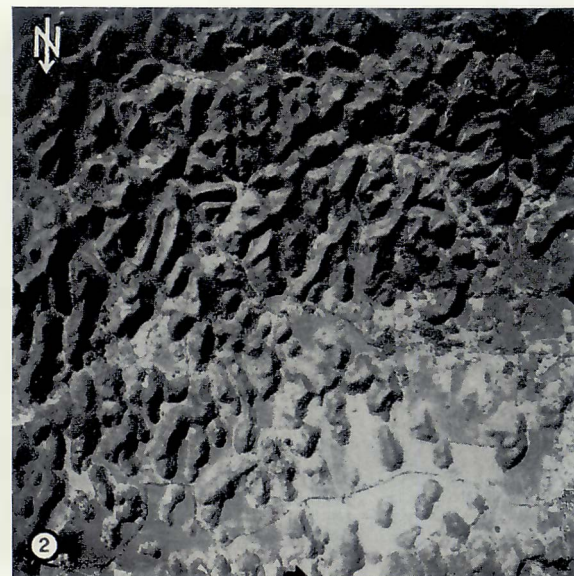
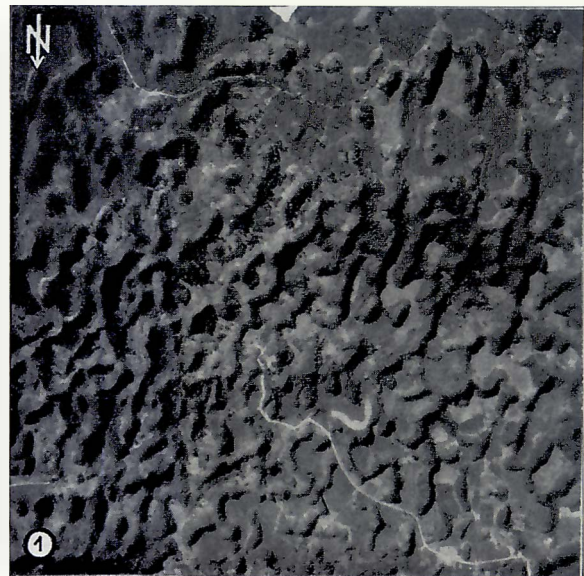
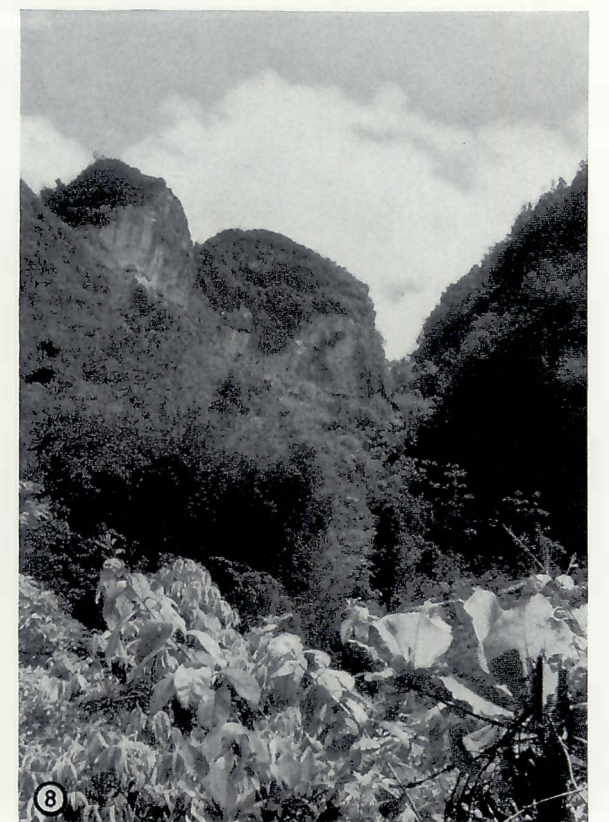
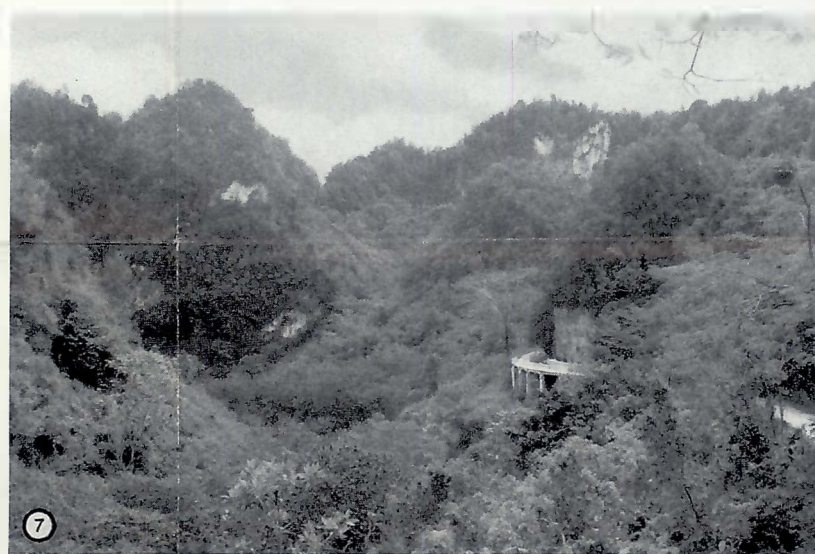
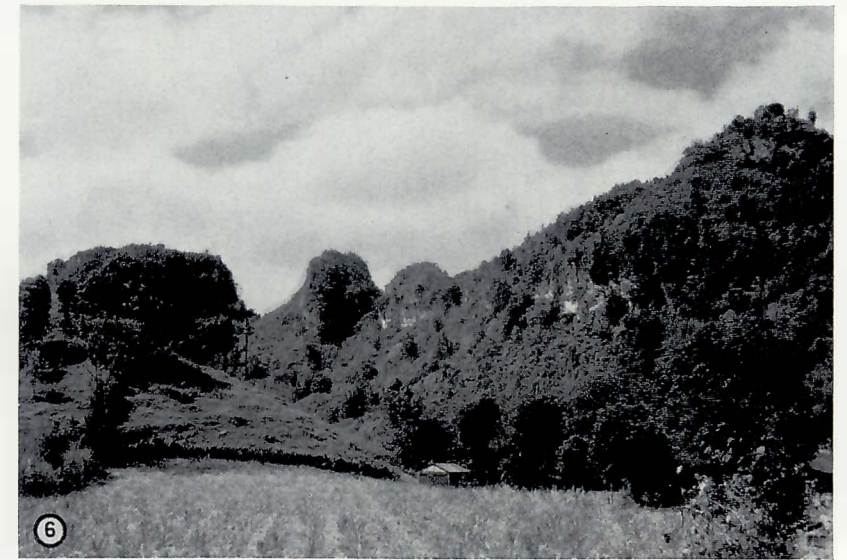
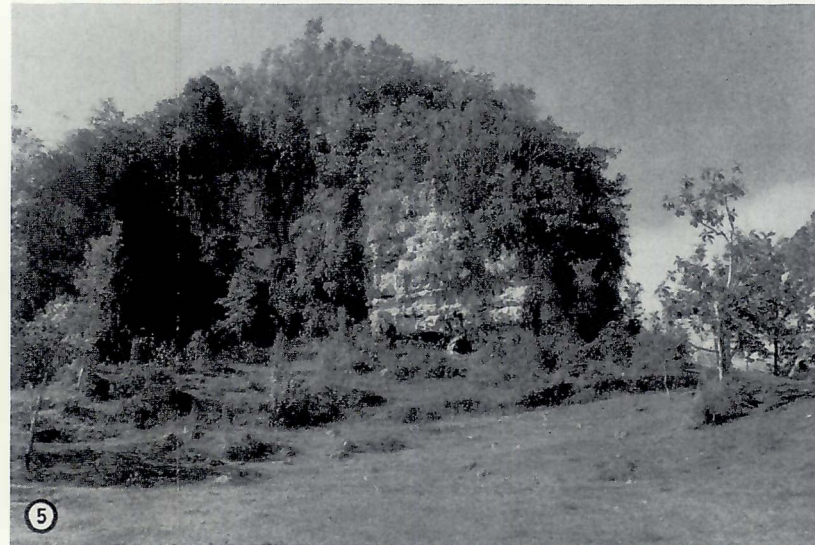
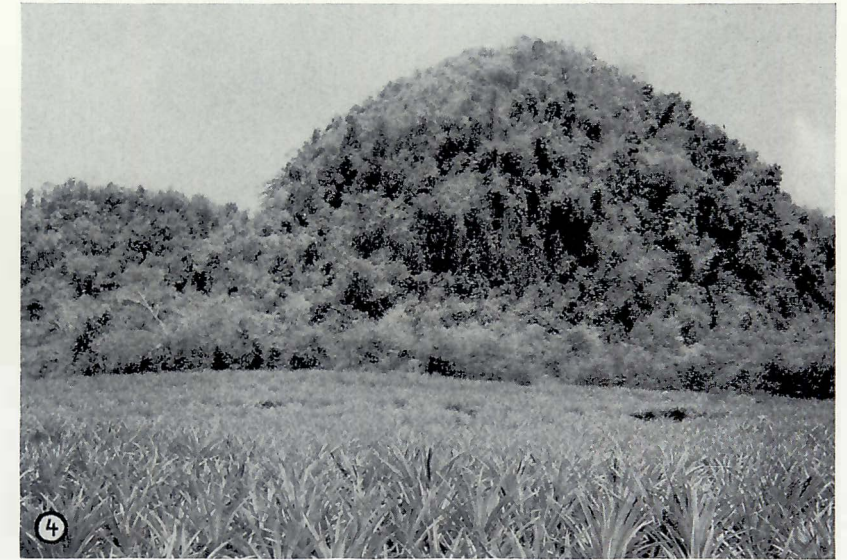
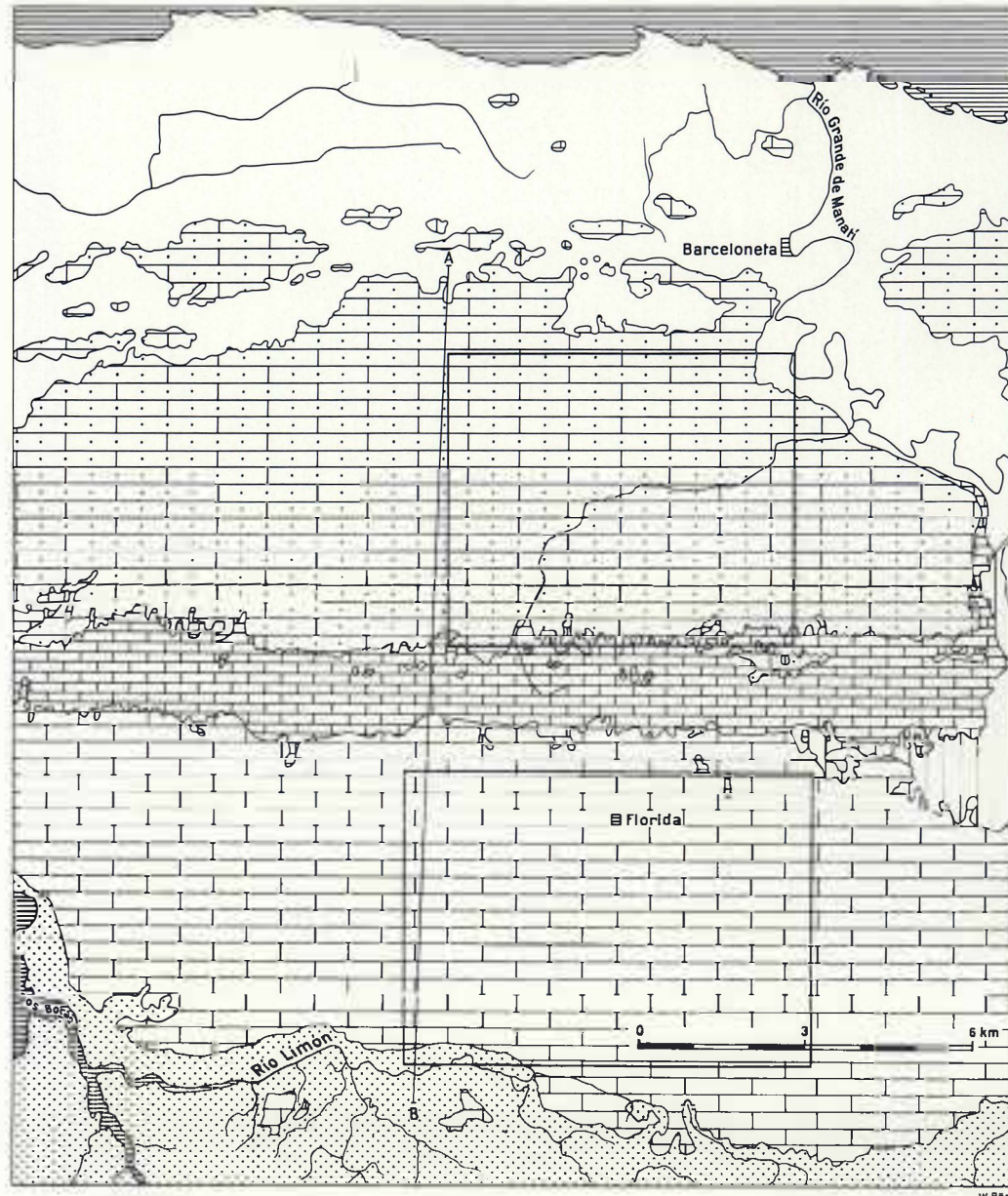


Mapped by the Geological Survey
Washington 25, D. C.

Topography from aerial photographs
by photogrammetric methods and
planetable surveys







Internationaler Karst-Atlas / Atlas internacional de fenómenos cársticos / International Atlas of Karst Phenomena

Im Norden von Puerto Rico leitet ein Saum tertiärer Kalke vom kretazischen Kern der Insel zur Küste über. In diesem bis zu 20 km breiten Gürtel hat sich ein typisches Kegelkarstrelief entwickelt. Die Karten zeigen zwei Ausschnitte aus dem Mittelteil dieses Gebietes zwischen dem Río Grande de Manatí und dem Río Grande de Arecibo.

Geologie
(nach Zapp, A. D., Berquist, H. R. & Thomas, C. R., 1948)
(Die Ziffern entsprechen denen der Legende zur geologischen Skizze)

| | | |
|--|--|----------------|
| 1. Klastische Sedimente (nicht differenziert) | Dünen, z. T. verfestigt (Beachrock), Sande und Schotter als Ausfüllung der Lagunen und Ästuare und als dünne Auflage der Karstverebnungen | Quartär |
| 2. Aymamón-Kalk (bis 300 m) | Dichter, weißgelber bis grauer, feinkristalliner Kalk. In den unteren Lagen sehr rein (um 98% CaCO ₃); nach oben hin etwas tonhaltiger | Unt. Miozän |
| 3. Aguada-Kalk (75 m) | Dichter, sehr harter, weißer bis roter, feinkristalliner Kalk (95%—97% CaCO ₃), grobgebant. Mergelkalke sind eingeschaltet. | |
| 4. Cibao-Mergel (0—100 m) | Tonige Mergel und kreidige Kalke. | |
| 5. Lares-Kalk | Weißer, graue bis cremefarbene, massige Riffkalke (um 95% CaCO ₃) | Mitt. Oligozän |
| 6. Klastische Sedimente, krist. Gesteine (nicht differenziert) | | Kreide |

Im Unteroligozän werden die Küstengebiete im Norden und Süden der Insel abgesenkt und überflutet. Auf der kretazischen Peneplain kommen an der Nordküste tertiäre Sedimente — im hier betrachteten Abschnitt die Schichten von des Lareskalke bis zu den Aymamónkalke — zur Ablagerung. Im Mittelmiozän wird das Schichtpaket leicht nach Norden gekippt und aus dem Meere herausgehoben und so der Erosion, bzw. der Korrosion ausgesetzt. Es bildet sich die „Saint John-Peneplain“, von der möglicherweise am Südrand des Kalksaumes noch vereinzelt Reste vorhanden sind (Meyerhoff, H. A., 1933). Am Ende des Miozäns führt eine erneute Hebung um etwa 250 m zu neuer Belebung der Abtragung, zur Zerstörung der Saint John-Fläche und Bildung der „Caguana-Peneplain“. Am Ende des Pliozäns wird das Land abermals gehoben und leicht nach Nordosten gekippt. Die Meeresspiegelschwankungen im Pleistozän haben die Sedimentation der klastischen Sedimente in Strandnähe zur Folge.

Morphologie

Der gegenwärtige Formenschatz wurde durch Korrosion aus der Caguanafläche herauspräpariert. Etwas kompliziert werden die Verhältnisse durch die eustatischen Meeresspiegelschwankungen, bzw. durch die nicht kontinuierlich verlaufende Hebung. Wenn auf den ersten Blick auch der Karstgürtel eine zerschnittene nach Norden gekippte Fläche zu repräsentieren scheint (Meyerhoff, H. A., 1938), so lassen sich doch verschiedene Niveaus ausgliedern. Im nördlichen Teil haben die korrosiven Verebnungen eine durchschnittliche Höhenlage von 90—110 m; nach Süden zu steigt die mittlere Höhe auf 150—200 m. Diese letztgenannten Verflachungen lassen sich unter Umständen noch einmal unterteilen. Überragt werden diese Gebiete von den Mogotes der Lareskalke, die das Vorland in Form einer Achterstufe um 100 m bis 200 m überragen, deren Karsthohlformen jedoch kein einheitliches Niveau zeigen. Die Höhenlagen der Korrosionsebenen und ihr treppenartiges Ansteigen nach Süden müssen mit ehemals wirksamen Vorflutniveaus in Zusammenhang gebracht werden („Korrosionsbasis“). Nach den neuesten Forschungen (Kaye, C. A., 1959) können die glazialeustatischen Schwankungen zur Erklärung dieser Stufung nicht herangezogen werden. Die höchsten pleistozänen, marinen Sedimente, die sicher nachgewiesen werden konnten, befinden sich in einer Höhenlage von etwa 40 m. Möglicherweise sind sie ins „Yarmouth“ zu stellen. Nördlich von Dos Bocas befinden sich am Río Grande de Arecibo Terrassenreste, die einen Hinweis auf die Ruhepausen während der Hebung geben. Diese Terrassenreste sind heute bereits wieder völlig verkarstet und in Mogotes aufgelöst (im Profil angedeutet). Die Gipfel der Mogotes auf diesen Terrassen erreichen eine Höhe von ± 130 m, bzw. 120 m. Vermutlich handelt es sich dabei um das ehemalige, korrespondierende Vorflutniveau zu den ± 100 m-Verebnungen. Eine ältere Terrassengeneration wurde im Karstgebiet nicht gefunden.

Ob die feinsandigen Lehme in den Karsthohlformen des 200 m-Niveaus als Rückstandsprodukte unreiner, mergeliger Kalklagen oder als marine Ablagerungen zu deuten sind, konnte aus dem Charakter der Sedimente nicht eindeutig erschlossen werden. Sicher sind dagegen die im ± 100 m-Niveau anzutreffenden sandigen Tone ein Gemisch von Fremdmaterial und Residualtonen. Die weiten Verebnungen müssen wohl zum Teil als das Ergebnis der „Seitenkorrosion“ altpleistozäner Inundationen betrachtet werden (Karstrandebenen). Die Meeresspiegelschwankungen im Jungpleistozän haben nur noch die Gebiete berührt, die unter ± 40 m liegen. Im Wechsel von Erosion und Akkumulation werden die Ästuare und Lagunen zugeschüttet, Dünen gebildet usw. Der gesamte gegenwärtige Karstformenschatz ist im wesentlichen im Quartär entstanden, wenn auch die erste Anlage während des Pliozäns stattgefunden hat.

Der Wandel des Karstformenschatzes von N nach S ist weniger an die geologischen Formationen geknüpft, als vielmehr an den petrographischen Wechsel und die Höhenlage über dem Vorfluter. So sind die Kuppen in den Aymamónkalke denen in den Aguadakalke sehr ähnlich. Aus kleinen Schuttmänteln, deren Hänge ein Gefälle von 15—20° aufweisen, erheben sich häufig in Steilwänden die Karstkegel bis zu 50—60 m relativer Höhe. An den steileren Stellen fehlt der Boden

En el norte de Puerto Rico una zona de calizas terciarias conduce del nucleo cretáceo de la isla hacia la costa. En esta zona de 20 km de anchura se ha desarrollado un típico relieve de carsto cónico. Los mapas muestran dos sectores de la parte central de este terreno entre el Río Grande de Manatí y el Río Grande de Arecibo.

Geología
(según Zapp, A. D., Berquist, H. R. y Thomas, C. R., 1948)
(Los números corresponden a los de la explicación del bosquejo geológico).

| | | |
|---|--|------------------|
| 1. Sedimentos clásticos (no diferenciados) | Dunas, en parte consolidadas (Beachrock), arenas y gravas que llenan las lagunas y estuarios y que cubren finamente las planicies cársticas | Cuaternario |
| 2. Caliza de Aymamón (hasta 300 m) | Caliza compacta, de color blanco-amarillo hasta gris y de fina cristalización. En los lechos inferiores muy pura (alrededor del 98% de CaCO ₃); hacia arriba más arcillosa | Mioceno inferior |
| 3. Caliza de Aguada (75 m) | Caliza compacta, muy dura, blanca hasta roja y finamente cristalizada (95%—97% de CaCO ₃), formando bancos toscos. Calizas margosas están intercaladas | |
| 4. Margas de Cibao (0—100 m) | Margas arcillosas y calizas yesíferas | |
| 5. Caliza de Lares | Calizas de arrecife blancas, grises hasta de color de crema y macizas (alrededor del 95% de CaCO ₃) | Oligoceno medio |
| 6. Sedimentos clásticos, rocas cristalinas (no diferenciadas) | | Cretáceo |

En el oligoceno inferior se sumergen y se inundan los terrenos de la costa norte y sur de la isla. Sobre la penillanura cretácea se depositan en la costa sedimentos terciarios — en la zona aquí observada, los estratos de las calizas de Lares hasta las calizas de Aymamón. En el mioceno medio el paquete de estratos se inclina suavemente hacia el norte y va emergiéndose del mar y se expone así a la erosión o bien a la corrosión. Se forma la „penillanura de Saint John“, de la cual posiblemente existen todavía restos esporádicos en el margen sur de la zona caliza (Meyerhoff, H. A., 1933). Al final del mioceno un elevamiento nuevo de unos 250 m activa una nueva remoción y origina la destrucción de la planicie de Saint John y forma la „penillanura de Caguana“. Al final del plioceno el terreno asciende de nuevo y se inclina suavemente hacia el noreste.

Morfología

El tesoro de formas actual en la planicie de Caguana ha sido formado por corrosión. Un poco se complican las circunstancias por las eustáticas oscilaciones del nivel del mar o bien por el elevamiento no continuo. Se dejan diferenciar varios niveles, también si a primera vista la zona cárstica parece demostrar una planicie cortada e inclinada hacia el norte (Meyerhoff, H. A., 1938). En la parte norte las planicies corrosivas tienen una altura media de 90—110 m; hacia el sur asciende la altura media a 150—200 m. Estas planicies pueden volver a subdividirse. De estos terrenos sobresalen los mogotes de las calizas de Lares, los que dominan sobre el antepaís en forma de un escalón retrógrado („Achterstufe“) en una altura de alrededor de 100—200 m. Las alturas de las llanuras de corrosión y la subida escalonada hacia el sur tienen que relacionarse con niveles del „Vorfluter“ (lechos de ríos subaéreos) antiguamente en acción („base de corrosión“). Según las investigaciones más modernas (Kaye, C. A., 1959) no se puede recurrir a las oscilaciones glacioeustáticas para explicar este escalonado. Los sedimentos marinos pleistocenos más altos que pudieron ser demostrados ciertamente se encuentran en una altura de unos 40 m. Posiblemente se pueden ordenar al „Yarmouth“. Restos de terrazas se encuentran al norte de Dos Bocas a orillas del Río Grande de Arecibo, que indican las fases de descanso durante el elevamiento. Estos restos de terrazas vuelven a estar actualmente carstificados y desarrollados en mogotes (indicado en el perfil). Los picos de los mogotes encima de estas terrazas alcanzan una altura de más o menos 130 m o bien 120 m. Probablemente se trata de un antiguo nivel de „Vorfluter“ que corresponde a las planicies de más o menos 100 m de altura.

Del carácter de los sedimentos no se pudo aclarar exactamente, si en las formas cóncavas cársticas del nivel de 200 m los limos finamente arenosos pueden interpretarse como productos residuales de lechos de calizas impuras y margosas o como depósitos marinos. Seguras son, en cambio, las arcillas arenosas que se encuentran en el nivel de más o menos 100 m y que son una mezcla de material alóctono y de arcillas residuales. Las planicies amplias se tienen que considerar a lo visto como el resultado de corrosión lateral de inundaciones en el pleistoceno antiguo (llanuras laterales cársticas). Las oscilaciones del nivel del mar en el pleistoceno moderno solamente las percibieron los terrenos que se encuentran bajo unos 40 m.

Todo el tesoro de formas cársticas actual se ha desarrollado principalmente en el cuaternario, también si el comienzo se verificó durante el plioceno. El cambio del tesoro de formas cársticas de N. a S. está menos ligado a las formaciones geológicas que al cambio petrográfico y a la altura sobre el „Vorfluter“. Así las cúpulas en las calizas de Aymamón se parecen mucho a las de las calizas de Aguada. De encima de los pequeños mantos detríticos, cuyas pendientes muestran un declive de 15 a 20°, se elevan conos convexos cársticos, a menudo con paredes abruptas hasta 50—60 m de altura relativa. En los lugares más abruptos falta el suelo casi completamente. Solamente en las crevasas y hendiduras se han mantenido restos que, sin embargo, posibilitan la existencia de una vegetación exuberante. Lapiez de surcos casi no se encuentran en las rocas desnudas. La corrosión en cambio, crea aquí a menudo una super-

In the north of Puerto Rico Tertiary limestone forms a transitional seam between the Cretaceous core of the island and the Quaternary deposits on the coast. In this up to 20 km wide belt a typical tropical karst relief has originated. The maps show 2 sections from the middle part of this region between the Río Grande de Manatí and the Río Grande de Arecibo.

Geology
(after Zapp, A. D., Berquist, H. R. & Thomas, C. R., 1948)
(The numbers correspond to those of the legend of the geological map.)

| | | |
|---|---|------------------|
| 1. Clastic sediments (undifferentiated) | Dunes, partially consolidated (beachrock), sand and gravel as filling in of lagoons and estuaries and as thin layer on karst planations | Quaternary |
| 2. Aymamón limestone (till 300 m) | Dense, white-yellow to gray, finely crystalline limestone. In the lower strata very pure (around 98% CaCO ₃), in the upper layers more argillaceous | Under Miocene |
| 3. Aguada limestone (75 m) | Dense, very hard, white to red, finely crystalline limestone (95—97% CaCO ₃), coarsly banked, with interbedded marly limestone | |
| 4. Cibao marl (0—100 m) | Argillaceous marl and chalky limestone | |
| 5. Lares limestone | White, gray to cream-coloured, massive reef-type limestone (about 95% CaCO ₃). | Middle Oligocene |
| 6. Clastic sediments and crystalline rocks (undifferentiated) | | Cretaceous |

In the under Oligocene the coastal areas of the north and south were warped down and submerged. On the Cretaceous peneplane Tertiary sediments were deposited on the northern coast — in the area considered here the layers comprehending the Lares to Aymamón limestone. In the middle Miocene the strata were slightly tilted to the north and lifted out of the sea and therefore exposed to erosion or corrosion respectively. The „Saint John — peneplane“ — comes into existence, of which a few single remains probably are conserved on the southern border of the limestone seam (Meyerhoff, H. A., 1933). At the end of Miocene a renewed uplift of approximately 250 m causes a rejuvenation of erosion, the destruction of the Saint John-peneplane and forming of the Caguana-peneplane. At the end of Pliocene the land surface is again uplifted and slightly tilted to northeast. Pleistocene sea level fluctuations cause the deposit of clastic sediments near the shore.

Morphology

The present relief originated from the Caguana-peneplane by corrosion. The situation gets somewhat complicated by eustatic sea level fluctuations and by discontinuity of uplift. At first sight the karst belt appears to be a dissected plain, which is tilted to the north (Meyerhoff, H. A. 1938), but different levels can be distinguished. In the northern part the corrosive planations have an average elevation of 90—110 m; to the south their average altitude is 150—200 m. The latter group of levels can eventually be subdivided. Mogotes of Lares limestone rise above the foreland in form of an aft scarp of 100—200 m height, whose karst depressions, however, do not possess the same altitude. The elevations of the corrosive planations and their step-like ascent to the south must be brought into connection with formerly effective corrosion base levels („Vorflutniveaus“). According to recent research (Kaye, C. A., 1959) the glacio-eustatic fluctuations cannot be taken as an explanation for these different levels. The highest Pleistocene marine sediments, which could be proved definitely, occur in an altitude of 40 m. Probably they are of Yarmouth age. North of Don Bocas along the Río Grande de Arecibo are terrace remnants, which give a hint of stillstands during the uplift. To-day these terrace remains show well developed karst features again and are dissolved into mogotes (see the profile). The summits of the mogotes on these terraces reach a height of ± 130 m, or 120 m respectively.

Presumably they represent the former corresponding corrosion base level of the ± 100 m planations. There is no evidence of older terraces. From the composition of the sediments it could not be inferred whether the fine sandy loams in the karst depressions of the 200 m level are residual products of impure, marly limestone layers or marine sediments. Certainly however the sandy clays of the ± 100 m level are made up of allogenous material and residual clays. Hence, the wide planations must be looked upon as the result of lateral corrosion of early Pleistocene innundations („Karstrandebenen“). The late Pleistocene sea level fluctuations have only effected areas up to ± 40 m altitude. The succession of erosion and accumulation filled in estuaries and lagoons, formed dunes etc.

The present karst relief was developed essentially in the Quaternary, though its initiation dates from the Pliocene. The changing karst features from N to S are due less to the geological formations than to petrographic differentiation and the altitude above the corrosion base level. Thus the mogotes in the Aymamón limestone are similar to those in the Aguada limestone. Small tali with a slope of 15—20° rest against the mogotes whose mostly precipitous walls rise to a relative height of 50—60 m. There is hardly any soil on the steeper flanks. Rests have been preserved only in clefts and fissures, which, however, carry an abundant vegetation. On the bare rock „rinnenkarren“ occur seldom, while a sponge-like porous surface is often created by solution. At the contact line of talus and solid rock one finds in the rule solution undercuts (Gerstenhauer, A., 1960). In the northern part of the karst area there is an striking asymmetry of the limestone hills. The cliffs are exposed to the SW, whereas the more gently inclined slopes (around 30°) show to the NE, the windward side. To the south, in the area of Lares limestone near Florida,

fast ganz. Nur in den Spalten und Ritzen haben sich Reste erhalten, die jedoch einer üppigen Vegetation das Dasein ermöglichen. Rinnenkarren sind am nackten Gestein selten anzutreffen. Die Korrosion schafft hier dagegen häufig eine schwammartige, löchrige Oberfläche. An der Kontaktlinie von Schuttmantel und festem Gestein sind in der Regel Lösungsunterscheidungen zu finden (Gerstenhauer, A., 1960). Im nördlichen Teil des Karstgebietes ist eine auffallende Asymmetrie der Kalkkuppen festzustellen. Die Steilwände zeigen nach SW, während flachere Hänge (um 30°) nach NE, zur Wetterseite exponiert sind. Nach Süden hin, im Gebiet der Lareskalke bei Florida, ist zunächst noch kein wesentlicher Formenwandel festzustellen. Die Mogotes werden klobiger, haben etwas größere Grundfläche; sie erscheinen abgerundeter, wenn auch Steilwände nicht ganz fehlen. Ein auffälliger Wechsel des Reliefs setzt erst südlich von Florida ein. Unvermittelt steigen aus den Korrosionsebenen steile, bizarre bis zu 150 m hohe Mogotes empor. Offensichtlich ist diese Landstufe an eine petrographische Grenze innerhalb der oberen Abteílung der Lareskalke angelehnt. Aber auch die frühzeitige Heraushebung weit über den wirksamen Vorfluter hat den andersartigen Formenschatz verursacht. Die Türme stehen trotz größerer relativer Höhe außerordentlich dicht (etwa 30 z. T. mehrgipfelige Mogotes pro km²). Auch hier ist ein Schuttmantel am Fuße der Türme anzutreffen. Hohe, nackte Steilwände sind sonst die typische Hangform. Höhlen, Durchtunnelungen sind des öfteren zu beobachten. Rinnenkarren dagegen fehlen. Außenstalaktiten weisen auf die Besonderheiten tropischen Kalkumsatzes hin. Mit einer markant ausgeprägten Schichtstufe grenzen die Kalke gegen die unlösliehen Gesteine des Inselkerns.

Auch die Hohlformen in den Lareskalken sind typisch. Die Cockpits (Dolinen) haben im allgemeinen keinen ebenen Boden; die Ränder sind konkav nach innen gebogen (Lehmann,H., 1954). Eine oft anzutreffende Form sind die Uvalas, die zusammengewachsenen Dolinen mit unebener Sohle. Dolinen und Uvalas sind mit zusammengeschwemmten Lösungsrückständen angefüllt, schwach sauren, gelblich-roten Tönen (pH 6,3; Munsell: 5 YR 5/8; um 60% des Materials hat eine Korngröße unter 0,002 mm). Bei Florida, nördlich des eben beschriebenen Gebietes, liegen ausgedehnte Korrosionsebenen (Poljen) in 190 m bis 200 m Meereshöhe, die von rot-gelben feinsandigen Lehmen bedeckt sind. Die Kleinformen dieser abflußlosen Verebnungen, die ursprüngliche Form der unteren Hänge, sind durch die intensive agrarische Nutzung (Zuckerrohr, Ananas) verwischt. Dies gilt sicherlich auch für einen Teil der Dolinen, Uvalas und Poljen in den Aguada- und Aymamónkalken, die von Natur aus wohl kaum so horizontal gewesen sein mögen. Im Norden kommt als neues Element die E—W-Ausrichtung der Verebnungen und Kuppen im Streichen der Gesteine hinzu, die als eine Folge des petrographischen Wandels aufzufassen ist. (Meyerhoff, H. A., 1938). Das Material der lockeren Deckschicht ist erheblich gröber. Vor allem im 100 m-Niveau treten braune sandige Lehme auf (pH 7,4; Munsell: 7,5 YR 4/4; 10% Ton, 17% Schluff, 73% Sand). Die Quarzkörner sind kantengerundet. Der deutliche Reliefunterschied zwischen Nord- und Südteil des Kalkgürtels ist neben den bereits erwähnten Fakten auch dadurch bedingt, daß im Gebiet der jüngeren Kalke die Menge des allochthonen Lockermaterials sehr viel größer ist. Die korrosive Erweiterung der Hohlformen in der Horizontalen, im Spiegel der CO₂-reichen, belebten Bodenschicht, übertrifft hier bei weitem das Tiefenwachstum. In den Lareskalken hingegen ist offensichtlich auch gegenwärtig eine starke Tiefenkorrosion wirksam.

Neben der durch den Gesteinswechsel bedingten E—W-Ausrichtung einzelner Ketten ist eine N—S-Ordnung, die der Abdachung folgt, zu erkennen (gerichteter Karst). Im küstennahen Gebiet schwenkt die Richtung nach NE ab und fällt mit der Asymmetrie der Kuppen zusammen. In den Lareskalken zieht die vorwiegende E—W-Klüftung (80—120°) im Streichen verlaufende Karstgassen nach sich.

Klima, Hydrographie, Vegetation

Das Klima des Nordsaumes der Insel ist tropisch. Hohe Temperaturen in 12 humiden Monaten (Jahresmittel um 25°C, Amplitude um 4°C), reichliche Niederschläge (1700 mm bis 1800 mm im Jahr) und fast ständig aus östlicher Richtung wehende Winde sind charakteristisch (Köppen: Afi.). Die Entwässerung des kretazischen Kerns der Insel nach Norden erfolgt in einigen großen Flüssen, die in weiten, cañonartigen epigenetischen Durchbrüchen den Kalksaum queren. Unterirdischer Durchfluß ist selten und quantitativ recht unbedeutend. Im Karstgebiet ist oberflächlicher Abfluß die Ausnahme. Nur wenige kleine Bäche verlassen das Kalkgebiet. Sie fließen auf der lockeren Bedeckung, die offensichtlich hinreichend abdichtet. 180 bis 200 mg/l CaCO₃ bei einem mittleren pH-Wert von 7,6 war die Lösungsfracht (April). Der größte Teil der Niederschläge versickert. Im Gebiet der Aguadakalke tauchen in den Hohlformen vereinzelt kleine Rinnsale auf, die aber an der gegenüberliegenden Wand wieder in einem Ponor verschwinden. Stellenweise findet man hier versumpfte Cockpits. Die natürliche Vegetation ist weitgehend verdrängt. Die Ebenheiten werden ohne Ausnahme landwirtschaftlich genutzt. Nur auf den Mogotes und in engen Dolinen trifft man Reste des ehemaligen „moist deciduous forest“ an.

Erläuterungen zu den Bildern

Die Kartenausschnitte sind in der geologischen Skizze schwarz umrandet eingezeichnet. Die Luftaufnahmen geben die auf der topographischen Karte schwarz umrandeten Ausschnitte wieder.
③ Abflußlose Hohlform in den Aymamónkalken. Die weiten korrosiven Verebnungen sind für dieses Gebiet charakteristisch. Die Asymmetrie der Kuppenformen im Hintergrund ist gut erkennbar.
④ Typische Kuppe in den Aymamónkalken. Aus mehr oder weniger ebenem Boden erheben sich die rundlichen Formen. Die Bodendecke an den Hängen ist sehr lückenhaft.
⑤ Kuppe in den gebankten Aguadakalken. Ein flach geneigter Schuttmantel umgibt die Kuppe, die am Fuß der Steilwand eine kleine Lösungskehle aufweist.
⑥ Die nach Norden gerichtete Stufe (Achterstufe) der Lareskalke. Die Formen sind bizarrer als im Norden. Steile Wände bestimmen das Bild.
⑦ Im Gebiet der am stärksten herausgehobenen Lareskalke. Ein größeres, völlig unregelmäßig begrenztes Cockpit wird von einer Vielzahl von Türmen umrahmt.
⑧ Cockpit und Turmformen in den Lareskalken. Die steilen Wände sind in den kompakten Riffkalken typisch.
⑨ Die Schichtstufe der Lareskalke. Die Stufentrauf ist in Kegel aufgelöst. Der untere Teil der Stufe und der Vordergrund bestehen aus älteren, unlösliehen Gesteinen.

ficie agujereada y parecida a una esponja. Por lo general en la linea de contacto entre el manto detrítico y la roca no descompuesta se encuentran socavamientos por disolución (Gerstenhauer, A., 1960). En la parte norte del terreno cárstico se deja notar claramente una asimetría de las cúpulas calizas. Las paredes abruptas están dirigidas hacia el S. O., mientras que las pendientes más llanas (alrededor de 30°) están expuestas hacia el N. E., hacia el lado del viento. Hacia el S, en el terreno de las calizas de Lares, cerca de Florida, no se puede observar de momento todavía ningún cambio de formas importante. Los mogotes son más toscos y tienen una base un poco mayor; parecen ser más redondeados, no faltándoles completamente las paredes abruptas. Un cambio llamativo del relieve se nota primeramente en el sur de Florida. De las llanuras de corrosión salen directamente mogotes abruptos y bizarros hasta una altura de 150 m. Evidentemente este escalón continental está adosado a un límite petrográfico dentro del piso superior de las calizas de Lares. Pero también la emersión temprana, sobrepasando de mucho al Vorfluter activo, ha ocasionado un tesoro de formas diferente. Las torres están colocadas muy densamente, a pesar de una gran altura relativa (por km² unos 30 mogotes, en parte con muchos picos). También aquí, al pie de las torres, se encuentra un manto detrítico. Altas y desnudas paredes abruptas son por lo demás la típica forma de pendiente. Cuevas y pasajes se pueden observar a menudo, en cambio faltan lapiez de surcos. Estalactitas exteriores hacen notar las especialidades de la transformación tropical de la caliza. Con un escalón de estratos muy destacado las calizas limitan contra las rocas insolubles del nucleo de la isla.

Las formas cóncavas en las calizas de Lares también son típicas. Por lo general los „cockpits“ (dolinas) no tienen suelos llanos; los bordes están curvados cóncavamente hacia el interior (Lehmann, H., 1954). Una forma que se encuentra a menudo son las uvalas, que son dolinas juntadas con fondo no llano. Las dolinas y las uvalas están tapizadas de residuos de disolución aluviales, que son unas arcillas débilmente ácidas y de color amarillento-rojo (pH 6,3; Munsell: 5 YR 5/8; alrededor del 60% del material tiene un tamaño de grano bajo 0,002 mm). Cerca de Florida, al norte del terreno antes nombrado, existen extensas llanuras de corrosión (poljas) en 190 m hasta 200 m sobre el nivel del mar, las cuales están cubiertas de limos rojos-amarillos y finamente arenosos. Las formas pequeñas de estas planicies endorreicas, la forma primitiva de las pendientes inferiores están borradas por la intensiva utilización agraria (caña de azucar, ananá). Esto seguramente también vale para una parte de las dolinas, uvalas y poljas en las calizas de Aguada y de Aymamón, que por naturaleza no pudieron ser tan horizontales. En el norte hay que adicionar como nuevo elemento la alineación E.—O. de las planicies y cúpulas en rumbo de las rocas que se pueden concebir como consecuencia del cambio petrográfico (Meyerhoff, H. A., 1938). El material del estrato-manto flojo es considerablemente más burdo. Ante todo en el nivel de 100 m aparecen limos arenosos y pardos (pH 7,4; Munsell: 7,5 YR 4/4; 10% de arcilla, 17% de arena excesivamente fina („silt“), 73% de arena). Los granos de cuarzo son de cantos redondeados. La clara diferencia de relieve entre la parte norte y la parte sur de la zona caliza está también motivada, aparte de los hechos ya nombrados, por la grandísima mayoría de material flojo en el terreno de las calizas más recientes. El ensanchamiento corrosivo y horizontal de las formas cóncavas, existiendo un estrato de suelo rico en CO₂ y en materia orgánica, sobrepasa de mucho al crecimiento de profundidad. Sin embargo, en las calizas de Lares una fuerte corrosión vertical también es visiblemente eficaz en la actualidad. Aparte de la alineación E.—O. de singulares cadenas de montañas, ocasionada por el cambio de roca, se deja notar un orden N.—S. que sigue a la vertiente (cársto dirigido). En el terreno cercano al mar la dirección cambia hacia el N.E. y coincide con la asimetría de las cúpulas. En las calizas de Lares el agrietamiento abundante en dirección E.—O. (80—120°) trae consigo los bogaces que siguen al rumbo.

Clima, hidrografía, vegetación

El clima del linde norte de la isla es tropical. Temperaturas altas con 12 meses húmedos (promedio anual alrededor de 25°C, amplitud alrededor de 4°C), precipitaciones numerosas (1700—1800 mm/año) y vientos casi constantes de dirección E. son característicos (Köppen: Afi). El drenaje hacia el norte del nucleo cretáceo de la isla se verifica por algunos ríos grandes que atraviesan la zona caliza en epigenéticas brechas anchas y acañonadas. El drenaje subterráneo es raro y cuantitativamente de poca importancia. En el terreno cárstico el desagüe superficialio es una excepción. Solamente arroyos pequeños salen del terreno cal cáreo. Corren por encima de la cobertera floja, la que evidentemente impermeabiliza suficientemente. 180 hasta 200 mg/l de CaCO₃ fue la carga de la disolución, teniendo en cuenta un valor pH medio de 7,6 (abril). La mayor parte de las precipitaciones va infiltrándose. En el terreno de las calizas de Aguada aparecen esporádicamente pequeños arroyuelos en las formas cóncavas, que vuelven a desaparecer en un poner en la pared opuesta. En este terreno se encuentran, aquí y allá, cockpits pantanosos. La vegetación natural ha desaparecido en gran parte. Solamente en los mogotes y en dolinas estrechas se encuentran restos de un antiguo „moist deciduous forest“.

Explicación de las fotografías

Los sectores de los mapas están bordeados en negro en el bosquejo geológico. Las fotografias aéreas representan los sectores que están bordeados en negro en los mapas topográficos.
③ Forma cóncava endorreica en las calizas de Aymamón. Las extensas planicies corrosivas son características para este terreno. En el fondo se distingue bien la asimetría de las cúpulas.
④ Cúpula típica en las calizas de Aymamón. Del suelo más o menos llano se elevan formas redondas. La capa del suelo es muy defectuosa en las pendientes.
⑤ Cúpula en las calizas de Aguada. Un manto detrítico, suavemente inclinado, circumda la cúpula, que en el pie de la pared abrupta muestra una pequeña cavidad por disolución.
⑥ El escalón („Achterstufe“) de las calizas de Lares dirigido hacia el norte. Las formas son más bizarras que en el norte. Paredes abruptas forman la parte dominante en la fotografía.
⑦ En el terreno de las calizas de Lares emergidas a lo más alto. Un cockpit mayor, en todas partes irregularmente limitado, está encuadrado por una multitud de torres.
⑧ Cockpit y formas de torres en las calizas de Lares. Las paredes abruptas son típicas en las compactas calizas de arrecife.
⑨ El escalón de estratos de las calizas de Lares. La cumbrera de un escalón de estratos está formada por conos convexos. La parte inferior del escalón y el primer término (de la fotografía) consisten de rocas más antiguas e insolubles. (Traducción: Werner-Francisco Bär).

there is no essential change of landforms yet. The mogotes have a larger base, are more bulky and appear to be more rounded off, although cliffs are not missing. But south of Florida there is a striking change of relief. Ragged mogotes, up to 150 m high, rise abruptly out of the corrosion levels. Apparently this scarp follows a petrographic border in the upper section of the Lares limestone. But also the early uplift far above the effective corrosion base level has caused the different relief. In spite of great relative height the towers of the mogotes are standing very densely together (about 30 mogotes per km², each having several summits). Here, too, one finds tali at the feet of the needles. But the typical slope forms are bare, abrupt cliffs. Caves and tunnels can often be observed. Rinnenkarren are missing. External stalactites indicate the peculiarities of tropical limestone release. With a well marked scarp the limestone is set off against the insoluble rocks of the island’s core.

The depressions in the Lares limestone are typical as well. In general the cockpits (dolines) do not have a smooth bottom; the rims are sagging concavly (Lehmann, H., 1954). A rather frequent form are the uvalas, which are grown-together dolines with uneven bottoms. Dolines and uvalas are filled in with flushed solution residuals, slightly acid, yellowish-red clay (pH 6,3; Munsell: 5 YR 5/8; about 60% of the material has a grain-size below 0,002 mm). Near Florida, north of the described area, wide-spread corrosion levels lie 190—200 m above sea level, covered with red-yellow, fine sandy loam. The microforms of these undrained levels, the original form of the lower slopes, have been marred by intense cultivation (cane sugar, pine apples). This certainly applies also to some of the dolines, uvalas and poljes in the Aguada and Aymamón limestone, which originally cannot have been so horizontal. In the north there is as a new element the east-west adjustment of the levels and mogotes to the direction of the strike, due to petrographic change (Meyerhoff, H. A., 1938). The material of the loose covering strata is considerably coarser. Especially in the 100 m level brown sandy loams occur (pH 7,4; Munsell: 7,5 YR 4/4; 10% clay, 17% silt, 73% sand). The quartz grains are rounded pebbles. The well-marked difference in relief between the northern and southern part of the limestone belt is also caused, besides the above mentioned facts, by the larger amount of allogenous loose materials in the area of the younger limestone. The corrosive lateral widening of the depressions, in the level of the CO₂-rich, edaphonic topsoil, surpasses by far the downward growth. In the Lares limestone, however, a strong vertical corrosion is apparently effective even to-day.

Besides the already mentioned E—W direction of several chains, due to petrographic change, there is also a N—S adjustment, following the dip slope („gerichteter Karst“). In the coastal area the direction turns to NE and coincides with the asymmetry of the mogotes. In the Lares limestone the predominant E—W jointing (80—120°) causes the karst hollows to follow the strike.

Climate, hydrography, vegetation

The northern seam of the island bears the features of a tropical climate which may be characterized by high temperatures throughout 12 humid months (mean annual temperature about 25°C, amplitude around 4°C), abundant rainfall (1700—1800 mm per annum) and almost permanent easterly winds (Köppen: Afi).

The Cretaceous core of the island is drained northward by some major rivers, which cross the limestone belt in canyon-like superimposed gaps. Subterranean drainage is seldom and quantitatively unimportant. In the karst area surface drainage occurs only exceptionally. Few little brooks leave the limestone region, running on the loose cover which is obviously sealed tightly enough. The solution load ranged from 180 to 200 mg/l CaCO₃ with a mean pH-value of 7,6 (April). Most of the rainfall percolates. In the area of the Aguada limestone small streamlets may be observed in the karst depressions which, however, use to disappear at the opposite wall in a poner. Swampy cockpits occur here and there.

The natural vegetation has mostly been removed. The plains are cultivated without any exceptions. Only on the mogotes and in narrow dolines rests of the former moist deciduous forest are to be found.

Explanation of the pictures

The map sections are marked in the geological sketch by black lines. The aerial photos show the black-framed sections on the topographical map.

③ Undrained depression in the Aymamón limestone. The wide corrosive levels are characteristic for this area. The asymmetrical forms of the hills in the background are well discernible.
④ Typical mogote in the Aymamón limestone. Its roundish forms rise from a more or less smooth bottom. The soil cover on the slopes is incomplete.
⑤ Mogote in the banked Aguada limestone, surrounded by a gently inclined talus, with a solution undercut at the foot of the cliff.
⑥ The escarpment (aft scarp) of Lares limestone, exposed to the north. The relief is more ragged than in the north and dominated by steep walls.
⑦ In the Lares limestone area with the strongest uplift. A larger, completely irregular cockpit is surrounded by a great number of mogotes.
⑧ Cockpit and needle forms in the Lares limestone. The steep walls are typical for the compact reef-type limestone.
⑨ The Lares limestone escarpment, the face of which is dissolved into conical hills. The lower part of the scarp and the foreground consist of older, insoluble rocks.

Literatur

Gerstenhauer, A.: Der tropische Kegelkarst in Tabasco (Mexico). Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement 2: Karstmorphologie 1960.
Kaye, C. A.: Shoreline Features and Quaternary Shoreline Changes, Puerto Rico. Geological Survey, Professional Paper 317 B, Washington 1959.

Lehmann, H.: Der tropische Kegelkarst auf den großen Antillen. Erdkunde 1954.
Meyerhoff, H. A.: Geology of Puerto Rico. Río Piedras, P. R. University of Puerto Rico 1933.

Meyerhoff, H. A.: The texture of Karst topography in Cuba and Puerto Rico. Journal of Geomorphology, 1938.
Picó, R.: Geografía de Puerto Rico I. Geografía Física. Río Piedras, P. R. 1954.

Zapp, A. D. und Berquist, H. R. und Thomas, C. R.: Tertiary Geology of the Coastal Plains of Puerto Rico. Oil and Gas Investigations. Preliminary Map 85, 2 sheets.