DAS ERDBEBEN IN ECUADOR VOM 5. 3. 1987 UND SEINE GEOGRAPHISCHEN AUSWIRKUNGEN

Mit 5 Abbildungen (z. T. als Beilagen IX-XI) und 7 Photos

WILHELM LAUER und M. DAUD RAFIQPOOR

Resumen: El terremoto de 5. 3. 1987 en el Ecuador y sus efectos geográficos

El epicentro del terremoto fué ubicado en las vertientes orientales de la Cordillera Real en el noreste del Ecuador, alrededor del volcán El Reventador. Alcanzó una intensidad de 7 en la escala de Mercalli. Efectos directos en forma de movimientos de masas, como por exemplo derrumbamientos, deslizamientos, corrientes de lodo (Lahars) han destruido gran parte del paisaje natural y de los poblados, causando graves daños en las instalaciones inferaestructurales como por exemplo puentes, caminos, tuberías, canerías etc. Especialmente las masas sueltas de las cenizas volcánicas en combinación con lluvias torrenciales, causaron inundaciones muy fuertes y dislocaciones exorbitantes de masas terrestres en forma de corrientes de lodo y barro (tipo Lahar). Según la tasación oficial más de mil personas perdieron la vida. Resultaron daños graves para todo el país especialmente en la economía nacional, ya que el terremoto ha destruido gran parte de la carretera al oriente y del oleoducto transecuatoriano. El siguiente artículo caracteriza tres regiones de efectos diferentes producidos por los movimientos sísmicos, explica los procesos geológico-geomorfológicos y trata de las consecuencias económicas para el país.

Summary: The earthquake in Ecuador on 5th. March, 1987, and its geographic impacts

The centre of the earthquake was located on the eastern slope of the Cordillera Real in north-eastern Ecuador in the precincts of the volcano El Reventador. The strength of the earthquake was 7 on the Mercalli-Scale. Direct impacts in form of spontaneous mass movements like rockfalls, landslides and mud flows destroyed the natural landscape as well as the settlements and caused damages to the infrastructure, e. g. to bridges, roads and pipelines. Heavy rains transformed huge masses of loose volcanic material into mudstreams, which lead to disastrous floods and displacements of material within the valleys. According to estimates, about 1000 people lost their lifes. Since the earthquake affected the road-network as well as the pipeline, the Ecuadorian economy was severely damaged. Three regions are characterized, in which the effects of the earthquake differ in form and extent. Moreover, geologic/geomorphologic explanations as well as economic consequences for the whole country are discussed.

Ablauf des Erdbebens in Quito

Es war am 5. März 1987, zwei Tage nach unserer Ankunft in Quitto, gegen 20 Uhr, als uns der ecuadorianische Kollege und Freund S. M. aufsuchte, um uns zu begrüßen. Ich (W. L.) lud ihn ein, mit uns in ein nahes Restaurant zum Abendessen zu gehen, um ein paar Nachrichten über Deutschland und Ecuador auszutauschen. Er aber winkte ab und sagte, er müsse zu seiner Familie zurück . . .; übrigens habe seine Frau heute nachmittag erneut gesagt, daß es wohl bald ein Erdbeben geben werde, der Himmel sähe bleiern aus und das Wetter sei seit Tagen, ja seit Wochen so merkwürdig. Es habe eine übergroße Hitzeperiode und überaus stürmische Winde gegeben, was sonst in dieser Jahreszeit nicht üblich sei. Im übrigen seien auch Menschen und Tiere so nervös.

Wir verabschiedeten uns von ihm und schlenderten in gemächlichem Tropenschritt zur „Rana Verde", um einen kleinen Abendimbiß zu nehmen. Wir unterhielten uns über die „Erdbebenwarnung" und waren eher amüsiert als ernsthaft davon berührt. Während des Essens - gegen 21.00 Uhr - gab es plötzlich ein deutlich spürbares Knistern, Zittern und Rollen, wie wenn eine Dampfwalze sich nähert, was mich veranlaßte, laut in das Lokal das Wort „terremoto" zu rufen und gleichzeitig ins Freie zu stürzen, wie mehrere Gäste auch. Doch hatte der leichte „temblor", als der sich der Erdstoß entpuppte, nur wenige Sekunden angedauert, und höchstens nur einigen wenigen war dieses leichte Beben und Zittern des Gemäuers voll in die Glieder gefahren.

Doch kurz nach 23 Uhr, als wir uns eben in unserem Hotel zur Nachtruhe verabschiedet hatten, sahen wir uns am Ausgang des kleinen, zweistöckigen Hotels unversehens wieder, denn ein kräftiger Erdstoß, der ca. 15-20 Sekunden anhielt, einhergehend mit einem Knistern, Knacken, dumpfen Rumoren und zitternden Stößen, hatte uns beim Zubettgehen überrascht. Die Türen ratterten in den Schlössern,

das gesamte Haus schwankte, die Bilder an den Wänden verschoben sich, das Bett versetzte sich jedoch nur schwach. Blitzschnell war ich - über Gang und Treppe - dem Ausgang zugeeilt und sah auf offener Straße, wie das nahe Hochhaus schwankte und sich die Deckenlampen im hell erleuchteten oberen Stockwerk im Rhythmus hin und her bewegten. Dann ging das Licht aus.

Niemand kehrte zunächst in sein Hotelzimmer zurück in der Furcht, von einem weiteren Erdstoß überrascht zu werden, sondern jeder blieb im Vorraum des Hotels in der Verfassung, wie er seine Schlafstatt verlassen hatte. Schließlich wagte ich mich doch in mein Zimmer, packte hastig einige Sachen zusammen, die ich für die wichtigsten erachtete und setzte mich mit Mantel und Hut und mit einem kleinen Gepäckstück ins Foyer zu den übrigen Gästen, die inzwischen von der Leitung des Hotels mit Decken versorgt waren. Dort verbrachten wir die ganze Nacht.

Unablässig hämmerte der Nachrichtensprecher über ein Kofferradio und einen Kleinstempfänger, der in einer leeren Coca Cola-Flasche eingebaut war, auf uns ein, hielt uns wach und informierte über das Geschehen.

Noch in der Nacht konnten wir uns ein gewisses Bild davon machen, wo das Beben offensichtlich am stärksten gewirkt und wo es sein Epizentrum hatte. Es war die Rede von stärkeren Erdstößen im Norden Ecuadors und im Süden von Kolumbien. Ebenso kam die Nachricht, der Vulkan Reventador sei ausgebrochen, was sich nachher nicht bestätigte. Es wurden auch amtliche Mitteilungen gemacht, wie etwa diese: Die Regierung fordere die Bevölkerung auf, die Autos startklar zu halten, um sich auf eine Evakuierung einzustellen. Außerdem wurde mitgeteilt, daß alle Schulen, Kindergärten und Arbeitsplätze des öffentlichen Dienstes usw. geschlossen bleiben.

Alle Nachrichten sprachen allmählich dafür, daß die heftigsten Stöße im Bereich der Ostkordillere unterhalb des Reventador, eines jungen, noch nicht erloschenen Vulkans, erfolgt sein mußten, an dessen Fuß die einzige Straße in den nördlichen Oriente führt und an der entlang auch die Pipeline zu den Ölquellen im Rio Napo-Gebiet verläuft. Genau diese Straße war es, die wir eigentlich am Erdbebentag benutzen wollten, um in unser Arbeitsgebiet, dem Paramo des Cerro Puntas, zu gelangen; denn diese Straße erschließt sowohl die Höhenstufen am Fuße des Antisana bis auf die Paßhöhe von 4000 m und führt zugleich in den feuchten Oriente des Rio Napo-Gebietes.

Da wir jedoch das Mietauto erst am Nachmittag vor dem Erdbeben zur Verfügung hatten, mußten wir uns entschließen, erst am nächsten Tag, dem 6. 3. 1987, auf große Fahrt zu gehen. Der Jeep stand abfahrbereit im Hof des Hotels. Wir entschlossen uns trotz der nächtlichen Erdstöße, ungeschlafen um 7.30 Uhr das Hotel zu verlassen, um zu versuchen, wenigstens die Paßhöhe, das Zentrum unseres Arbeitsgebietes, zu erreichen.

Durch die nächtlichen Nachrichten hatten wir uns ein leidliches Bild darüber machen können, daß offenbar die Hauptstadt Quito glimpflich davongekommen war. Man beklagte bis zur Morgenstunde einen Toten und berichtete über Schäden an älteren Gebäuden. Wir selbst sahen dann bei der morgendlichen Durchfahrt durch den größten Teil der Nordstadt, daß mehrere Gebäude Risse bekommen, Dachziegel sich gelöst hatten, Stuck von den Wänden gefallen, Scheiben zerbrochen, und hie und da altes Mauerwerk auf die Straße gefallen waren.

Angstvoller verlief jedoch das Erdbeben im Hochhausviertel Gonzales Suarez im Osten der Stadt. Die 12stöckigen Bauten hatten zwar den Schwankungen standgehalten, größere Schäden erlitten sie aber durch die Zertrümmerung von Scheiben, die stärkeren Bewegungen der Möbel in den einzelnen Appartements und die Beschädigungen von Zimmerwandungen. Außerdem hatte dort das stärkere Empfinden des Erdbebens zum Teil Panik ausgelöst, zumal die Häuser auf einer Hochterrasse im Becken von Quito mit Blick in die tiefer gelegene Talung des zentralen Hochbeckens errichtet sind.

Unsere Fahrt quer durch das dichtbesiedelte Hochbecken nach Osten verlief wider Erwarten ohne Störung bis hinauf auf den Kamm der Ostkordillere am Fuße des Antisana. Nur an wenigen Stellen zwischen Quito und der Ostkordillere sahen wir Erdrutsche. Am Straßenrand wurden kleine Erdspalten sichtbar. Zuweilen waren von den steileren Wänden größere Gesteinsbrocken und Feinmaterial auf die Straße hinabgefallen, jedoch ohne sie vollends zu blockieren. Auf den Feldern lagen vereinzelt entwurzelte Baumgruppen. Offenbar war die Straße nach Osten, obwohl sie direkt ins Erdbebengebiet führte, die einzige, die wenigstens bis auf den Gipfel des Passes befahren werden konnte, wohingegen die Panamerica, die durch das Hochbecken nach Norden führt, wegen zahlreicher Erdrutsche unpassierbar war.

Auf zwei Reisen am 15. und 18. März 1987, die erste in das Epizentrum des Erdbebengebietes, die zweite zu den Hängen des Vulkans Cayambe, haben wir das wirkliche Ausmaß der Wirkungen des Erdbebens in Augenschein nehmen können (Abb. 1). Die

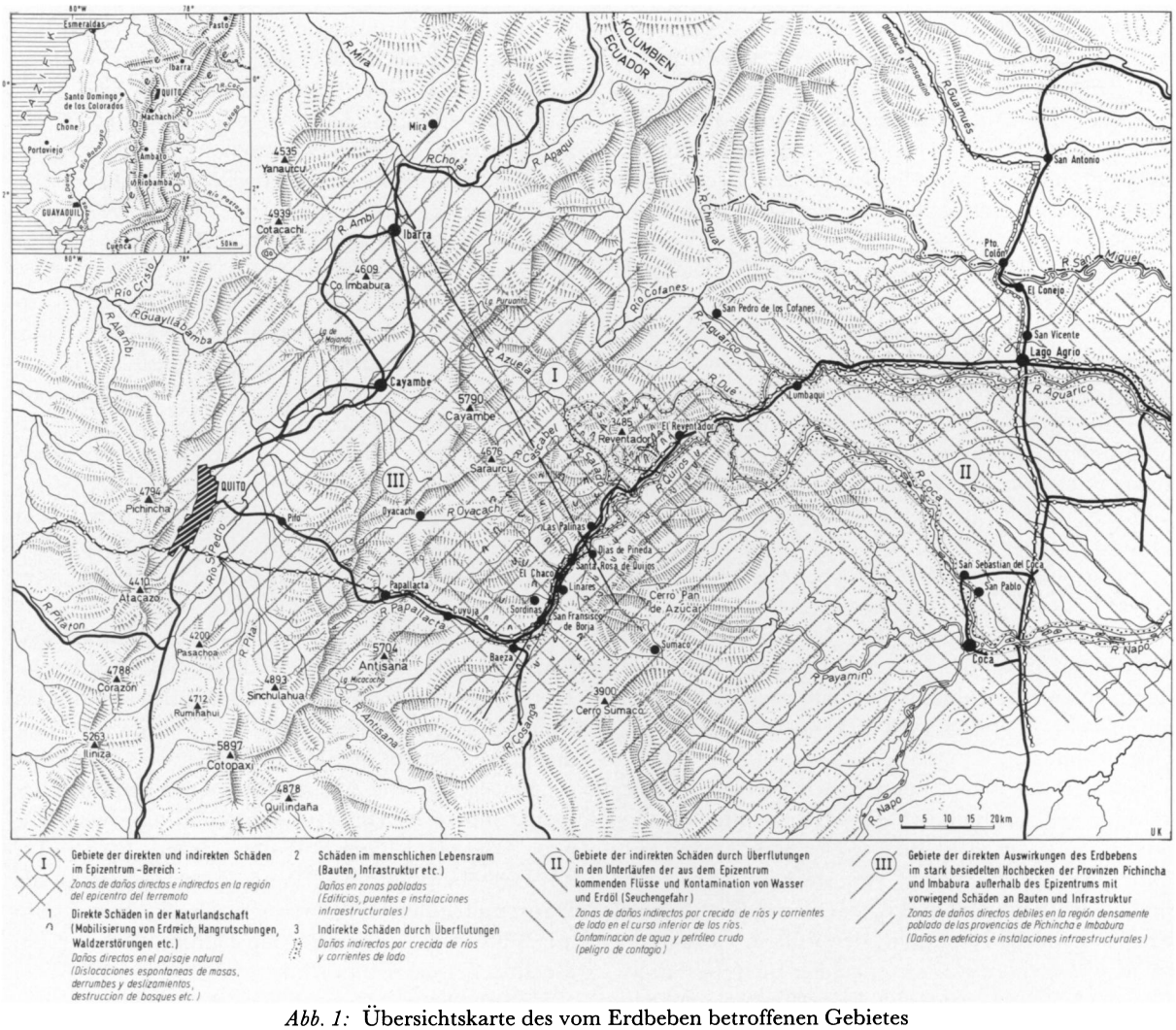


Abb. 1: Übersichtskarte des vom Erdbeben betroffenen Gebietes
Bosquejo de la región afectada por el terremoto

folgende Darstellung wird ergänzt durch Berichte, unter ihnen ein „informe" zweier ecuadorianischer Geologen, MARIO CRUZ und RENAN HERRERA, die am 9. und 10. März das Gebiet überflogen, weiterhin durch einen Bericht eines Mitarbeiters der Hilfsorganisation „Ayuda para El Ecuador" der Erzdiözese München (GERHARD SCHÄFER), eine kurze Darstellung der argentinischen Humboldt-Stipendiatin MARIA SUSANA CIPOLLETTI, die sich mit einer Ethnologen-Gruppe zu Forschungen im Napo-Gebiet amazonaswärts vom Epizentrum aufhielt, und schließlich durch eine Luftbildserie der offiziellen Befliegung durch das Instituto Geográfico Militar, die am 26. 3. 1987 stattfand. Auf der Basis dieser Luftbilder wurde von uns eine Karte der Erdbebenschäden gezeichnet und mit einer Darstellung des gleichen Raumes nach Luftbildern aus dem Jahre 1983 verglichen (Abb. 3–5, Beilagen IX–XI).

Die Folgen des Erdbebens und ihre regionale Verteilung

Nach den Angaben des Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional lag das Epizentrum des Haupterdstoßes bei 0° 4′48″ südlicher Breite und 77° 48′0″ westlicher Länge bei dem Ort Chaco (Abb. 1 u. 2). Nach dem Vorbeben um $20^h54'54''$ ereignete sich der Hauptstoß am 5. März um $23^h10'44''$. Das Vorbeben hatte eine Intensität von 5–6 und das Hauptbeben die Intensität 7 nach der

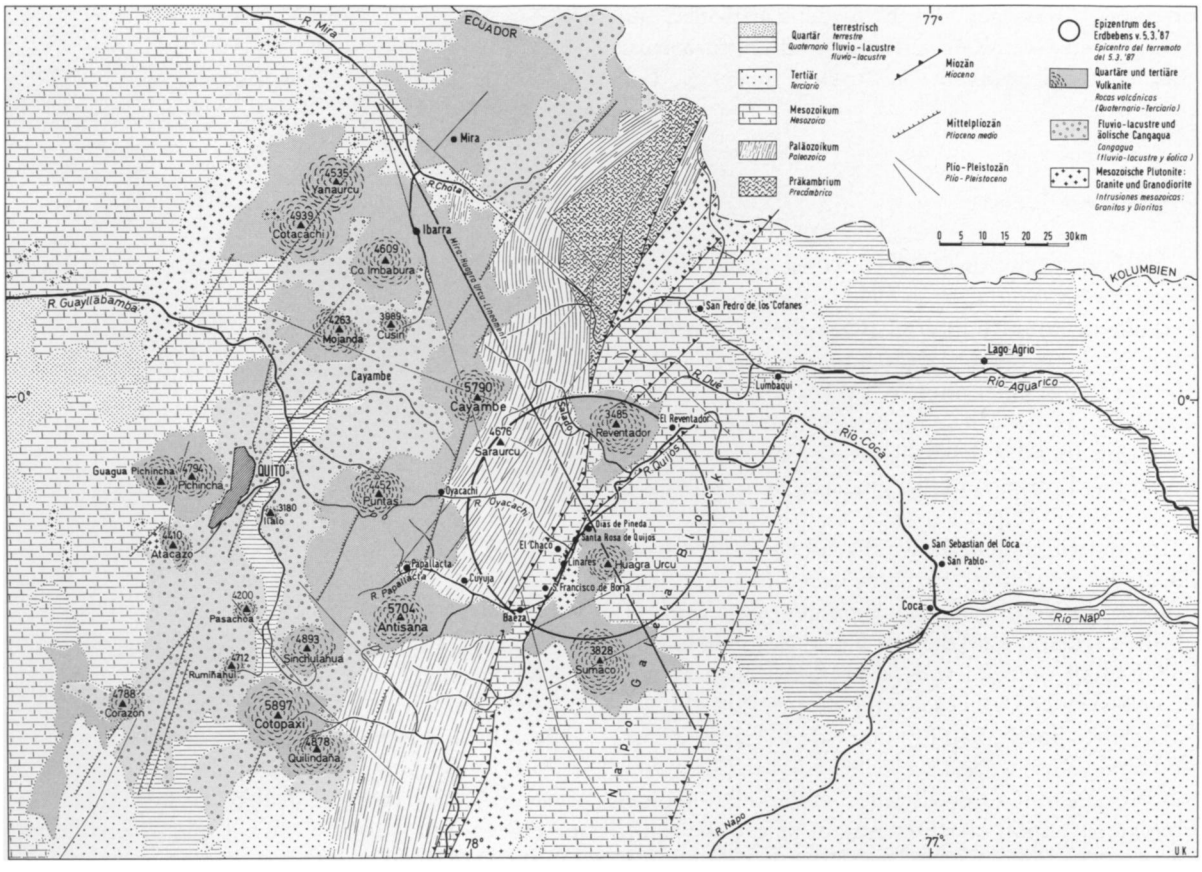


Abb. 2: Geologisch-tektonische Übersichtskarte
Bosquejo geológico-tectónico

Mercalli-Skala. Die Erdbebenwarte des genannten geophysikalischen Instituts registrierte bis zum 7. März 1987 ca. 700 kleine Beben mit Intensitäten zwischen den Stärken 2 und 3, ohne daß sie vom Menschen empfunden wurden. Ein etwas stärkeres Nachbeben ereignete sich am 9. März um 4.25 Uhr, dessen Epizentrum 1 ° südlicher und 1½ ° westlicher gelegen war als das vorhergehende.

Es lassen sich nach Art, Ausmaß und Folgen des Bebens drei Regionen unterscheiden (Abb. 1):

1. Die *Region I* um das Epizentrum: Hier kam es durch die Erschütterung zu direkten Wirkungen in der Naturlandschaft und im Bereich des menschlichen Lebensraumes in Form von spontanen Massenbewegungen (Wandabbrüche, Berg- und Felsstürze, Hangrutschungen, Erdrutsche, Schlammströme und Muren) sowie zur Zerstörung von Gebäuden und Schäden der Infrastruktureinrichtungen (Brücken, Straßen, Leitungen). Im Gebiet des noch tätigen Vulkans Reventador führten riesige Lockermassen aus vulkanischen Aschen durch die Erschütterung in Verbindung mit Starkregen zugleich zu sekundären Wirkungen in Form von Schlammströmen, die in den Talungen verheerende Überschwemmungen und riesige Materialakkumulationen hervorriefen.

2. die *Region II,* in der die Erschütterungen selbst nur in abgeschwächter Form auftraten, wurde vorwiegend von verheerenden Überschwemmungen und den genannten Materialakkumulationen betroffen, die durch Schlammströme in den beiden großen Flüssen Rio Aguarico und Rio Coca, deren Quellflüsse im Aschengebiet des Vulkans Reventador entspringen, verursacht wurden. Sie haben Siedlungen und Fluren sowie die Fernstraße und die Erdölleitung in Mitleidenschaft gezogen.

3. die *Region III,* das Hochbecken innerhalb der Provinzen Pichincha und Imbabura mit den großen Städten Quito und Ibarra, wurde in den dicht besiedelten Räumen in abgeschwächter Form von den

direkten Wirkungen des Erdbebens betroffen mit Schäden an Gebäuden aller Art und an infrastrukturellen Einrichtungen wie Straßen, Brücken, Leitungen.

Region I (Epizentrum)

Die Fernstraße von Quito zum Oriente, die erst im Zuge der Erdölfunde nach 1972 fertiggestellt wurde, verläuft in ihrem mittleren Abschnitt in Nordrichtung am Fuße der Ostabdachung und folgt auf ca. 100 km Länge einer alten Verwerfungslinie - davon 40 km im breiten Talzug des Rio Quijos und weitere ca. 60 km am Fuße des Vulkans Reventador - mitten durch das Epizentrum des jüngsten Bebens (Abb. 1 u. 2).

Im Südteil, in dem die Straße auf einer Terrassenfläche des Rio Quijos verläuft, liegen mehrere Siedlungen, die vom Erdbeben hart getroffen wurden. Da die Fernstraße auf diesem Teilstück wenig in Mitleidenschaft gezogen war, konnte für dieses relativ dicht besiedelte Gebiet schnell Hilfe geleistet werden.

Die Orte Baeza, San Franzisco de Borja, El Chaco und Santa Rosa weisen starke Schäden an Gebäuden auf. Vor allem Häuser, die aus Stein und Beton ohne Stahlkonstruktion errichtet waren, sind unbewohnbar zerstört. Dies betrifft zum Beispiel die einfach gebauten Behausungen der Militärgarnison, die allesamt zu Bruch gegangen sind. Erstaunlicherweise erwiesen sich die aus Holz erbauten Häuser großenteils als resistent. Einige fielen allerdings wie Kartenhäuser zusammen (Photo 1), andere waren von ihren Holzsockeln gerutscht. Viele Obdachlose hatten inzwischen in Zelten Zuflucht gefunden, die eilends vom Ausland herangeflogen worden waren (Photo 2). Viele Geschädigte behalfen sich mit Plastikbahnen als Behausungen, die sie an Ästen befestigten. Die meisten Menschen, auch die, die nur wenig betroffen waren, kampierten aus Angst auf der Plaza.

Photo 2: Zeltstadt als Beispiel unmittelbarer Erdbebenhilfe in El Chaco

Campamento de carpas como ejemplo de la ayuda espontánea (El Chaco)

Auf der gesamten Strecke beiderseits der Talung waren Felswände regelrecht abgebrochen und Hänge auf einer Vertikaldistanz von z. T. mehreren hundert Metern abgerutscht und Massen von Lockermaterial in Bewegung gesetzt worden. Am Ende der breiten Talung, nördlich des Ortes Santa Rosa, von wo Straße und Pipeline über einen langgestreckten Bergrücken zwischen zwei Tälern geführt werden, nahmen die Wirkungen des Erdbebens auffallend zu, um dann vor der Einmündung des Rio Salado, mitten im Epizentrum, zu kulminieren. Am Ende der noch be-

Photo 1: Totalschaden eines Hauses an einer Terrassenkante (Baeza)

Destrucción total de una casa cerca del borde de una terraza fluvial (Baeza)

Photo 3: Bergrutsch als unmittelbare Folge des Erdbebens im Vorland des Vulkans El Reventador

Deslizamiento de terreno como consecuencia directa del terremoto en la vertiente del volcán El Reventador

Photo 4: Großer Schwemmkegel an der Einmündung des Rio Malo in den Rio Quijos. Straße, Erdölleitung und die Einzelsiedlungen sind zerstört (Photo: G. SCHÄFER)

Gran cono de deyección formado por la corriente de lodo en la desembocadura del Rio Malo en el Rio Quijos. La carretera, el oleoducto y los poblados estan totalmente destruidos

fahrbaren Straße, unmittelbar vor der Steilstrecke in das Tal des Rio Salado, war dann das ganze Ausmaß des Geschehens auf einen Blick zu erkennen (Photo 3). Der bewaldete Hang, an dem die Straße in einzelnen Kehren einst zu Tal führte, war auf einer vertikalen Distanz von mindestens 600 m abgerutscht und hatte Straße sowie einzelne Siedlerhäuser samt Wald und Feld in die Tiefe gerissen. Der Talgrund des mittelgroßen Bergflusses war mehrere Meter hoch mit Schlammassen aufgefüllt und hatte das Bett auf das Doppelte verbreitert. Die Talbrücke war verschwunden und die dort über den Fluß führende Pipeline von Schlammassen erdrückt und zugedeckt.

Wie die Analyse einer Luftbildserie vom 26. März 1987 ergab (Abb. 4 u. 5, Beilagen X u. XI), hat sich der Schlammstrom des Rio Salado aus den Aschenablagerungen der oberen Hänge des Reventador-Vulkans gebildet und damit nicht nur sein eigenes Bett aufgefüllt, sondern auch unterhalb seiner Mündung in den Rio Quijos dessen erweiterte Talung, die vorher von einer breiten bewachsenen Nieder- und Aueterrasse begleitet wurde, völlig zugeschüttet (Photo 4). Nur wenige kleine Tupfen von Vegetationsinseln der ehemaligen Aue ragen aus diesem Schlammeer heraus. Die entlangführende Straße einschließlich der Ölleitung ist hier auf 40 km Länge bis hin zur Flußkaskade von San Rafael fast vollständig zerstört (Photo 5 u. 6). Brücken und Pipeline sind stellenweise zu einem Knäuel von Eisen zusammengeschoben. Nur dort, wo Straße und Ölleitung durch Bergsporne geschützt waren oder etwas höher über den Fluß verliefen, sind Teile erhalten. Kleine Siedlungen und Einzelhöfe von Campesinos samt ihren bebauten Fluren in den Seitentälern sind durch das Abrutschen der mächtigen Verwitterungsdecken in die Tiefe gestürzt, darunter begraben oder auch mit Geröll und Schlammassen weiter zu Tal verfrachtet worden. Einige wenige geschützt liegende Siedlungen blieben erhalten, wurden aber mit einem Schlage von der Außenwelt abgeschnitten. Auf der gesamten Strecke, auch noch unterhalb der Flußkaskade von San Rafael (Abb. 5, Beilage XI), wo der Rio Quijos wieder in ein engeres Bett eintritt, beobachtet man an den steilen Wänden des nunmehr Rio Coca genannten Flusses gigantische Erdrutsche und viele größere und kleinere deltaförmige Schwemmkegel an den Mündungen der kleineren Seitenbäche, die ihrerseits von breiten Schlammablagerungen aufgefüllt sind. Die Gewalt des Schlammstromabflusses unterschnitt die Talränder und hat damit zugleich erneute Erdrutsche provoziert, die ihrerseits riesige Teilstücke der Regenbergwälder mit zu Tal rissen und teilweise

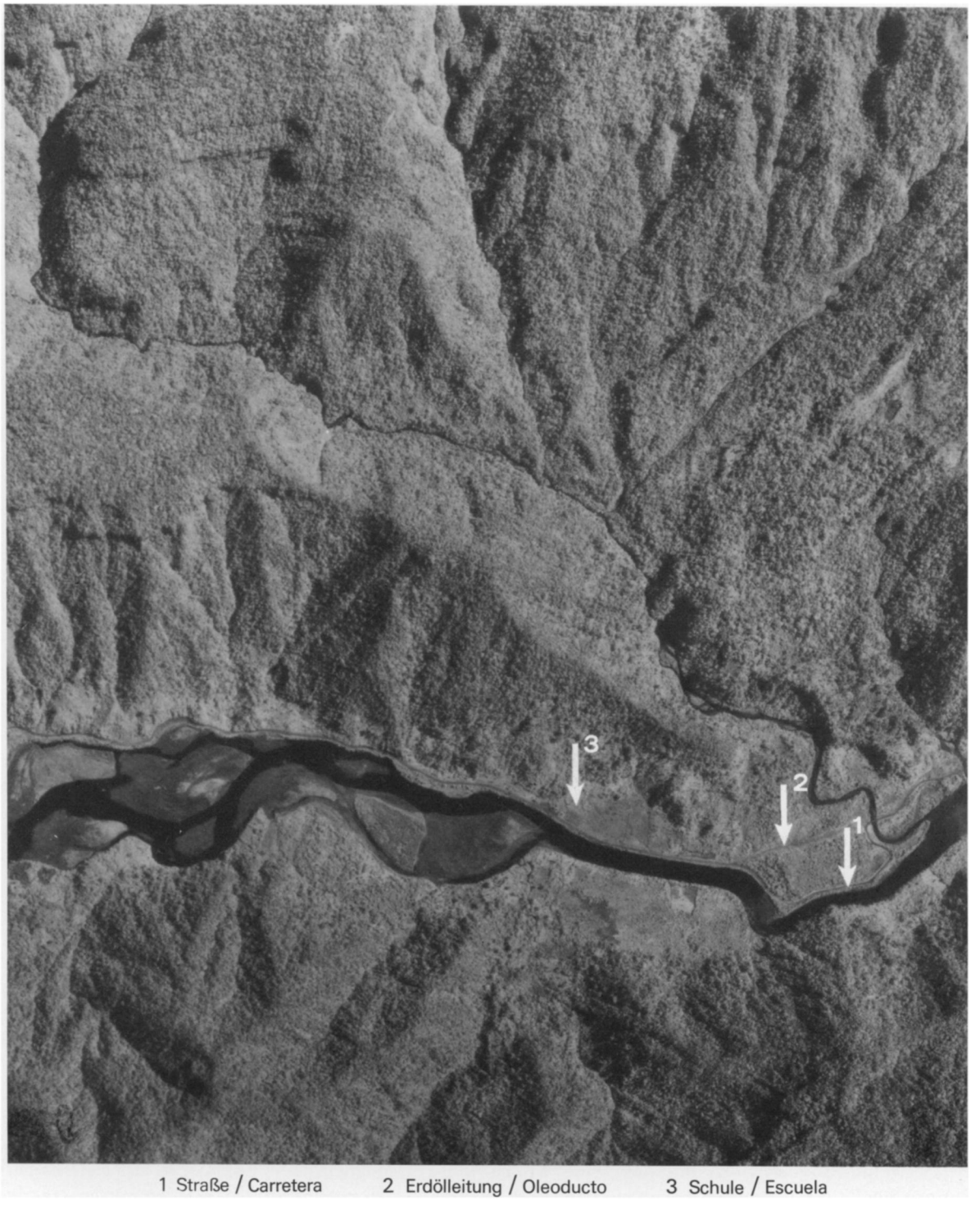


Photo 5: Luftbildausschnitt aus dem Epizentrum des Erdbebens an der Einmündung des Rio Malo in den Rio Quijos (vgl. Abb. 3, Beilage IX). Deutlich sichtbar sind der Verlauf der Straße und der Erdölleitung sowie die Lage der Escuela Rocafuerte und weiterer Einzelsiedlungen entlang der Straße. Aufnahme: 11. 7. 1983

Foto aérea de un sector del epicentro del terremoto en la desembocadura del Rio Malo en el Rio Quijos (véase Fig. 3). Se ve el curso de la carretera, del oleoducto y la posición de la Escuela Rocafuerte y de unos poblados pequeños a lo largo de la carretera al oriente

Photo 6: Gleicher Ausschnitt nach dem Erdbeben vom 5. 3. 1987
El mismo sector después del terremoto del 5. 3. 1987

die einst bebauten Terrassen des Hauptflusses in wenigen Sekunden zur Einöde machten.

Über die Zahl der Opfer gibt es keine klare Aussage. Nach offiziellen Schätzungen forderte das Erdbeben etwa 1000 Menschenleben, andere sprechen von ca. 2000. Sie sind nur zum kleineren Teil durch die direkten Wirkungen des Bebens zu beklagen, als in viel stärkerem Ausmaß durch die Schlammassen, die von den kleinen Flüssen und Bächen zu Tal gingen. Da im Bereich der stärksten Erschütterung kaum größere Siedlungen, wohl aber viele Einzelhöfe entlang der Straße und auf Verebnungen im Bereich des Berglandes lagen, ist das Ausmaß der Menschenopfer geringer geblieben als zum Beispiel beim Ausbruch des Vulkans Ruiz in Kolumbien (13. Nov. 1985), wo durch einen einzigen Schlammstrom die kolumbianische Stadt Armero von Geröllmassen zugedeckt wurde. Der Grund dafür liegt in der Tatsache begründet, daß der Raum unterhalb des Vulkans Reventador im Nordteil des Epizentrums erst durch den Straßenbau im Zusammenhang mit den Erdölfunden im Tiefland 1972–1974 erschlossen wurde und Neusiedler erst seitdem in die dortigen bewaldeten Täler vordrangen, um auf den fruchtbaren Böden an den Hängen des jungen Vulkans eine neue Existenz aufzubauen.

Der Südteil des Epizentrums mit älteren und größeren Siedlungen wurde fast nur von den direkten Wirkungen der Erschütterungen betroffen, da die Nebenflüsse des Rio Quijos in diesem Teil nicht an den mit Lockermaterial überdeckten Hängen des Reventador-Massivs entspringen und durch die Wirkung des Bebens allein nur mäßige Schlammassen mitführten.

Aufgeschreckt durch das Erdbeben sind viele der überlebenden Siedler aus dem stark betroffenen Gebiet wieder auf das Hochland oder in andere Regionen des Landes zurückgegangen, nicht zuletzt auch deshalb, weil Trinkwasserprobleme auftraten und sich das Flußwasser mit Erdöl aus der Pipeline vermischte, und schließlich auch wegen der Angst vor weiteren drohenden Seuchengefahren in dem mobilen Erdstrich um den Vulkan.

Region II

Die Mobilisierung der Berghänge und die Waldzerstörung kumulieren in der Umgebung des Vulkans Reventador besonders auffällig, da die oberen Hänge des Bergkegels größtenteils aus lockeren vulkanischen Förderprodukten bestehen. Erstaunlich ist, daß nördlich der Ortschaft Reventador, wo Pipeline und Straße eine Wasserscheide zum nächsten Flußsystem des Rio Dué überwinden, die Landschaftsschäden sukzessive abnehmen und auf dieser Strecke weder Straße noch Pipeline betroffen sind. Außerhalb des eigentlichen Epizentrums, in der Region II (vgl. Abb. 1), nahm die Intensität der direkten Wirkung des Erdbebens sehr rasch ab.

Doch weiter nördlich und nordöstlich, im Bereich des Rio Aguarico, dessen Quellfluß (Rio Dué) den Lockermassen des Vulkans entspringt, ergoß sich in die gesamte Flußlandschaft ebenfalls ein mächtiger Schlammstrom, der das alte Flußbett auf die drei- bis vierfache Breite erweiterte. Auch hier sind große Verheerungen entstanden, indem Hänge unterspült oder flaches Land überschwemmt und Brücken sowie Pipeline und Teile der Straße, die den Fluß queren, ebenfalls zerstört wurden. Größere Orte blieben teilweise von schweren Schäden verschont, wenn sie auf einer Höhenterrasse erbaut sind und nicht mehr im eigentlichen Epizentrum liegen. Noch im Tiefland bei San Pablo, am Rio Coca, ca. 100 km flußabwärts in Richtung auf den Amazonas zu, traf die Flutwelle einen Tag nach dem Erdbeben nachmittags um 15 Uhr ein. Eine Augenzeugin, Frau Dr. Cipolletti, berichtet, daß die Flutwelle von heller Farbe war und außer Geröll und Schlamm Menschenleiber, Rinderkadaver, Bäume und Kulturschutt mit sich brachte und in die Niederungen einschwemmte. In diesem Gebiet, wo einige größere Siedlungen liegen, traten sehr bald Trinkwasserprobleme auf, da das Süßwasser kontaminiert war. Anfang April gab es in Lago Agrio, der Hauptsiedlung nahe den Erdölfeldern, bereits 60 Fälle von Typhuserkrankungen. Das Ausmaß der Vernichtung der Lebensgrundlagen der dort wohnenden Landbevölkerung, besonders auch der indigenen Volksgruppen, fand bisher kaum die gebührende Beachtung.

Region III

Im dritten betroffenen Gebiet, den Hochlandprovinzen Pichincha und Imbabura zwischen den großen Städten Quito und Ibbarra, das stark besiedelt ist, beschränken sich die Schäden auf höhere, meist öffentliche Gebäude oder schlecht gebaute Häuser. Bei Kirchen sind insbesondere die Türme stark in Mitleidenschaft gezogen. Schulgebäude oder Schuppen in Leichtbauweise weisen starke Schäden auf. Alle nicht erdbebensicheren Konstruktionen zeigen Merkmale einer leichten oder stärkeren Erschütterung. Die Städte, wie zum Beispiel Ibarra und Cayambe, die näher am Epizentrum und dessen

mobiler Verwerfung (vgl. Abb. 1 u. 2) liegen, sind stärker betroffen als die weiter entfernte Hauptstadt Quito. Die meisten Schäden sind reparabel, doch sind gerade in Ibarra zwei Kirchen teilweise eingestürzt und sicher nur mit höherem Aufwand neu zu errichten. Einer der beiden Türme der Kathedrale hat stärkere Schäden erlitten. Häuser, die aus Stahlbeton und Backstein erbaut wurden, haben am besten dem Erdbeben widerstanden. Alle anderen tragen in irgendeiner Weise sichtbare Zeichen von Schäden.

Erhebliche, manchmal totale Zerstörungen erlitten insbesondere die aus Lehm errichteten Häuser auf dem Lande. In vielen Fällen sind die Dächer mit dem niederbrechenden Mauerwerk eingestürzt und haben Verletzte, aber auch Todesopfer, meist Kinder, die im Schlaf überrascht worden sind, gefordert. Besonders am Abhang des Cayambe-Vulkans wurden die Behausungen der einfachen Bevölkerung, die aus gestampftem Lehm erbaut wurden (tapias), erheblich beschädigt. Sie konnten auch dem schwächsten Erdstoß kaum Widerstand leisten.

In der ländlichen Zone um Cayambe sind nach S. Moreno (1987) 10% der Behausungen irreparabel geschädigt, weitere 30% wurde unbewohnbar zerstört, vor allem durch Einsturz der Dächer und deutliche Schäden des Mauerwerks. Sie wurden inzwischen als „wiederherstellbar" eingestuft.

Die Höhenzonen des Vulkans Cayambe haben verhältnismäßig wenig sichtbare Zeichen stärkerer Wirkungen des Erdbebens zu erkennen gegeben. Außer einigen Fels- und Bergstürzen und kleineren Spalten in der den Hang hinaufziehenden Straße hat dieses Massiv dem Beben widerstanden, obwohl die erdbebenauslösende Verwerfung nur unweit nordöstlich des Vulkans entlangzieht (Abb. 2).

Geologische und geomorphologische Anmerkungen zum Erdbeben

Zur Erklärung dieses Erdbebens muß auf die geologischen Verhältnisse hingewiesen werden. Der Großraum, in dem das Erdbeben geschehen ist, gehört zu drei verschiedenen geologischen Haupteinheiten, die seit der variskischen Konsolidierungsphase unterschiedliche Entwicklungen erlebten.

Die Ostkordillere von Ecuador (Cordillera Real) besteht aus Metamorphiten, in erster Linie aus kristallinen Schiefern. Dieser Teil war einst nach der variskischen Gebirgsbildung eine Schwelle zwischen zwei getrennten Meeresräumen. Die östlichen Abhänge des Hauptkamms der Ostkordillere gehören zu den subandinen Ketten und Bergzügen, die aus mesozoischen, hauptsächlich kreidezeitlichen Ablagerungen aufgebaut sind und von tertiären Sedimenten überlagert werden. Im Gebiet des Erdbebens verläuft eine Hauptverwerfungslinie (Abb. 2), an der auch jurassische Kalke auftreten, wie z. B. an der Verwerfung, die im Bereich des Epizentrums von SSW nach NNE zieht und der heute ein Abschnitt des Tales, in dem der Rio Quijos fließt, folgt. Östlich davon steigt der Napo-Galeras-Block (Abb. 2) empor und erreicht in den Bergen des Pan de Azúcar mit dem erloschenen Vulkan Sumaco (3828 m) die größte Höhe.

Westlich des Ostkordillerenzuges liegt die intermontane Längssenke mit Höhen von meist über 1500 m NN, die im Raum zwischen Quito und Ibarra eine mächtige Beckenfüllung mit vulkanischen Ablagerungen trägt, charakterisiert durch Wechsellagerung von Aschen, häufig Bims, mit äolischen und lakustren Sedimenten, Cangahua genannt. Diese Senke wurde durch epirogene Bewegungen des Andenblocks im Pleistozän in dieser Form gebildet und ist in einzelne Schollen zerlegt, die durch unterschiedliche Sprunghöhen voneinander getrennt sind, die z. B. bei Quito gegenüber der Umgebung ca. 200 m und bei Ibarra 300–400 m betragen. Entlang von Bruchzonen ordnen sich Vulkane zu einer Kette an, die an den Verwerfungskreuzungen Gebirgsknoten (nudos) bilden. Die epirogene Bewegung des Andenblocks dauert bis heute an und ist zum Teil Ursache der tektonischen Erdbeben.

Erdbeben sind keineswegs selten in Ecuador; doch haben sie im letzten Jahrhundert meist nur geringe Stärken erreicht. Th. Wolf (1892) hat alle Erdbeben, die seit der spanischen Eroberung auftraten, aufgezeichnet. W. Sauer (1971) berichtet von fünf Erdbeben seit 1938, die auch Menschenleben kosteten und große Verheerungen anrichteten. Das letzte stärkere Erdbeben, das das Becken von Quito betraf, ereignete sich am 9. 8. 1938. Damals lag das Epizentrum am Rio Chillos östlich von Quito zwischen den Vulkanen Ilalo und Pasachoa (Abb. 2).

Der aktive Vulkan Reventador, im Zentrum des Bebens vom 5. 3. 1987, hat mehrfach kleinere und größere Erdstöße verursacht, die zum Teil schwere Folgen für die Bevölkerung dieser Region hatten. M. L. Hall (1977) hat die Beobachtungen über die Ausbrüche des Reventador seit 1541 zusammengestellt. Seit dieser Zeit ist er 26mal ausgebrochen und hat kleinere Erdbeben hervorgerufen sowie eine Menge vulkanischen Materials ausgestoßen. Er hat bis heute einen Bergkegel aufgebaut mit einer Höhe von 3562 m NN (Abb. 3, Beilage IX). Diesmal brach der Reventador selbst nicht aus und verursachte das

Beben nicht unmittelbar. Vielmehr wurden die Verwerfungslinien in seiner Umgebung mobil.

Die östliche Andenabdachung und die subandinen Ketten bestehen aus einem sehr komplizierten Muster tektonischer Linien (Abb. 2). Sie zerlegen dieses Gebiet in kleine und kleinste Teilschollen. Bei dem Erdbeben vom 5. 3. 1987 ist eine dieser kleinen Teilschollen reaktiviert worden, wohingegen der große Block (Napo-Galeras-Massiv) auch diesmal als Widerlager diente und in seinem Verbreitungsgebiet keinerlei Schäden durch das Erdbeben aufweist.

Großräumig wird dieses Erdbeben mit der Bewegung der unter dem südamerikanischen Kontinent abtauchenden Nasca-Platte im Stillen Ozean in Verbindung gebracht. Es wird angenommen, daß eine jüngere Transversalstörung des Andenblocks, das sog. Mira-Huagra Urcu-Lineament (Abb. 2), dort, wo sie die alte SSW/NNE streichende Verwerfung kreuzt, sich bewegte und das Erdbeben ausgelöst hat. Diese SE/NW verlaufende Störungslinie zieht entlang der Südwestflanke des noch tätigen Vulkans Reventador über den Andenkamm hinüber in das zentrale Hochbecken um Ibarra. Tatsächlich liegen die vom Erdbeben direkt betroffenen Gebiete entlang dieses genannten Lineaments. Allerdings sind die Räume am östlichen Abhang der Ostkordillere unmittelbar um den Kreuzungspunkt der alten Verwerfung im Epizentrum im Bereich der Ortschaften Chaco, San Franzisco de Borja, Baeza und die kleineren Siedlungen am Quijos-Fluß unterhalb des Reventador-Vulkans am stärksten heimgesucht worden. Weit weniger wirkte sich das Beben auf die westlich des Hauptkordillerenzuges liegenden bewohnten Räume aus.

Unmittelbar nach dem Erdbeben wurde zunächst angenommen, daß der Vulkan Reventador erneut ausgebrochen sei. Es stellte sich aber heraus, daß der Explosionslärm durch die Gas- und Ölleitung verursacht wurde, deren Produkte in Brand gerieten und zum Teil einen Explosionsknall auslösten.

Außerdem sind die Schlammströme, die zu Tal gingen, mit Lava vom Vulkan verwechselt worden. Es hat sich auch nicht bewahrheitet, daß durch das Erdbeben Schneeschmelze eingetreten sei, die aber nur auf dem sehr hohen Cayambe hätte eintreten können. Ein Aufstieg zum Cayambe bis zu seiner Schneegrenze zeigte, daß hier nichts dergleichen stattgefunden hat. So kann es als sicher gelten, daß das Epizentrum weitgehend an das Lineament gebunden ist und somit das Erdbeben tektonische Ursachen hat.

Klassifiziert man die Schäden, die das Erdbeben verursachte, im geomorphologischen Sinn, so kann man mehrere Typen unterscheiden. Im wesentlichen sind es spontane Massenverlagerungen, die entlang von Verwerfungslinien oder tektonischen Leitlinien aufgetreten sind. Sie sind Folge starker Erschütterungen, die einerseits zu Felsstürzen, Bergstürzen, Wandabbrüchen, Bergrutschen mit spontanem Abgleiten von Verwitterungsdecken und andererseits, besonders im Bereich der starken Aschenbedeckung des Vulkans, auch zu Strömen breiiger und fließfähiger Massen geführt haben, die sich zu murartigen Strömen ausweiteten. Die Lockermassen basieren zum Teil auf feinkörnigen, pyroklastischen Materialien von Korngrößen feiner Aschen bis zu Bimsen, die vom Reventador-Vulkan abgelagert wurden.

Diese Schlammströme, häufig echte „Lahars", sind gebunden an ein Feststoff-Wassergemisch, das durch die starken Regenfälle in den Tagen des Erdbebens zustande kam. Die vulkanischen Aschen und die Verwitterungsdecken an den steilen Hängen wurden mobilisiert, und die starken Niederschläge haben sie in den Tälern zu Schlammströmen werden lassen, die dann zu einer Auffüllung und Verbreiterung der Flußtäler geführt haben. Nach groben Schätzungen wurden zwischen dem Rio Salado und den Rafaelkaskaden ca. 40 Mio. m^3 Material abgelagert. (Cruz u. Herrera 1987).

Das Felssturz- und Erdrutschmaterial, das vorher mit Wald bestanden war, staute sich zum großen Teil an den Engtalstrecken der Flüsse, so daß sich regelrechte Querdämme in die Flußquerschnitte legten, die Wasser und Schlamm aufstauten, um beim Durchbruch des Dammes mit erhöhter Wucht talab verheerene Zerstörungen hervorzurufen. Der plötzliche Durchbruch des Wassers und des Schlamms verursachte ebenso durch eine intensive Seitenerosion eine Unterspülung der Hänge. Dies führte erneut zu Rutschungen an den Flußuferbereichen. Die enormen Wassermengen, die durch die Entlastung der kurzfristig entstandenen Staubecken stromabwärts flossen, nahmen Brücken, kleine Siedlungseinheiten samt Mensch und Tier mit sich und haben sie unter völliger Zerstörung teilweise mit Schlamm zugedeckt. Die Schlammassen ergossen sich über die Flüsse Aguarico und Napo bis in die Flachlandzonen des oberen Amazonas (Photo 7).

Das Erdbeben und seine wirtschaftlichen Konsequenzen

Zweifellos ist das Erdbeben in der Nacht vom 5. 3. 1987 eine der größten Katastrophen, die das kleine Entwicklungsland Ecuador in jüngster Zeit erlebt hat. Es ereignete sich in einem Gebiet, das wegen

Photo 7: Einmündung des Rio Salado in den Rio Quijos. Durch Seitenerosion nach dem Durchbruch gestauter Wassermengen kam es zur Unterspülung der Hänge und Abriß der Seitenwände. Deutlich sind auch die vielfältigen Rutschungen an den Hängen zu sehen als Folge unmittelbarer Wirkung des Erdbebens (Photo: G. SCHÄFER)

La desembocadura del Rio Salado en el Rio Quijos. Después de la irrupción de las masas de aguas estancadas por una cresta de compresion la erosión lateral iba socavando las pendientes en las orillas del Rio. Además se ve claramente deslizamientos múltiples en las vertientes como consecuencia directa de los movimientos sísmicos

seiner schlechten Erschließung und infrastrukturellen Ausstattung in seinen Ausmaßen nicht schnell erfaßt und der Weltöffentlichkeit nur unzureichend bekanntgemacht werden konnte. Ecuador wurde durch das Erdbeben, das an der einzigen Verbindungslinie zum Erdöl im östlichen Tiefland sein Epizentrum hatte, an einem bedeutenden Lebensnerv getroffen. Durch die Zerstörung der Straße Quito-Lago Agrio und der Erdölleitung auf einer Strecke von ca. 40 km erlitt die Energieversorgung des Landes einen schweren Schlag. Am Tage nach dem Erdbeben wurde sofort das Benzin rationiert und die Preise pro Liter um ca. 80% angehoben, da das Land lediglich für 30 Tage über Benzinreserven verfügt. Hilfen wurden spontan vom Erdölland Venezuela angeboten. Außerdem wurde mit Nigeria ein Vertrag zur raschen Lieferung von Erdöl ausgehandelt. Um möglichst schnell wieder Erdöl zu den Raffinerien an der pazifischen Küste zu bringen, wurde sofort begonnen, eine 20 km lange Pipeline von Lago Agrio bis San Antonio in Kolumbien zu bauen (Abb. 1), um einen Anschluß an die kolumbianische, transandine Erdölleitung herzustellen. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, zeitweise ecuadorianisches Erdöl an die pazifische Küste bei Tumaco zu pumpen, um es von dort aus per Schiff nach Esmeraldas zu den ecuadorianischen Raffinerien zu bringen. Bis zur Wiederherstellung der eigenen Ölleitung soll diese Behelfsleitung Erdöl für Ecuador liefern. Inzwischen (Oktober 1987) wurde die eigene Ölpipeline wieder in Betrieb genommen.

Durch den Ausfall der eigenen Erdölleitung ergaben sich für das Jahr 1987 Verluste von ca. 35 Mio. Faß Rohöl gegenüber 1986, was einer Förderung von 61 Mio. Faß 1987 gegenüber 106 Mio. Faß 1986 entspräche. Von diesen 61 Mio. Faß sollen 25 Mio. exportiert werden, darunter die Rücklieferung von 12 Mio. an Venezuela und 1,5 Mio. Faß an Nigeria. Beide Staaten hatten während des Förderungsausfalls leihweise Rohöl geliefert.

Es sei angemerkt, daß Ecuador nach einschlägigen Schätzungen noch über Erdölreserven für 12 Jahre verfügt unter der Annahme einer Tagesförderung von 260 000 Faß nach dem Stand Ende 1986. Seit Beginn der Erdölgewinnung im Jahre 1972 hat Ecuador rd. 1 Mrd. Faß Rohöl gefördert.

Inzwischen wurde errechnet, daß sich die materiellen Verluste aus den Folgewirkungen des Erdbebens

auf ca. 1 Mrd. US-Dollar belaufen. Dabei sagen die offiziellen Angaben (s. Kurzbericht über Lateinamerika, Nr. 2, 1987), daß sich die Last überwiegend auf den staatlichen Sektor einschließlich der Erdölwirtschaft bezieht. Die Reparatur der Erdölleitung wird auf über 100 Mio. US-Dollar geschätzt. 400 Mio. betreffen den Exportausfall, und die restlichen 500 Mio. entfallen auf die Schäden an der Infrastruktur (Gebäude, Straßen, Brücken). Der Wiederherstellung der Straße in den Oriente als einziger Verbindung zu den Erdölfeldern sowie zum Zentrum der Palmölherstellung ist vorrangige Priorität eingeräumt worden. Doch ist an einen reibungslosen Verkehr vorerst kaum zu denken.

Über die wirkliche, spontan geleistete Hilfe unmittelbar nach dem Erdbeben gab es in den Zeitungen widersprüchliche Informationen; die genaue Höhe dieser Hilfe ist bisher auch nicht offiziell bekannt geworden. Direkte Zusagen unmittelbar nach dem Erdbeben hat es von den Ländern Italien, USA und Frankreich gegeben. Von der Bundesrepublik wurde ebenfalls eine Bereitschaft erklärt. Von der deutschen Botschaft war unmittelbar nach dem Erdbeben zu erfahren, daß mit Hilfe eines Kredits von 2 Mio. zu rechnen sei, der gezielt zur Wiederherstellung der Brücke über den Rio Aguarico und der Wiederinbetriebnahme eines an der gleichen Stelle liegenden Sägewerkes (Lumbaqui), das vor längerer Zeit durch die Bundesrepublik aufgebaut worden war, eingesetzt werden soll.

Nach dem oben erwähnten Bericht hat das ecuadorianische Finanzministerium inzwischen zur Behebung der Erdbebenschäden Kredite in Höhe von 173 Mio. US-Dollar von den multinationalen Instituten und befreundeten Ländern zugesagt erhalten. Darunter ist auch ein 80 Mio.-Kredit der Weltbank zum Ausgleich der Kosten aus der Zerstörung der Erdöl-Pipeline. Weitere Kredite in Höhe von 60 Mio. US-Dollar konnten gleichfalls für die Notfallhilfe eingesetzt werden.

Man kann nur hoffen, daß die Hilfsprogramme auch die durch das Erdbeben in Not geratenen Menschen erreichen und ihnen über die spontane Hilfeleistung unmittelbar nach dem Geschehen hinaus Möglichkeiten zur Verbesserung ihrer Lebensqualität zuteil werden.

Literatur

Abele, G.: Schnelle Massenselbstbewegung, ein dominanter morphodynamischer Faktor in den chilenischen Anden. In: Innsbrucker Geographische Studien, Bd. 35, 1979, S. 21-38.

- : Trockene Massenbewegungen, Schlammströme und rasche Abflüsse. Dominante morphologische Vorgänge in den chilenischen Anden. Mainzer Geographische Studien, Heft 23, 1981.

Cruz, M. u. Herrera, R.: Informe sobre los resultados de la inspección realizada al aerea de desastre en las inmediaciones del volcán Reventador los dias 9 y 10 de marzo de 1987. Manuskript 13 Seiten. Quito, März 1987.

Cipolletti, M. S.: Informe-terremoto Ecuador del 5. 3. 1987. Manuskript 3 Seiten. Mai 1987.

Hall, M. L.: El volcanismo en el Ecuador. Biblioteca Ecuador. Quito 1977.

Moreno, S.: El terremoto de los pobres. La situación de Ayora-Cayambe después del sismo de marzo de 1987. In: TRAMA 44. Quito 1987, S. 19-24.

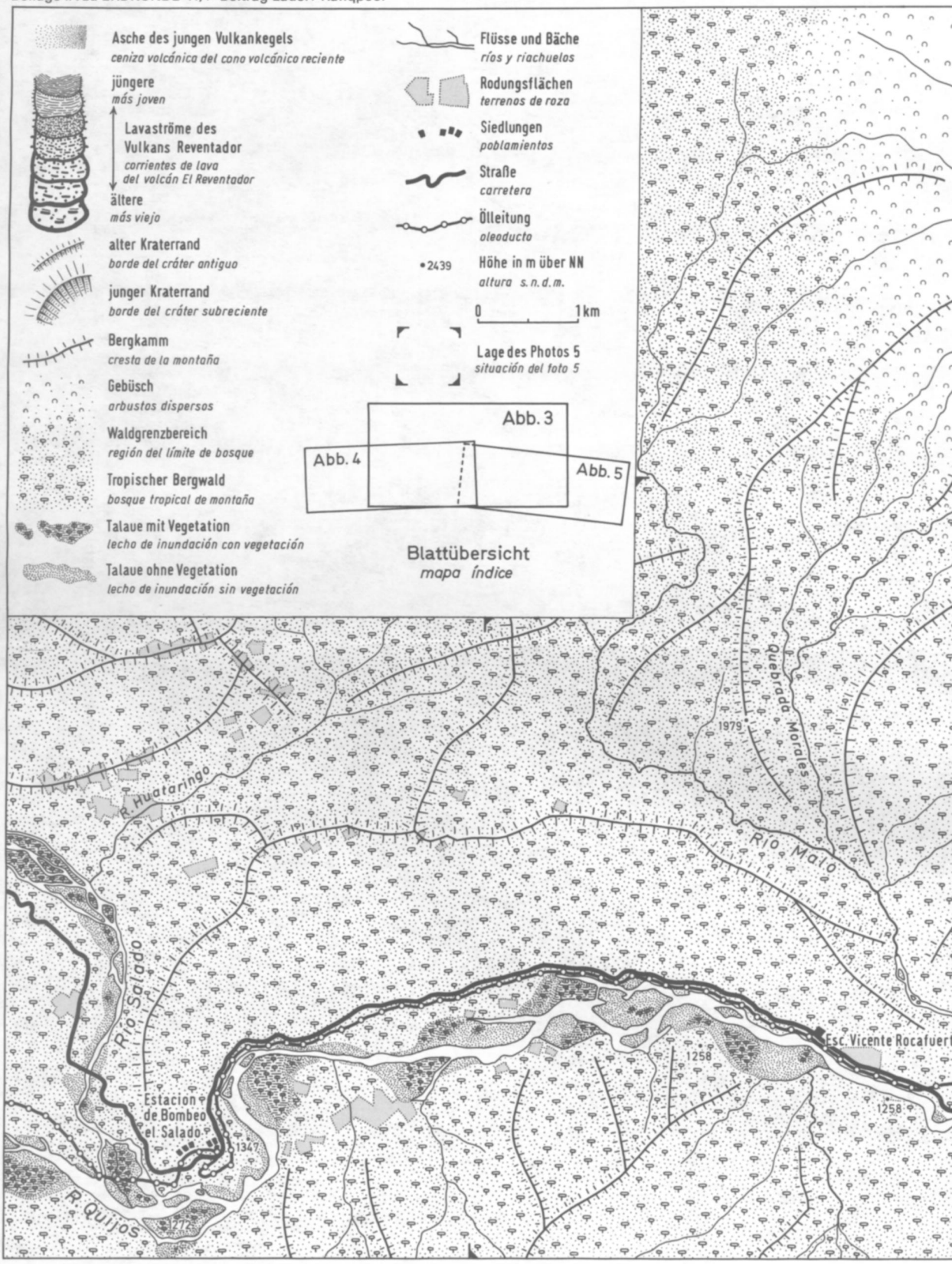
Sauer, W.: Geologie von Ecuador. Berlin-Stuttgart 1971.

Schäfer, G.: Reisebericht aus dem Erdbebengebiet. Manuskript. Quito, 23. März 1987.

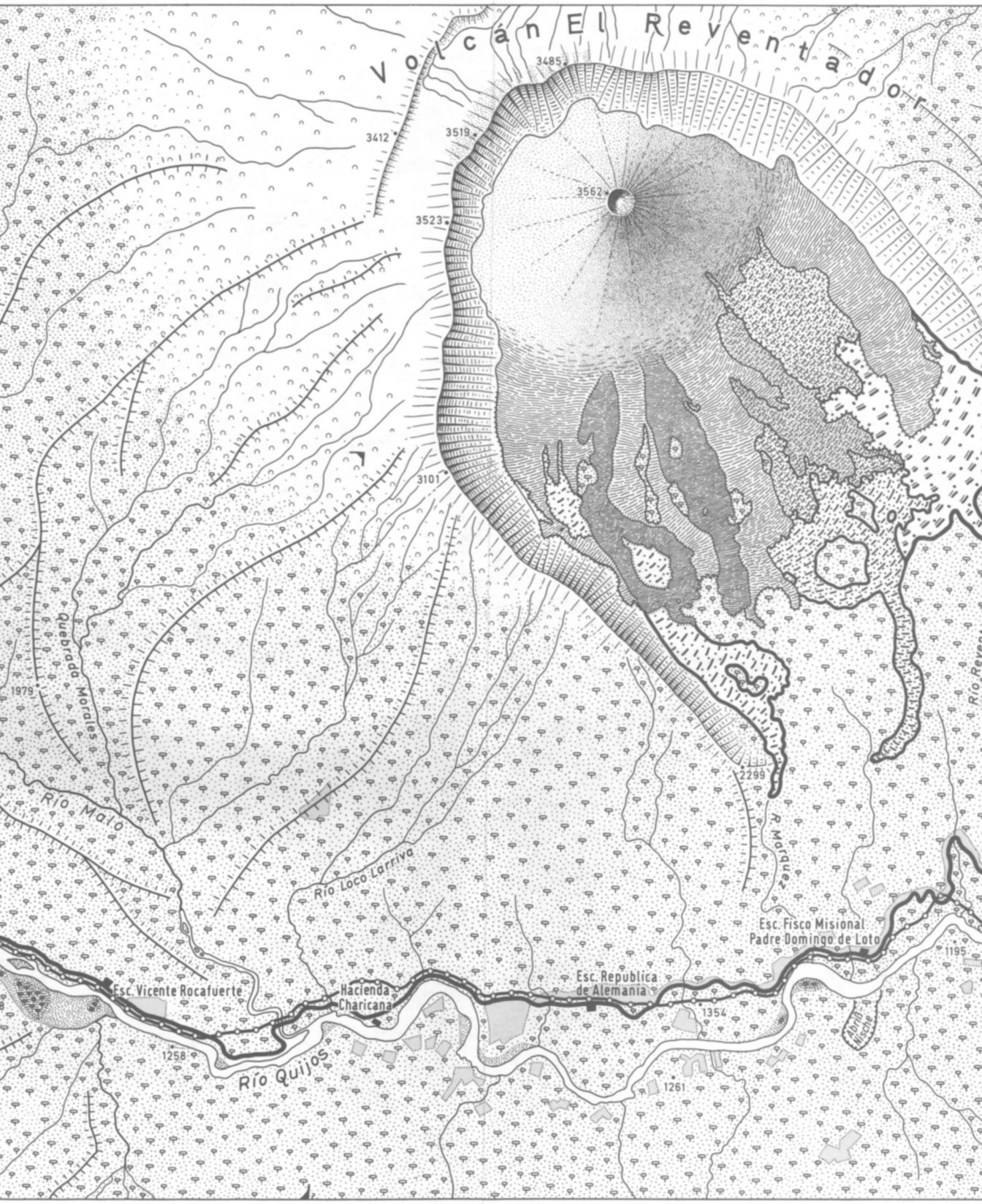
Wolf, Th.: Geografía y Geología del Ecuador. Leipzig 1892.

Deutsch-Südamerikanische Bank: Kurzbericht über Lateinamerika, H. 2 u. 3, 1987.

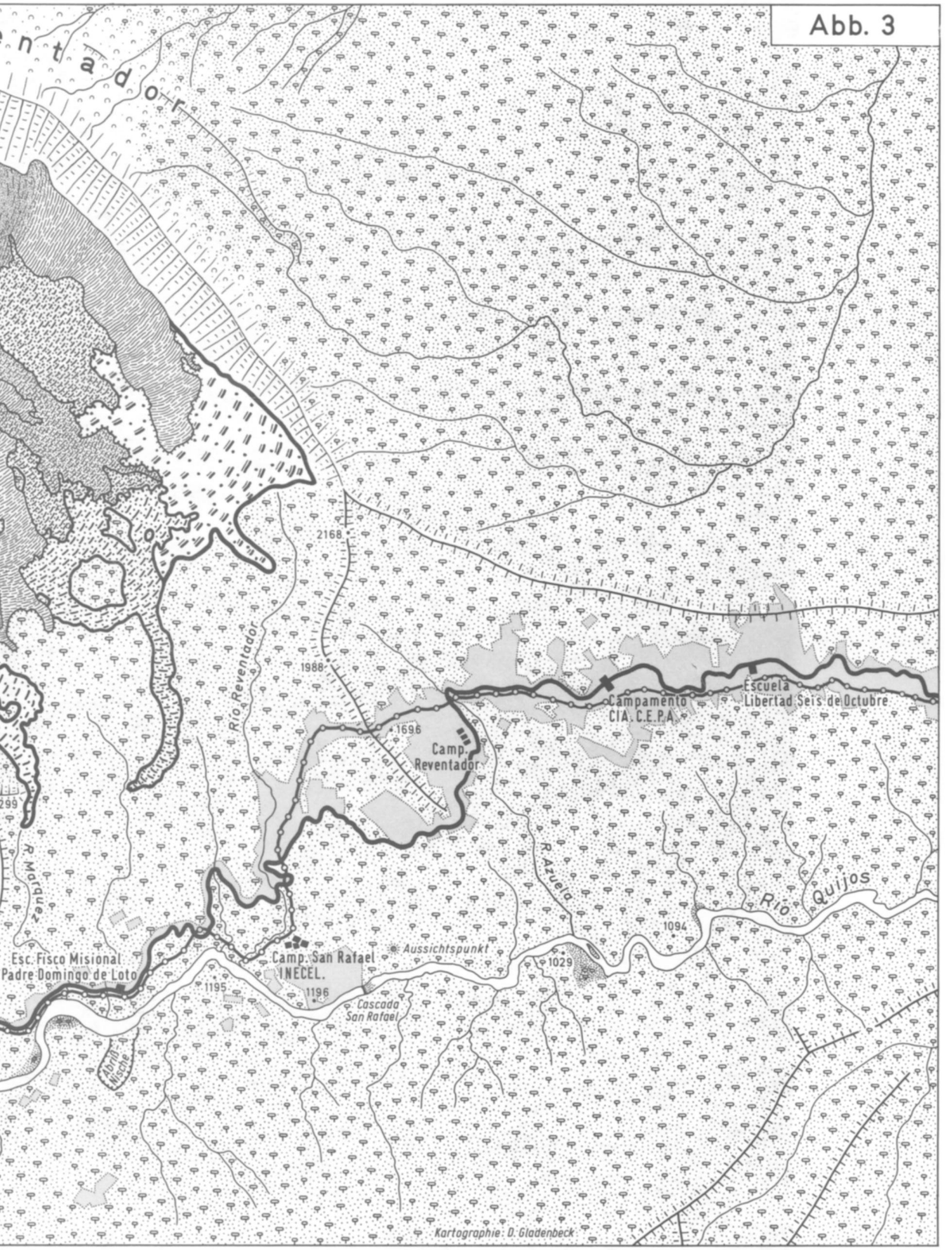
Berichte aus den Tageszeitungen von Quito „El Comercio" und „Hoy", März 1987.



Landschaftsbild in der Umgebung des Vulkans El Reventador vo

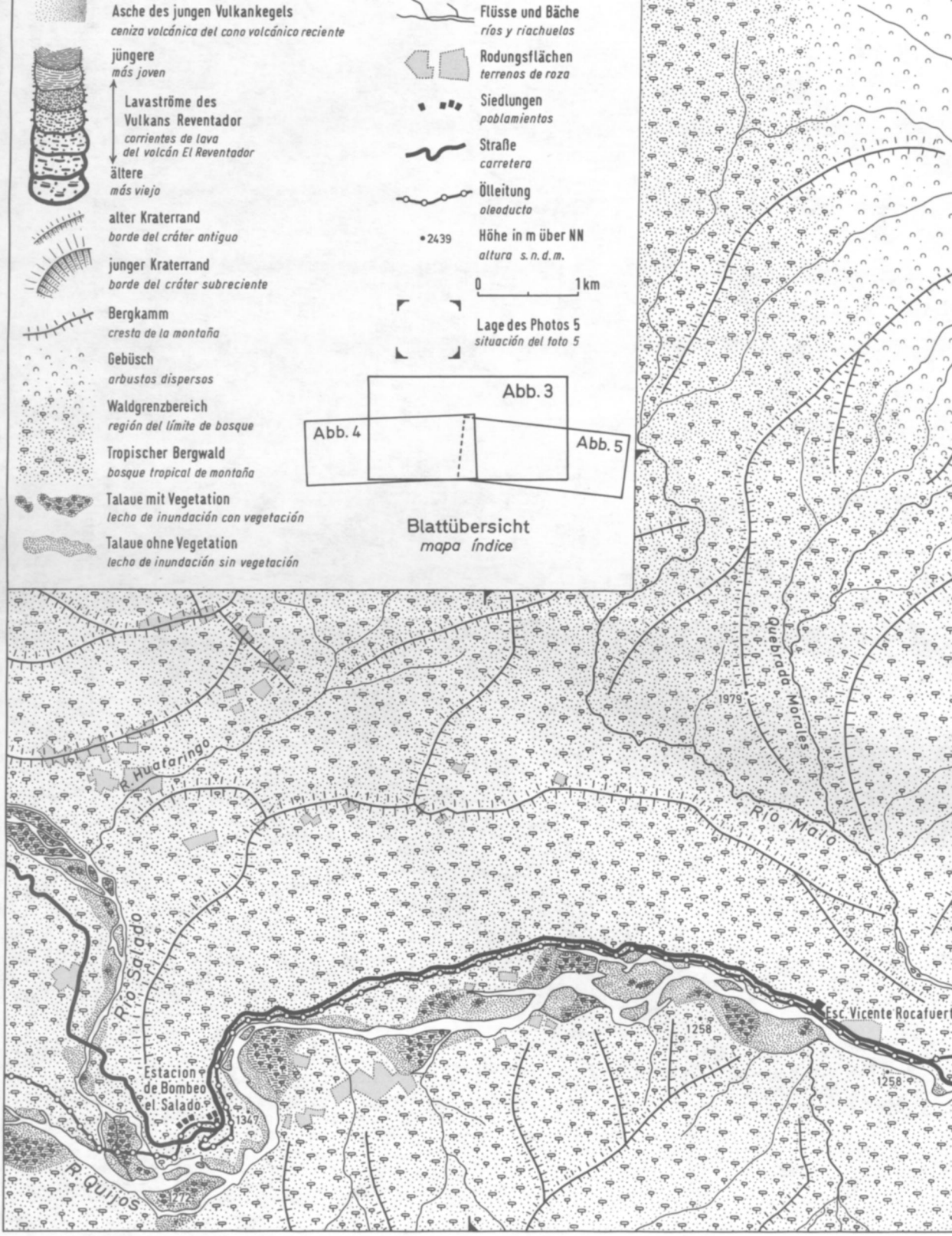


El Reventador vor dem Erdbeben



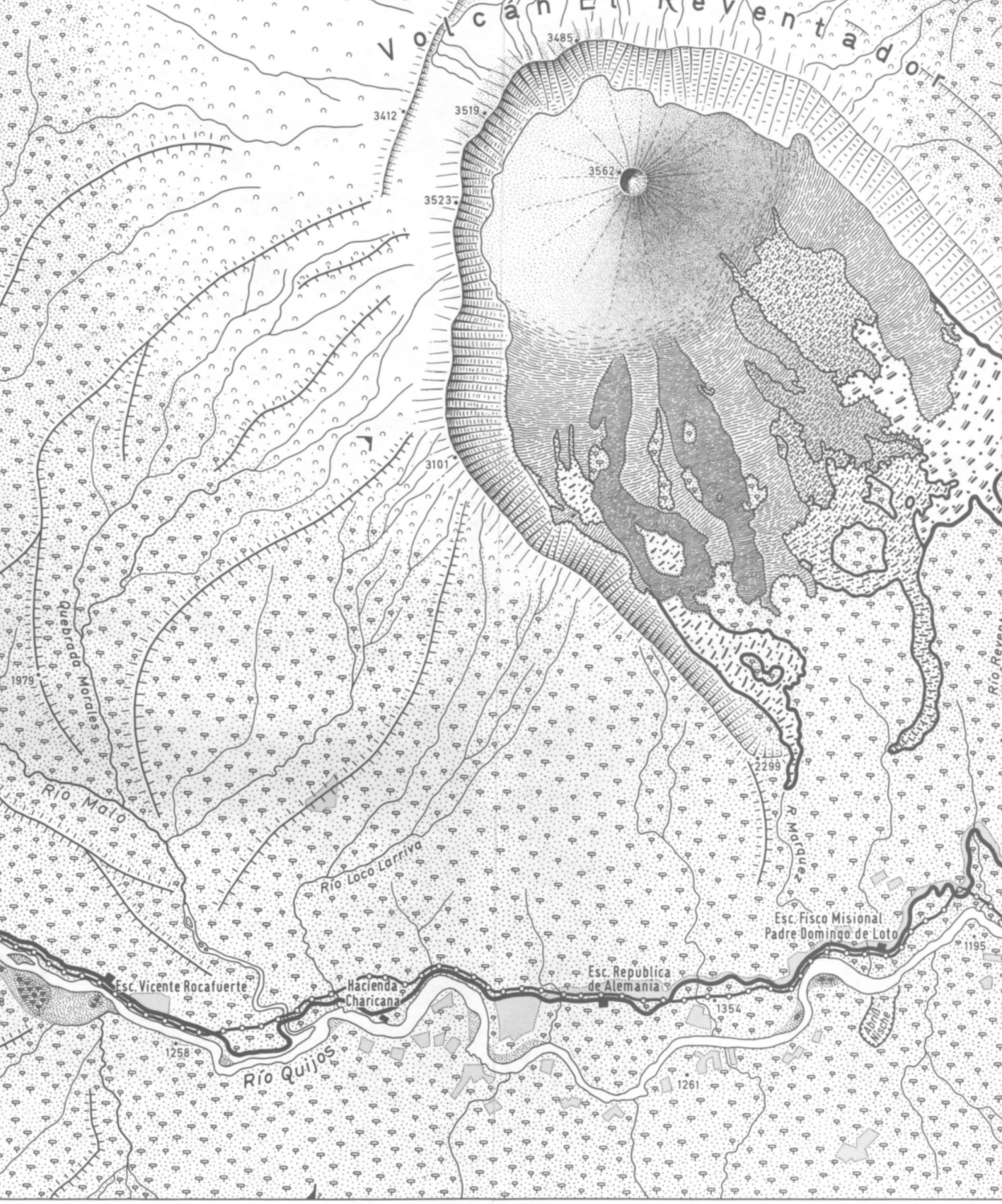
Luftbildinterpretation einer Befliegung des Proyecto Carta Nacional

Interpretación de fotos aéreas vuelo de 11.7.1983, Proyecto Carta Nacional



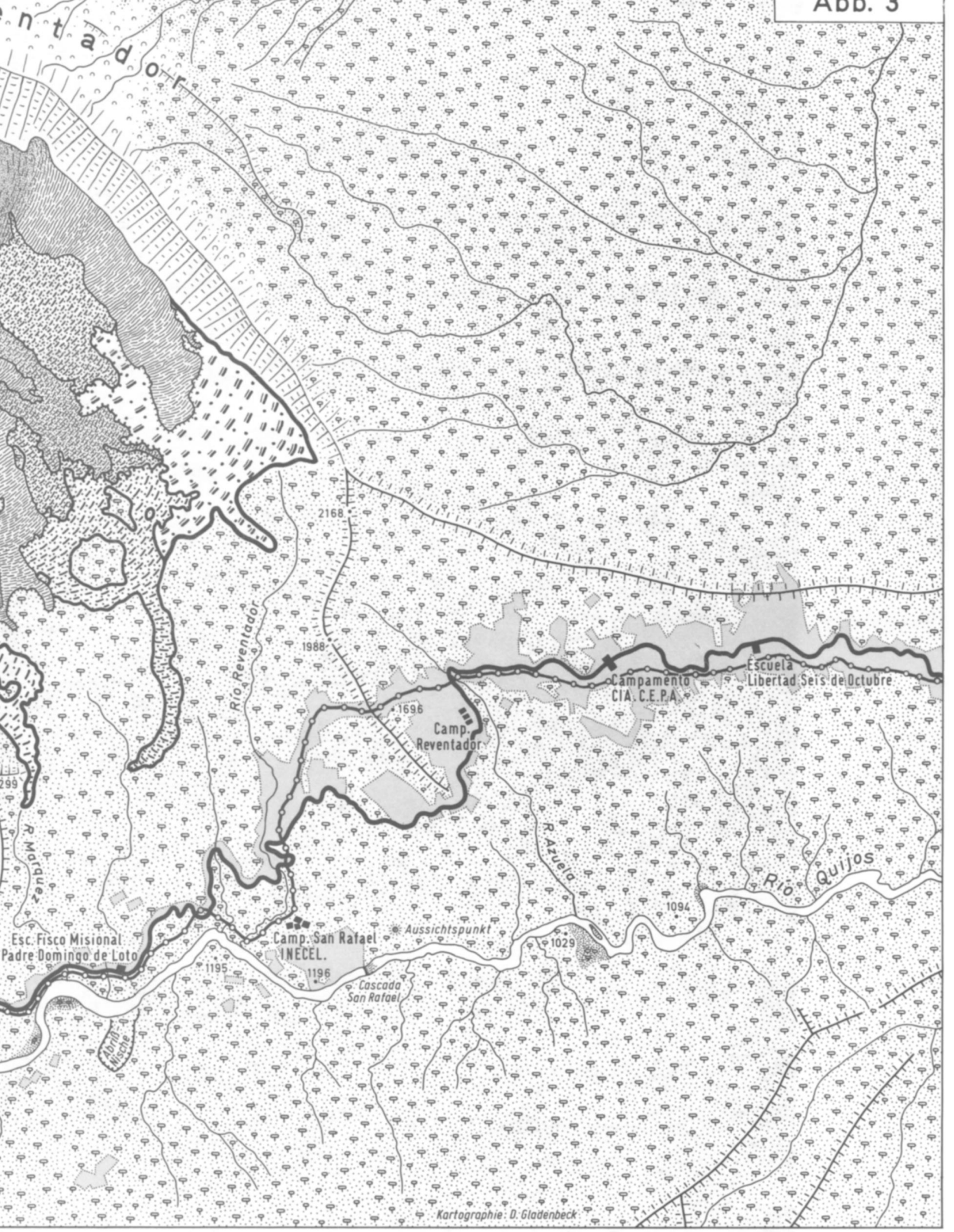
Landschaftsbild in der Umgebung des Vulkans El Reventador vo

Cuadro del paisaje de la zona alrededor del volcán El Reventador antes del terrem



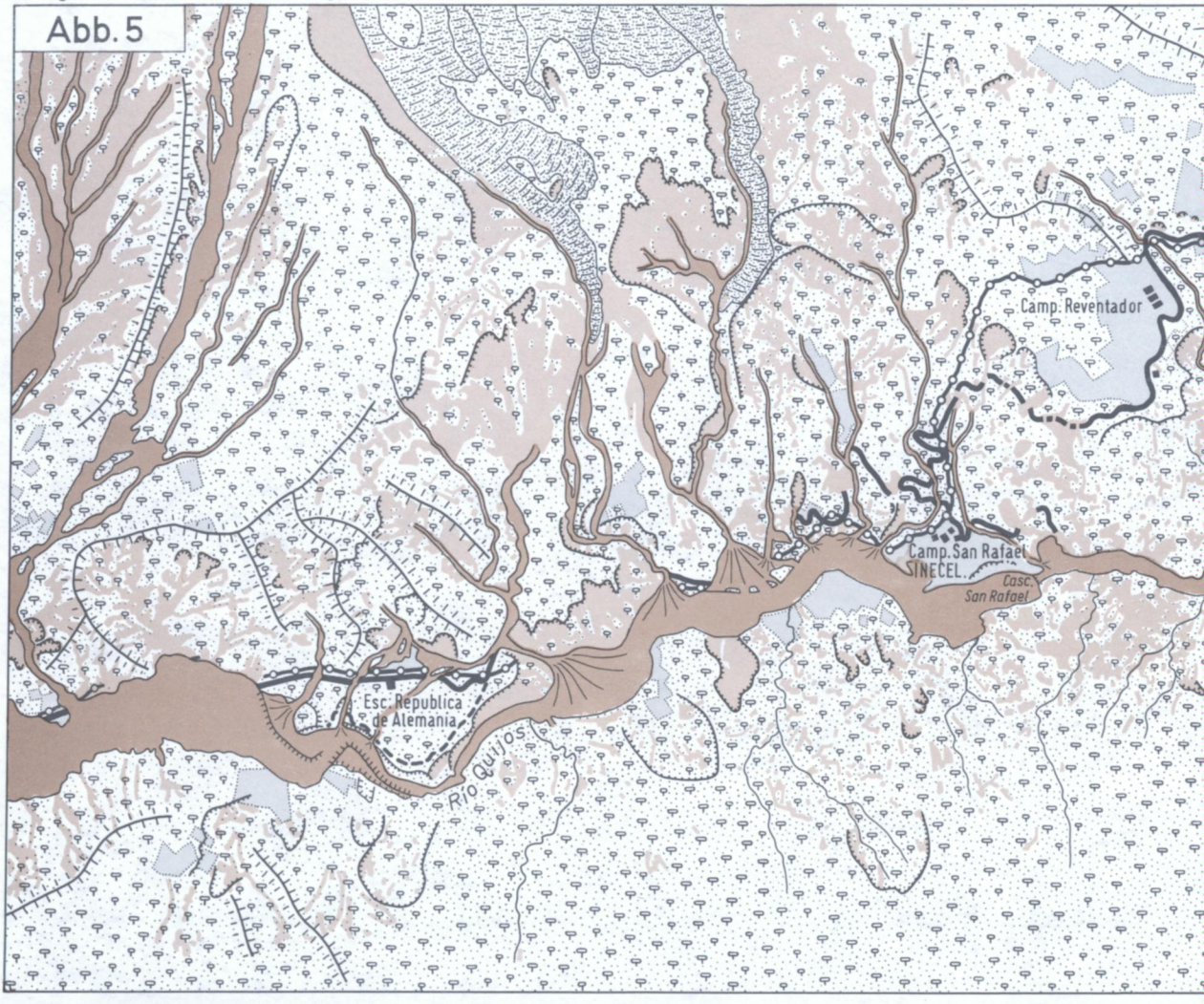
El Reventador vor dem Erdbeben

ador antes del terremoto



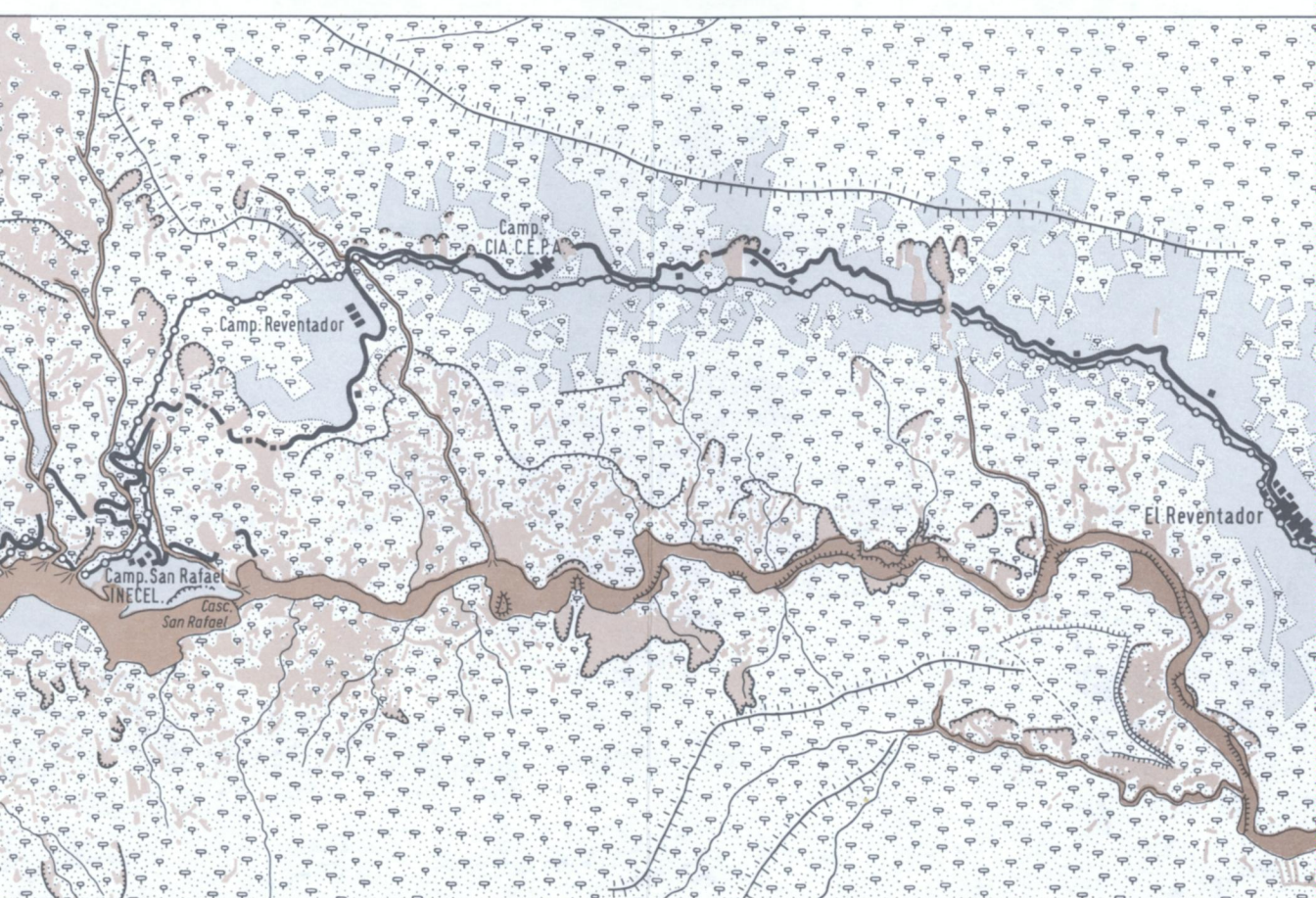
Luftbildinterpretation einer Befliegung des Proyecto Carta Nacional vom 11.7.1983 des IGM, Quito, Ecuador

Interpretación de fotos aéreas vuelo de 11.7.1983, Proyecto Carta Nacional, IGM, Quito, Ecuador



Landschaftsbild im Gebiet stärkster Erdbebenwirkung, östlicher Teil

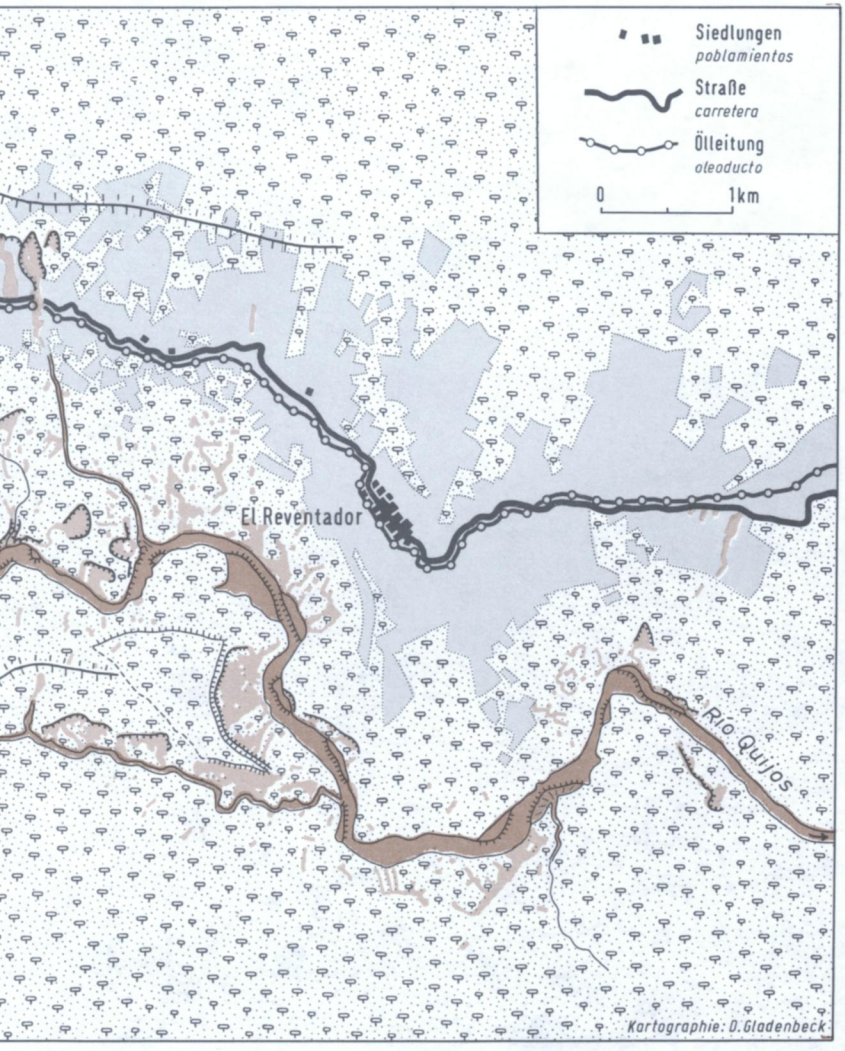
Cuadro del paisaje en la región más afectada por los movimientos sísmicos, sector e



rkung, östlicher Teil

vimientos sísmicos, sector este

Interpretation der Luftbild-Befliegung
vom 26.3.1987 des IGM, Quito, Ecuador
(Lage der Befliegung: s. Blattübersicht Abb. 3)

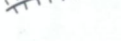


der Luftbild-Befliegung
des IGM, Quito, Ecuador
iegung: s. Blattübersicht Abb. 3)

Interpretación de fotos aereas
vuelo del 26.3.1987, IGM, Quito, Ecuador
(Ubicación del vuelo: véase el mapa índice en la fig. 3)

Lavaströme des Vulkans Reventador
corrientes de lava del volcán El Reventador

Bergkamm
cresta de la montaña



Verwerfungslinie, erdbebenbedingt
falla formada por terremoto

Alte Abrißkante
borde de partido de masas antiguo

Abrißnischen und Abbruchkanten
nichos y bordes de partido de masas

Berg- und Felsstürze, Bergrutsche etc.
derrumbamientos, derrumbe de detritos, deslizamientos

Schlammstrom, Lahars
corriente de lodo y lahars

Stauung an Talengen
estancamiento formado por corriente de lodo

Schwemmfächer
cono de deyección

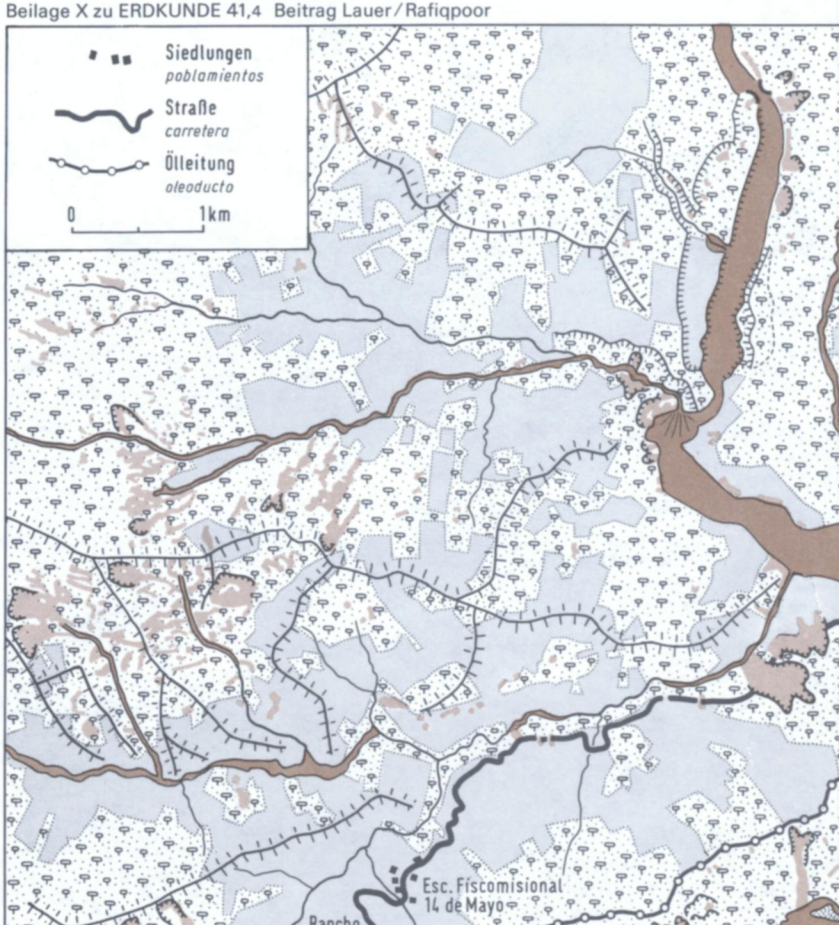
Ältere Terrassenkante
borde de terrasas fluviales antiguas

Neu entstandene Terrassenkante
borde de terrasas recientes formada por los lahars

Reste von Auenvegetation
isletas de vegetación

Tropischer Bergwald
bosque tropical de montaña

Rodungsflächen
terrenos de roza



Landschaftsbild im Gebiet stärkster Erdbebenwi

Cuadro del paisaje en la región más afectada por los mo

afiqpoor

iet stärkster Erdbebenwirkung, westlicher Teil

ión más afectada por los movimientos sísmicos, sector oeste

Interpretation
vom 26. 3. 198
(Lage der Be

Lage des Photos 6 *situación del foto 6*

Interpretation der Luftbild-Befliegung
vom 26. 3. 1987 des IGM, Quito, Ecuador
(Lage der Befliegung: s. Blattübersicht Abb. 3)

Interpretación de fotos aéreas
vuelo del 26. 3. 1987, IGM, Quito, Ecuador
(Ubicación del vuelo: véase el mapa índice en la fig. 3)