

Smn 197 – 3

Über eine Goldprospektion in der Provinz El Oro, Süd-Ecuador

Von

F. Mogollón-Zapata und O. Schulz

Mit 4 Abbildungen

Aus den Sitzungsberichten der Österr. Akademie der Wissenschaften
Mathem.-naturw. Kl., Abt. I, 197. Bd., 1. bis 4. Heft

Wien 1988/89

In Kommission bei Springer-Verlag, Wien / New York

Hersteller: Agens-Werk Geyer + Reisser, 1051 Wien

Über eine Goldprospektion in der Provinz El Oro, Süd-Ecuador

Von FERNANDO MOGOLLÓN-ZAPATA (Quito)* und OSKAR SCHULZ (Innsbruck)*

Mit 4 Abbildungen

Dipl.-Geol. Dr. FERNANDO MOGOLLÓN-ZAPATA: Ministerio de Energía y Minas, Santa Prisca 215, Quito-Ecuador

Univ.-Prof. Dr. OSKAR SCHULZ: Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 6. Mai 1988 durch das w. M. JOSEF ZEMANN)

Zusammenfassung

In einem metamorphen Gebiet der Provinz El Oro, Ecuador, das im wesentlichen aus Ortho- und Paragneisen, Glimmerschiefern und Quarziten aufgebaut ist, wurde auf Gold prospektiert. In Quarzitschiefern wurden positive Goldanomalien mit 0,2 bis 1,1 ppm Au gefunden, ein ökonomisch interessantes Vorkommen wurde aber nicht entdeckt. Die beobachtete Goldanomalie hat mit der nahegelegenen Goldlagerstätte Portovelo, die subvulkanisch-hydrothermalen Entstehung ist, keinen unmittelbaren genetischen Zusammenhang.

Summary

Gold prospecting was done in a metamorphic region of the province El Oro, Ecuador, consisting mainly of ortho- und paragneisses, micaschists and quartzites. In quartzitic schists positive gold anomalies with 0,2 to 1,1 ppm Au were found, but an economically interesting occurrence was not discovered. The gold anomaly observed has no direct genetic connection to the nearby gold deposit Portovelo which is of subvolcanic-hydrothermal origin.

Resumen

Se realizó la prospección de oro en la región metamórfica de la provincia El Oro, Ecuador, formada principalmente de orto y paragneises, esquistos micaseos y cuarcitas. En los esquistos cuarcíticos fueron encontradas anomalías de oro positivas con 0,2 hasta 1,1 ppm; una presencia económica interesante no fué descubierta. La anomalía de oro observada no tiene conexión genética directa con el yacimiento aurífero cercano de Portovelo, cuyo origen es subvulcánico-hidrotermal.

Einleitung

Ein zweijähriger Gastbesuch von FERNANDO MOGOLLÓN-ZAPATA aus Quito an der Universität Innsbruck zur Fertigstellung einer Dissertation bildete den Anlaß zu einer zweiwöchigen Studienreise nach Ecuador. Die geologisch-tektonischen, petrographischen, mineralogi-

schen und geochemischen Untersuchungen wurden von Univ.-Prof. Dr. O. SCHULZ, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck und Hofrat Univ.-Prof. Dr. E. SCHROLL, Geotechnisches Institut, BVFA-Arsenal Wien, betreut. Die Studie handelt von einer Goldprospektion in den SW-Anden der Provinz El Oro in Südecuador (Abb. 1).

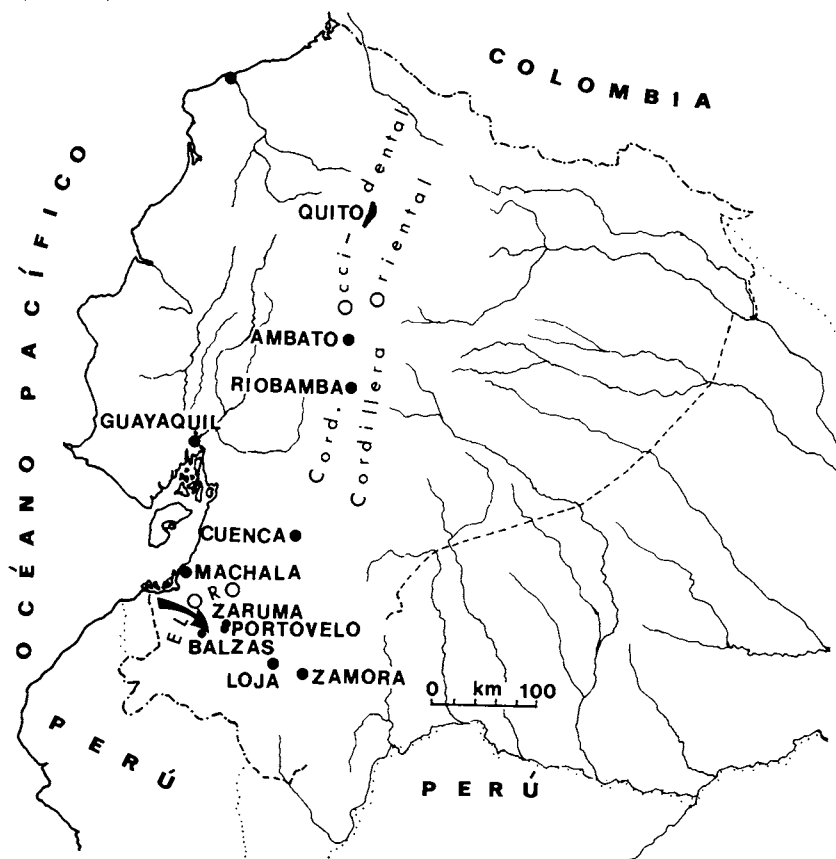


Abb. 1: Übersicht Ecuador, Provinz El Oro mit Machala, Portovelo-Zaruma und Arbeitsgebiet Balzas.

Übersicht

Das Andengebirge teilt mit seinem generellen NNE-SSW-Verlauf das heutige Ecuador ziemlich symmetrisch. Im Westen liegt das etwa 20–180 km breite Vorland zum Pazifischen Ozean, im Osten das ausge dehnte Amazonastiefland. Dieses Areal, *Oriente* genannt, ist oberflächlich von quartären und tertiären Ablagerungen bedeckt. Das westliche Vorland, die *Costa* oder das *Litoral*, wird mit Ausnahme geringer

Kreideablagerungen ebenfalls von Tertiärsedimenten und Quartärbedeckungen eingenommen.

Die Andenkette mit der höchsten Erhebung der *Sierra*, dem Chimborazo-Vulkan 6.310 m, erscheint über weite Strecken zweigeteilt, nämlich in die Sierra Oriental (= Sierra Real) und die Sierra Occidental. Im Rahmen der Unterteilung in verschiedene parallele Gebirgsketten fällt eine lange interandine Senke auf, die als Grabenbruch zwischen den als Horste angehobenen beiden Kordilleren verursacht ist. Vor allem in der älteren, östlichen Kette treten in Ecuador Metamorphite wahrscheinlich präkambrischen sowie paläozoischen Alters, begleitet von intermediären und sauren Intrusiva zu Tage. Die westliche jüngere Sierra zeigt weite Verbreitung junger Sedimente, vor allem der Kreidezeit, saure Intrusiva der Kreide und des Tertiärs. In beiden Ketten haben auch tertiäre andesitische Laven und Pyroklastika, aber auch ebensolche Effusiva quartären Alters beträchtlichen Anteil, z. B. der Cotopaxi-Vulkan (6.005 m).

Das Andengebirge ist das Ergebnis einer vielfältigen Entwicklungsgeschichte verschiedener geotektonischer Zyklen, ausgehend von der assyntischen Orogenese mit der Formung der Eoandiden, über den variszischen Zyklus mit Bildung der Präandiden, zu den mesozoischen Geosynklinalen bis zu den jüngsten erdgeschichtlichen Ereignissen im Tertiär. Schließlich formten im Pleistozän tektonische Hebungen die gegenwärtige Gebirgskette der Anden mit ihrer altersmäßig und petrologisch komplexen Zusammensetzung. Als Ursache wird die konvergierende Drift des südamerikanischen Hochkratons gegen den pazifischen Tiefkraton gesehen, wodurch die periodischen Einengungen und Geosynklinalbildungen seit dem Paläozoikum alternierend wirksam waren. Rupturelle Bewegungselemente verlaufen, das Gefügerelief mit den i. a. zwei Gebirgsketten herausformend, als „Längsklüfte“ in HOLLAGE zu den dominierenden Faltenachsen, doch bringen auch „Quer“- und „Diagonalklüfte“ ihre Bedeutung in der geologischen Übersicht zum Ausdruck.

Das Arbeitsgebiet

Das zur geowissenschaftlichen Bearbeitung von MOGOLLÓN auserwählte Gebiet, im speziellen zur Goldprospektion, liegt in der südlichen Provinz El Oro, ca. 60 km Luftlinie südöstlich von der Provinzhauptstadt Machala (Abb. 1). Hier liegt zwischen Portovelo, der durch eine Goldlagerstätte berühmten Lokalität, und dem Raume um Balzas ein beträchtliches Areal vor, in welchem das „Anden-Streichen“ außergewöhnlich, und zwar mit generell ENE-WSW- bis E-W-Verlauf geprägt ist. Diesen tektonisch vom Generalstreichen abweichenden Bereich bezeichnet SAUER (1971) in geologischer, geomorphologischer und struktureller Sicht mit der Cordillera Real zusammengehörig. Es handelt sich um das „Interandine Zwischengebirge des Südens“. Die Andenhauptkette ist hier in Südecuador nur wenig über 3.000 m hoch (Fierro Urcu, ENE Portovelo, 3.788 m).

An ein Areal von Andesitlaven und Pyroklastika der Kreidezeit bei Portovelo mit Durchbrüchen von sauren Intrusiva sowie von Rhyodazitlaven und Tuffen des Jungtertiär schließen südlich durch eine Störungsfläche getrennt fraglich präkambrische Metamorphite der Piedras-Gruppe (Gneise, Amphibolite, Grünschiefer, Quarzite) an, weiters die Tahuin-Gruppe mit der San-Roque-Formation (Präkambrium – Altpaläozoikum) mit Paragneisen, Granatglimmerschiefern, Grünschiefern und schließlich die alt- bis jung- paläozoische Capiro-Formation mit einer mächtigen Abfolge von Glimmerschiefern, Sericitschiefern, Phylliten und Quarziten. Die lithostratigraphische Reihung basiert auf den Angaben von BALDOCK (1982), der seinerseits auf neuere Altersbestimmungen zurückgreifen kann. Noch weiter nach S folgen mit 2.000 m Mächtigkeit in einer Depression transgressiv Sedimente und Pyroklastika kretazischen Alters. In die San Roque-Serie und die Capiro-Abfolge intrudierte der Marcabeli-Pluton, ein Quarzdiorit- und Alaskitgestein, nach unsicheren Altersangaben (bei BALDOCK, 1982) triassisch oder älter.

Die Aufschlußverhältnisse im Arbeitsgebiet direkt nordöstlich von Balzas sind ungünstig. Das im Grundriß $9,5 \times 6$ km große Aufnahmegebiet ist infolge üppiger Vegetation (subtropischer Dschungel) und oft beträchtlicher toniger, teils kaolinreicher, teils lateritähnlicher Verwitterungshorizonte aufschlußarm. Aber an einigen Straßen und Lokalwegen und in einigen, z. T. bemerkenswerten schluchtartigen Gräben mit Bachläufen tritt Anstehendes zu Tage, so daß mit annähernder Genauigkeit der Verlauf von Gesteinsserien in einer Karte 1:25.000 zur Übersicht gebracht und tektonische Formelemente für Anhaltspunkte über die tektonischen Formungen gemessen werden konnten (MOGOLLÓN, 1987).

MOGOLLÓN stellte im Zuge seiner geologischen Aufnahme auch die topographische Karte „Marcabeli“ 1:25.000 durch Interpretation von photogeologischen Bildern und von Radarbildern fertig, die dann als Grundlage für die geologische Karte 1:25.000 (Balzas-Palosolo) diene. Das Gebiet liegt in einer Höhe zwischen 500 und 1.400 m ü. d. M. Es umfaßt den Bereich Balzas – San Roquito – El Caucho-Graben – Rio Moromoro – Palosolo – östlich La Bocana.

Der geologische Kartenausschnitt zeigt E-W verlaufende Gesteinsserien mit N-Einfallen, wobei allerdings ein nach N schwach konvexer Bogen angedeutet ist. Geht man davon aus, daß im N des Teilbereiches höher metamorphe Gesteine als im S vorliegen, was bei großräumiger Betrachtung auch aus der Geologischen Karte von Ecuador und in den Erläuterungen hiezu (BALDOCK, 1982) zum Ausdruck kommt, so liegen im Abschnitt Balzas – Palosolo die Serien invers. Daher wird man bei einer Beschreibung vom Älteren zum Jüngeren im Norden beginnen müssen.

Die hier älteste Abfolge bildet die Serie der *San Roque-Gneise* und Glimmerschiefer mit einer Gesamtmächtigkeit von schätzungsweise 5–7 km. Davon reichen an die 2 km in das Aufnahmegebiet. Nach

Interpretation von Altersbestimmungen sollte es sich nach KENNERLY (1973, 1980) und BALDOCK (1982) teils um Präkambrium, teils um Altpaläozoikum handeln.

Über diesem Grundgebirgshorizont schließen (Abb. 2) schwächer metamorphe Paragesteine an: nämlich eine rund 1.500 m mächtige Glimmerschieferabfolge, ca. 300 m Quarzitschiefer, abermals eine 900 m starke Glimmerschieferabfolge und über 800 m einer Quarzitschieferserie. Diese Glimmerschiefer und Quarzitschiefer mit einer Gesamtmächtigkeit von mindestens 3,5 km wurden bisher gemeinsam zur altpaläozoischen „Capiro-Tonschieferserie“ (*Capiro-Formation*, BALDOCK, 1982) zusammengefaßt. Wenngleich wir die Unterteilung von MOGOLLÓN (1987) für petrographisch gerechtfertigt halten, sind doch oft Übergänge durch variablen Glimmer- und Quarzgehalt zu bemerken.

In der hier jüngsten, aber wegen inverser Lagerung unten liegenden Quarzitschieferserie besteht im Süden des Arbeitsgebietes ein Intrusionskontakt zum *Marcabeli-Pluton*, der heute schwach verschiefert vorliegt. Auf Grund des Mineralbestandes mit relativ hohem Plagioklasgehalt ist dieser Orthogneis eigentlich als schwach verschieferter Granodioritgneis zu bezeichnen. Nach Altersdatierungen handelt es sich um eine jungpaläozoische oder triassische Intrusion (BALDOCK, 1982).

Hinsichtlich einer magmatischen Herkunft des alten San Roque-Gneises können nach Beurteilung einiger Aufschlüsse, die einen bemerkenswerten stofflichen Lagenbau zeigen, Zweifel aufkommen. Tatsächlich spricht auch BALDOCK (1982, S. 27) von granitischen Paragneisen. Hingegen zeigen die im Geotechnischen Institut der BVFA-Arsenal in Wien (Prof. Dr. E. SCHROLL) durchgeführten Analysen der Haupt- und Spurenelemente, vergleichsweise mit Tabellen von RÖSLER & LANGE (1976) und Daten bei SCHROLL (1976) großenteils für den Chemismus eines Orthogesteins: Al 5,84 %, Fe 2,88 %, Mn 0,056 %, Mg 0,74 %, Ca 1,05 %, Na 2,09 %, K 2,25 %, Ti 0,21 %, P 0,099 %, Ba 643 ppm, Zr 130 ppm, Sr 259 ppm, Rb 131 ppm, V 63 ppm, Zn 59 ppm, Cu 33 ppm, Ni 22 ppm, Pb 5 ppm, Y 5 ppm, Nb 5 ppm, Th 5 ppm, U 3 ppm, Mo 1 ppm und $K/Rb = 172$. Die Unsicherheit in der Bewertung könnte damit erklärt werden, daß das Gestein in anatektische Vorgänge verwickelt war, worauf zahlreiche Pegmatoide konkordant und diskordant als Linsen und schmale Gänge hinweisen. Die Migmatitisierung verfälscht vermutlich den Chemismus eines Para-Ausgangsgesteins.

Bei den Schiefern der Capiro-Formation handelt es sich überwiegend um Gesteine mit den Hauptgemengteilen Muskovit, Biotit und Sericit, die teils gemeinsam auftreten, teils mit lagenweisen Unterschieden anteilmäßig wechseln. Naturgemäß sind durch Zunahme des Quarzgehaltes Übergänge zu Quarz-Glimmerschiefer oder auch zu Feldspat-Quarz-Glimmerschiefer und schließlich zu Sericitquarzitschiefer und Quarzitschiefer zu verfolgen. Die eigentlichen Quarzitschiefer fallen in der Natur allerdings als Linsen, Zwischenschichten und Bänke, bei starker Entwicklung auch im Gefügerelief der Landschaft auf. Weitere Varianten der

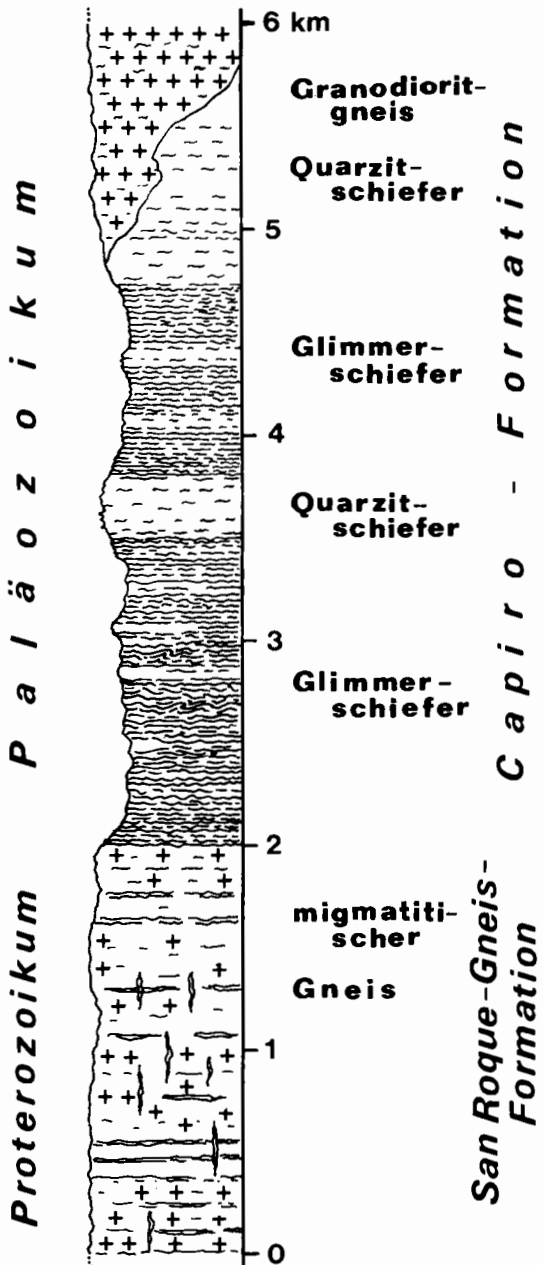


Abb. 2: Die Schichtfolge der Metamorphite bei Balzas im Säulenprofil.

Capiro-Schieferserie sind Phyllite, und bei sehr schwacher metamorpher Überprägung Glimmer-Arenite und -Pelite.

Der Metamorphosegrad der im engeren Raum vorliegenden Gesteine ist also unterschiedlich. Während die San Roque-Gneisserie hauptsächlich in einer Almandin-Amphibolitfazies vom Barrow-Typ (B 2,1 bzw. B 2,2 nach der Nomenklatur von WINKLER, 1967) entstanden sein dürfte – migmatitisch-anatektische Beeinflussung ist für Teilbereiche erkennbar –, weisen schwächer metamorphe Schiefer auf Grünschieferfazies, und zwar die B 1,3 Quarz-Albit-Epidot-Almandin-Subfazies. In Glimmerschiefern wurden ebenso wie im Gneis neben den überwiegenden Muskovit und Biotit auch Phlogopit identifiziert. Im Süden des Arbeitsgebietes stehen in der Capiro-Formation auch ganz schwachgradig metamorphe Quarz-Glimmer-Sandsteine an.

Tektonik

Die Diagrammübersicht bei MOGOLLÓN (1987) zeigt die statistisch bevorzugte Ausrichtung der Schieferungsflächen (s) mit ENE-WSW-Streichen und mittelsteilem NNW-Einfallen. Für das Verstehen der lokalen tektonischen Formung sind allerdings auch die Streuung des s-Streichens über E-W bis auf WNW-ESE und die in manchen Aufschlüssen geprägten Biegefalten im Meter- und Zehnermeterbereich ausagekräftig.

Im großen gesehen liegt hauptsächlich der Gefügetyp S-Tektonite vor. Mit Ausnahme der Gneise sind B-Lineationen auf den s-Flächen häufig geprägt. Die besonders teilbeweglichen glimmerreichen Gesteine wie Glimmerschiefer und Phyllite sind lokal oft zu B-Tektoniten verformt, wobei der Gesamtverband aber seine generelle Orientierung beibehält. Auch intensive postkristalline Durchbewegung im Kleingefüge ist festzustellen, die beanspruchten Gesteine sind dann als Phyllonite zu bezeichnen.

Auf Grund einer gefügetektonischen Analyse mit statistischer Auswertung der flächigen und linearen Gefügeelemente halten wir für dieses, vom allgemeinen Andenstreichen abweichende Teilgebiet folgende Interpretation für wahrscheinlich.

Bei vorherrschender Ausrichtung des s-Streichens auf ENE-WSW und des Einfallens nach NNW sind doch auch Abweichungen sowohl durch Streuung der Streichrichtung als auch der Fallwinkel und -richtungen auffallend. Aus der Variation verschiedener Streichrichtungen bei annähernd gleichen Fallwinkeln ergeben sich konstruktiv nach N einschiebende β -Achsen, für die in manchen Steinbruchaufschlüssen kleinräumig die entsprechenden wellenförmigen Verbiegungen der s-Flächen wahrnehmbar sind. Es scheinen aber zusätzlich auch regional Tendenzen zu derartigen weiträumigen Lageänderungen geprägt zu sein. Gut überblickbar hingegen sind Flächenbündel von Biegefalten im Dekameter- bis Meterbereich, deren konstruierbare β gleich Faltenachsen B bezeichnet werden können.

Neben den gut hervortretenden Schieferungs- (= Schicht-)Flächen sind mit unterschiedlicher Deutlichkeit als flächige Gefügeelemente noch bankrechte Zerrfugenscharen im Aufschluß und im Stückbereich zu erkennen. Der zwingende Verdacht, daß es sich dabei um ac-Klüfte handelt, erweist sich nach der Identifizierung von B-Lineationen auf s-Flächen der glimmerreichen Metamorphite unmittelbar oder mittelbar als richtig. Scherklüfte hingegen fallen wesentlich seltener auf; aber mangels Daten über die Orientierung der Felszergleitungen wurde von einer Deutung Abstand genommen. Mit Sicherheit können nur hOl-Scherklüfte zu den analysierbaren B-Achsenlagen erkannt werden.

β - = B-Achsen überblickbarer Biegefallen schieben statistisch betrachtet mit Streuung um die Horizontale flach nach ENE bis WSW

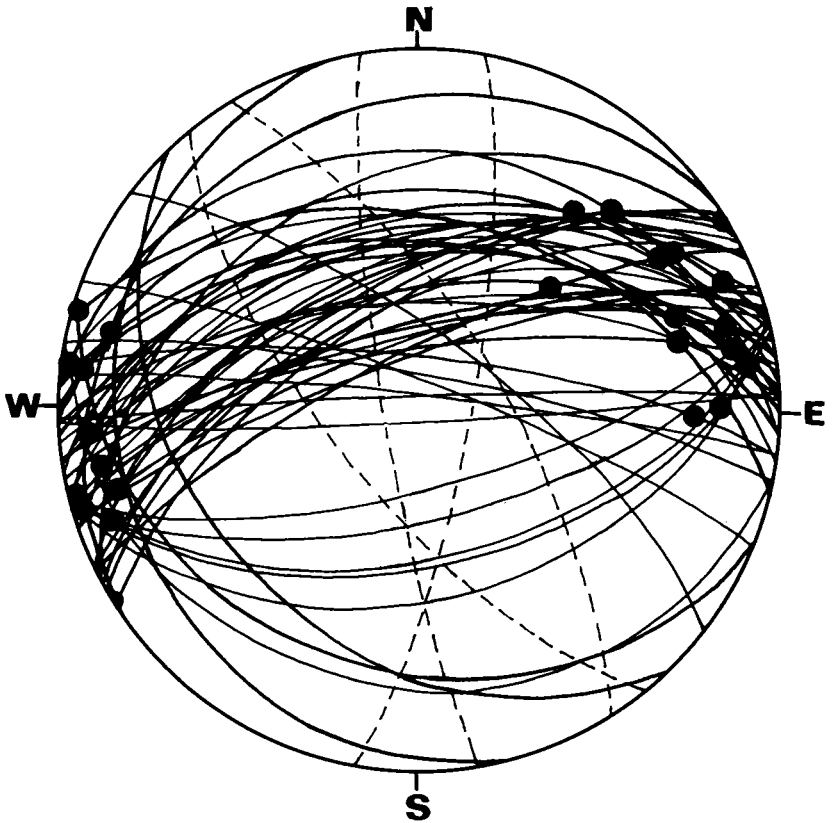


Abb. 3: Für den Raum Balzas typisches Tektonik-Diagramm mit Daten verschiedener Aufschlüsse als Verformungsbeispiel: s-Großkreise (durchgezogene Linien) teilweise mit B-Lineation (Punkte), β -Häufungen (Großkreisschnittpunkte) als Maß für die Tautozonalität und einige häufige ac-Zerrklüftgruppen (strichlierte Linien).
Konstruktionsgrundlage: flächentreue Azimutal-(Äquator-)Projektion nach Lambert, untere Halbkugel.

ein. Dort, wo zum Vergleich die B-Lineation als Fältelungsachse auf den s-Flächen geprägt ist und auch größere Falten entwickelt sind, decken sich diese Achsen nicht unbedingt (Abb. 3). Der Versuch einer konstruktiven Rückformung der flächigen und linearen Formungselemente auf dem Schmidt'schen Netz führt zu der Erklärung, daß die B-Fältelung in solchen Fällen relativ älter ist als die großwellige Faltung des Gesteinsverbandes.

Das Vorliegen einiger Beispiele für $B' \perp B$ -Lineationen stützt die Ansicht, daß vor allem die gut teilbeweglichen, leicht verformbaren Schieferabfolgen im Zuge der tektonischen Einengung mit Querfaltung reagiert haben, weniger mit Okl- und hkO-Scherkluftebildung. Auch die nach N eintauchenden β -Achsen können als Auswirkung fehlender Dehnungsmöglichkeit //B (//s-Streichen) gedeutet werden.

Die hier gewonnenen Erkenntnisse über die tektonische Gestaltung sollten eine Grundlage für die Beurteilung des Verlaufes für die Goldführung prädestinierter Gesteinszüge sein. Ihre Mitverwertung für die Erklärung der Andentektonik in diesem Teilabschnitt mit abnormalen ENE-WSW-Faltenzügen wäre anzuraten, aber ihre Verallgemeinerung ohne regional weite Untersuchungen ist nicht statthaft.

Zur Goldsituation in der Provinz El Oro

Ecuador ist einst als Goldland bekannt geworden. So war die Gold- und Silber-Gewinnung im Revier *Portovelo-Zaruma* in SW-Ecuador für die Namensgebung der Provinz El Oro maßgeblich. Eine Reihe von Nachbarrevieren bestärkt die Auffassung einer Goldprovinz. Neuerdings ist auch die Lagerstätte Nambija in der Südprovinz Loja in den Mittelpunkt des Goldgeschehens gerückt. Auch gibt es in mehreren Provinzen interessante Seifenvorkommen. Besonders bekannt geworden sind die Strandseifen in der Provinz Esmeraldas: schwarze Schwermineeralsande enthalten Ilmenit, Magnetit, Gold und Platin. Weiters gibt es Gold in Flüssen der Provinzen Pichincha und Los Rios, einer Reihe von Flüssen aus der Cordillera Real, z. B. bei Cuenca und Zamora, vor allem im Rio Zamora mit Nebenflüssen im Oriente. Viele der Goldseifen sollen schon während der Zeit der Inka-Herrschaft genützt worden sein. Aber die schwierige Zugänglichkeit im Oriente dürfte so manche Entdeckung von Seifengold-Lagerstätten in die Zukunft verzögern.

Die Goldproduktion von Ecuador ist für die Jahre 1984 mit 1.800 kg, 1985 mit 2.400 kg und 1986 mit 2.100 kg ausgewiesen. Die offizielle Angabe entspricht sicher nicht der tatsächlich abgebauten Menge des Edelmetalls. Zu undurchsichtig sind die von privater Seite gewonnenen Schätze.

Übrigens sind die Aktivitäten in Ecuador auf Mineralische Rohstoffe, verglichen mit anderen südamerikanischen Staaten, sehr bescheiden. Am bekanntesten ist Ecuador als Erdölland geworden durch Neuentdeckungen von *Öl- und Gasfeldern* im Amazonastiefland im N des Oriente. Erzlagerstätten aus dem polymetallischen Gürtel der



Abb. 4: Gold-Quarzgang mit sulfidischen Erzmineralen im Goldbergbau Portovila Firstansicht.

zentralen Anden wurden noch wenig genützt. Von wirtschaftlich Bedeutung ist zur Zeit nur die *Cu-Zn*-Lagerstätte *La Plata*, ca. 60 km WSW von Quito, in der auch Ag und Au mitenthalten sind.

Jede goldbezogene Studie in der bereits im Mittelalter wegen des Goldreichtums bekannten und damals als „El Oro“ benannten Provinz (PUTZER, 1971) hat sich als Grundlage nach den geowissenschaftlichen Erkenntnissen in dem berühmten Lagerstättendistrikt Portovelo-Zaruma zu orientieren; auch im Hinblick auf sekundäre Anreicherungen in Seifen. Wir haben deshalb einen zweimaligen Besuch in diesem, bis zur Entdeckung des Erdöls in Ecuador in den zwanziger Jahren vorrangigen Gebiet für die Bergwirtschaft mit der Befahrung der Lagerstätte durchgeführt. Portovelo liegt 60 km Luftlinie SE der Provinzhauptstadt Machala am Rio Amarillo. Hunderte von Pinggen und alten Einbauen verraten die enormen Aktivitäten in einem gut 10 km² umfassenden Gebiet, die auch heute noch von unzähligen „Privatbesitzern“ getätigt werden.

Es handelt sich auf der bisher erschlossenen Teufe von etwa 600 m um eine typische subvulkanische Ganglagerstätte mit meso- bis epithermaler Erzparagenese (Abb. 4): Pyrit, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz, Proustit und Fahlerz (als Ag-Träger) und ged. Gold, begleitet von dichtem Quarz (PUTZER, 1971). Dazu will man im Rahmen einer komplexen Entstehungsgeschichte als Vorläufer mikrokristallinen blättrigen Hämatit, und dann eine genetisch ältere polymetallische Sulfidparagenese von der jüngeren Goldkristallisation unterscheiden. Die Vererzung wird mit dem jungtertiären Zyklus magmatischer Ereignisse in Zusammenhang gebracht, die sich im Auftreten von Andesit-, Dazit- und jüngsten Rhyolith-Magmen in hypoabyssischen bis subvulkanischen Intrusionsniveaus und Effusionen äußern. Im Rhyolith wurden innerhalb stark verquarzter Bereiche ca. 0,8 ppm Au festgestellt. Und zahlreiche durchsetzende Quarzgänge sollen am Ausbiß bis zu 7,45 ppm Au enthalten.

Das sind interessante Vergleichsziffern zu den im Gangrevier bekanntgewordenen Anreicherungen, die nach bisherigen bergbaulichen Erfahrungen in flächig zusammenhängenden Reicherzonen der Gangscharen doch über 60 ppm, in lokalen Konzentrationspunkten sogar bis zu 300 ppm betragen haben sollen. Im Durchschnitt enthielt das Haufwerk früher 8,6–9,7 g Au/t (PUTZER, 1971).

Der derzeitige Abbau ist auf Teile des Hauptganges „Veta principal“ in tagnahen Bereichen beschränkt (Abb. 4). Die einstigen Tiefenaufschlüsse bis in 600 m Teufe stehen unter Wasser. Die Aktivitäten im jetzigen Bergbau sind ebenso wie die Möglichkeiten sehr primitiv. Aus geowissenschaftlicher Sicht halten wir aber diese einst berühmte und geschätzte Goldlagerstätte als noch weiter aufschlußfähig.

Die geochemischen Untersuchungen im Gebiet bei Balzas

Von vorneherein stand fest, daß zwischen der Goldlagerstätte Portovelo und eventuellen Goldführungen in den Metamorphiten des Raumes Balzas keine unmittelbaren genetischen Zusammenhänge bestehen können. Aber verschiedene Schurfversuche in alten Zeiten und ein

angeblich erfolversprechender Aufschließungsversuch an anderer Stelle in paläozoischen Metamorphiten, insbesondere von Quarzitschiefern, ließen eine petrographische, erzmineralogische und geochemische Untersuchung für nützlich erscheinen, zumal so manchen früheren Unternehmungen geheimnisvolle Ergebnisse nachgesagt wurden.

Zudem waren von SAUER (1965), HOFSTETTER (1956) und GOOSSENS (1970) von geowissenschaftlicher Seite günstige Mitteilungen über Goldvorkommen in Quarzitlagern metamorpher Sedimente des Präkambriums gemacht worden. Dazu kommt noch das Intrudieren des Marcabeli-Plutons im S des untersuchten Areals, dem gewisse metallo-genetische Aktivitäten zugebilligt werden könnten.

Im Aufnahmegebiet wurden einerseits Flußsedimente, andererseits anstehende Gesteine aus frischgeschaffenen 10–30 cm tiefen Schurf-löchern beprobt. Für einen ersten Überblick wurden Gesteine aus allen Serien von Sericit-Glimmerschiefern und Quarzitschiefern entlang von Straßen, Wegen und Erosionsgräben entnommen. 30 Waschproben wurden aus den Bachläufen des Rio Zaracay, Quebrada Fatima, Q. Palosolo, Q. Nalacapac, Rio Moromoro, Q. La Palma, Q. El Caucho, Q. Socorro untersucht und die Gesteinsproben vor allem an den Wegen und Durchzugsstraßen Balzas – Palosolo, Balzas – San Roquito und NW von Balzas an der Panamericana gewonnen. Besonderes Augenmerk wurde schließlich jenen Gesteinen gewidmet, die durch, wenn auch nur schwache Sulfidmineralisation und durch s-diskordante Quarzgängchen auffielen.

143 Proben wurden vorerst mikroskopisch, dann durch Atomab-sorptionsspektroskopie analytisch untersucht.

Zur Methode: zunächst wurde das Material auf eine Korngröße von 0,140 mm gemahlen und dann nach der Methode von SIGHINOLFI und SANTOS (1975) behandelt. Sie erlaubt rasche Au-Bestimmungen bei sehr niedriger Nachweisgrenze, wobei bereits ab 1 g Probenmaterial genügen: Auflösung durch aqua-regia 3 ml HCl + 1 ml HNO₃, und 10 ml Fluß-säure, Verdampfung, Auflösen in Bromwasserstoffsäure, das entstandene Bromidsalz erneut in HBr gelöst; damit sollte sich das Au in Lösung befinden und seine Trennung von der Gangart erfolgt sein. Im anschließenden Extraktionsvorgang mit MIBK Methyl-Isobutyl-Keton wird mit Bromwasserstoffsäure gewaschen, um eventuelle störende Substanzen (z. B. Fe²⁺, Fe³⁺) abzutrennen. Die Messung der nun vorliegenden Lösung erfolgte nach Vergleich mit internationalen Standards, z. B. MA-1 (17,8 ppm Au) mittels Flammenmethode, bzw. GXR-4 (0,44 ppm Au) für den Nachweis äußerst geringer Goldgehalte, nämlich im ppb-Bereich, mit der Graphitrohrtechnik.

Von 60 Proben weisen nur 9 Analysenergebnisse auf Gehalte von 0,1–1,1 ppm Au hin. Der höchste Wert 1,1 ppm wurde nach den Analysen in Innsbruck für ein Quarzitlager innerhalb der Sericitschieferserie, nach Ergebnissen im Wiener Labor mit 1,19 ppm ebenfalls für ein Quarzitlager gefunden. Im übrigen handelt es sich bei diesen Werten um weitere

Quarzitzwischen-schichten (0,26, 0,8 ppm Au), um Quarzitschiefer (0,19, 0,2 ppm), Quarz-Glimmerschiefer (0,15 ppm), Sericitschiefer (0,29 ppm) und um eine Gneisprobe der San Roque-Serie (0,20 ppm Au). Als weitere Anomalien sind noch Au-Gehalte in 3 Quarzitproben und in 11 anderen Proben zwischen 7 und 14 ppb festgestellt worden. Von den Bachsedi-menten lieferten nur 2 Proben erwähnenswerte 64 und 11 ppb Au.

Zum Vergleich der im Innsbrucker Labor erhaltenen Analysenergebnisse wurden 13 Proben (zu je 20 g Einwaage) im Geotechnischen Institut der BVFA-Arsenal Wien (bei Univ.-Prof. Dr. E. SCHROLL) untersucht. Die Ergebnisse stimmen nur zum Teil überein, was teils auf die Menge der Einwaage, teils auf die schwer erreichbare Homogenisierung zurückzuführen ist (HARRIS, 1986). Erfahrungsgemäß sollten mindestens 20 g Pulver zur Verfügung stehen. Für die vorliegende Arbeit war auf Grund des schon in Ecuador sehr entlegenen Arbeitsgebietes und des weiten Transportweges nach Europa eine starke Einschränkung an Arbeitsmaterial notwendig.

Nachdem ein mikroskopischer Goldnachweis nicht gelang, was angesichts der bescheidenen Analysenwerte nicht wundert, wurde auch versucht, mittels Mikrosondenanalyse von Sulfidmineralen und von relativ gut Au-hältigen Gesteinsproben einen Verteilungsnachweis für Gold zu erbringen. Aber das Ergebnis war negativ.

Von Interesse ist ein Vergleich durchschnittlicher Au-Gehalte in verschiedenen Gesteinen und den hier im Raume Balzas ermittelten Werten: Nach der von SAAGER, 1984 (1986), skizzierten Übersicht von Ergebnissen verschiedener Autoren enthalten folgende *Magmatite* nachfolgende Au-Spuren in ppb: Gabbros 0,6–11,7; Diorite und Tonalite 0,3–11,4; Granodiorite 0,2–5,2; Granite 0,2–2,6. Nach Angaben in RÖSLER & LANGE (1976) betragen die Durchschnittsgehalte für „Schiefer und Tone“ nach VINOGRADOV 1 ppb. Weitere Goldwerte findet man in Tabellen von WEDEPOHL (1972): Kalksteine < 1–3,2 ppb, Sandsteine 0,6–12 (-200), Siltsteine 1–30, Schieferton bzw. Tonschiefer 0,6–8,6; und für Metamorphite: Hornfelse 0,2–40. Gneise 0,2–22, Glimmerschiefer 13,5, Schiefer 0,38–9, Quarzite 2,4–7,3, Marmor 0,25–22,4, Amphibolite 1,8–58, Eklogite 2,3–3,0 ppb.

So gesehen stellen die in ppm ausgewiesenen Au-Spuren in einigen Gesteinen um Balzas diskutabile Anomalien dar.

Haupt- und Spurenelemente

Von den durch Goldspuren gekennzeichneten Gesteinen wurden im Geotechnischen Institut der BVFA-Wien weitere Analysen auf Haupt- und Spurenelemente durchgeführt. Erwartungsgemäß zeigen hier die glimmerreichen Gesteine, also die Sericitschiefer, fast durchwegs die höchsten der in Gesteinen um Balzas gefundenen Werte: Al 13,41 %, Fe 5,33 %, K 4,42 %, Mg 1,25 %, Ti 0,55 %, Mn 0,076 %, Ba 0,0772 %, Zn 0,0142 %, Pb 0,0022 %, Ni 0,0043 %, Cu 0,0039 %, Mo 0,0006 %, Rb 0,0242 %, V 0,0087 %, Y 0,0021 %, Nb 0,0016 %, Th 0,0026 %,

U 0,001 %. Für Na lag der Höchstwert mit 2,09 % im San Roque-Gneis, ebenso für P 0,099 % und Sr 0,0159 %. Der höchste Zr-Wert wurde in Flußsanden mit 0,0407 gefunden, was wohl auf angereicherte Zirkone zurückzuführen ist.

Diskussion der Ergebnisse

Ziel der Unternehmung war die Suche und das Studium von Goldanreicherungen in einer metamorphen Gesteinsabfolge im interandinen Zwischengebirge in SW-Ecuador nordöstlich von Balzas, mit dem besonderen praktischen Aspekt einer Goldprospektion. Zwar konnten bemerkenswerte Au-Anomalien entdeckt werden, die aber vom bergwirtschaftlich geforderten Anreicherungsfaktor doch weit entfernt sind. Mit vereinzelt nachgewiesenen Werten von 0,2–1,1 ppm Gold ist jedenfalls keine lagerstättenbildende Anreicherung gefunden worden. So darf auch der Schluß gezogen werden, daß die in früheren Zeiten in diesem Gebiet getätigten Schurfversuche mit kurzen Stollenausfahrten unbefriedigende Ergebnisse brachten, und daß die Verschleierung der Tatsachen die Gerüchte über angebliche Goldführung nicht verstummen ließen.

Schon die in einigen Bachläufen durchgeführten Waschversuche und 30 Analysen des Schwermineralbestandes brachten kein erfolgversprechendes Ergebnis, denn nur in drei Fällen ergaben sich mit 11, mit 31 und 64 ppb Au schwach über dem background liegende Gehalte.

Von den als Anomalien ausgewiesenen Werten von Sammelproben aus anstehenden Gesteinen fällt eine relative Anreicherung im La Palma-Graben, und zwar im Oberlauf (W-Abschnitt) des Baches auf, der dort, ein Gefügerelief bildend, dem Streichen des steil einfallenden Quarzitschieferverbandes folgt. Bemerkenswerterweise fällt auch eine Anomalie in der streichenden Fortsetzung dieses Gesteinsverbandes 1,5 km weiter westlich, am Weg Balzas-Palosolo auf. Ein zweiter relativer Anreicherungshorizont gehört ebenfalls in eine Quarzitschieferserie, die in diesem Fall 1–2 km nordwestlich von Balzas die Panamericana quert.

Die Übersicht gibt also zu erkennen, daß – unter Berücksichtigung der schlechten Felsaufschlüsse – zumindest in zwei stratigraphisch getrennten Schichtbänken ein gewisses verstärktes Goldangebot in den altpaläozoischen Sedimenten der Capiro-Formation durch die Anlagerung zur Abbildung kommt. Eine gewisse Zusammengehörigkeit mit dem sehr spärlichen Erzmineralegehalt an Pyrit, Rutil und mit Graphit kann am ehesten mit schwach reduzierenden Bedingungen, vielleicht auch mit einem sporadisch thermal beeinflussten marinen Milieu in Zusammenhang gebracht werden. An diese prinzipielle Möglichkeit erinnert ein submarin-hydrothermales Mn-Erzvorkommen im alkristallinen Grundgebirge im 70 km südöstlich gelegenen Gebiet SE von Loja.

Die Unzufälligkeit der hier nachgewiesenen Au-Anomalien wird bestärkt durch eine derzeit angeblich erfolgreiche Aufschließung eines Goldvorkommens in ähnlicher lithostratigraphischer Position weiter

südlich, im Valle Hermoso 15 km SW Balzas (freundl. Mitt. Ing. G. ROSERO, Quito).

Wollte man die vorliegenden Au-Anomalien in ein Schema zwingen, so käme nach der vereinfachten Klassifizierung nach SAAGER, 1984 (1986, Tab. 2), die Gruppe „Vererzungen (meist submikroskopischer Goldpartikel) in karbonatführenden Peliten, Sandsteinen und Quarziten“ in Betracht.

Den allgemeinen Ausführungen von SAAGER und SCHNEIDER, 1984 (1986), folgend, könnte man auch in SW-Ecuador an ein Liefergebiet aus präkambrischen Grüngesteinsarealen mit ihren häufigen Erzmineralen Pyrit, Magnetkies und Arsenkies als potentielle Au-Träger denken: im heutigen Gebiet südlich vom Portovelo bzw. nördlich von Balzas sind Serpentinite, Amphibolite und Grünschiefer wahrscheinlich präkambrischen Alters aufgeschlossen. Die Au-Anomalien in den altpaläozoischen metamorphen Sedimenten bei Balzas kamen wahrscheinlich nach Lösungs-transport im exogenen Stoffkreislauf und Ausfällung im sedimentären Milieu zustande. Diskrete thermale Beeinflussung ist nicht auszuschließen.

Literatur

- BALDOCK, J. W. (1982): Geología del Ecuador. Buletin de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador 1 : 1,000.000. Traducción al Español por División de investigación geológico-Minera. – Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos Dirección General de Geología y Minas, Quito 1982.
- GOOSSENS, P. J. (1970): The geology of Ecuador, explanatory note for the geological map of the Republic of Ecuador (1 : 50.000) – Annales de la Soc. Geol. Belgique, **93**, 255–263.
- GOOSSENS, P. J. (1972): Metallogeny in Ecuadorian Andes. – Econ. Geol., **67**, 458–468.
- GDMB Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute (1986): Edelmetalle, Exploration und Gewinnung – Jahrestagung Fachsektion Lagerstättenforschung, Geisenheim-Marienthal (Rheingau) 1984. VCH Verl. ges. Weinheim. Schriftenreihe der GDMB, Heft 44.
- HARRIS, J. F. (1986): Sampling and Analytical Requirements for effective use of Geochemistry in Exploration for Gold. – Cominco Ltd. Exploration Research Laboratory, 53.
- HOFSTETTER, R. (1956): Lexique Stratigraphique International. Vol. V. Amerique Latine, 5a Ecuador. Centre/Ntn Recherche Scientifique, Paris.
- KENNERLEY, J. B. (1973): Geology of the Loja Province. – Institute of Geological Sciences, (Overseas Div.) No. 23, London.
- KENNERLEY, J. B. (1980): Outline of the Geology of Ecuador. – Overseas Geol. & Miner. Resour., Institute of Geological Sciences, No. 55, London.

- MOGOLLÓN-ZAPATA, F. (1987): Geologisch-petrographische und geochemische Untersuchungen zur Goldprospektion in den Anden von SW-Ecuador/ Provinz El Oro. – Diss. Univ. Innsbruck, 128 S.
- PUTZER, H. (1971): Mineralische Rohstoffe in Ecuador. – In: SAUER, W.: Geologie von Ecuador. Gebr. Borntraeger, Berlin – Stuttgart. Beitr. z. Region. Geol. d. Erde, 11, 205–257.
- PUTZER, H. (1976): Metallogenetische Provinzen in Südamerika. – Schweizerbartsche Verl. Buchhdl., Stuttgart, 316 S.
- RÖSLER, H. J., LANGE, H. (1976): Geochemische Tabellen. – Ferd. Enke Verlag, Stuttgart, 674 S.
- SAAGER, R. (1986): Goldlagerstätten: Geologie, Geochemie und Metallogeneese. – BCH Verl.-Ges., Weinheim. Schriftenreihe GDMB, Heft 44, „Edelmetalle“; 3–22 (Tagung 1984).
- SCHNEIDER, H. J. (1986): Das geochemische Verhalten von Gold bei der Lagerstättenbildung. – VCH Verl.-Ges., Weinheim. Schriftenreihe GDMB, Heft 44, „Edelmetalle“, 27–36 (Tagung 1984).
- SAUER, W. (1965): Geología del Ecuador. – Ed. Minist. de Educación Publ., Quito, 383 S.
- SAUER, W. (1971): Geologie von Ecuador. – Gebr. Borntraeger, Berlin–Stuttgart. Beitr. z. Region. Geol. d. Erde. 11, 316 S.
- SCHROLL, E. (1976): Analytische Geochemie II: Grundlagen und Anwendungen. – Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 374 S.
- SIGHINOLFI, G. P., SANTOS A. M. (1976): Determination of Gold in Geological Samples at Parts per Millard Levels by Flameless Atomic-Absorption Spectroscopy. – Microchimica Acta II, 33–40.
- WEDEPOHL, K. H. (Editor) (1972): Handbook of Geochemistry. II – 5 – Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg.
- WINKLER, H. G. F. (1967): Die Genese der metamorphen Gesteine. – 237 S. Springer-Verlag, Berlin.
- MAPA GEOLÓGICO NACIONAL de la República del Ecuador 1 : 1,000.000 (ORTEGA, E., FREILE, P., BALDOCK, J., LONGO, R.) (1982): – Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos.