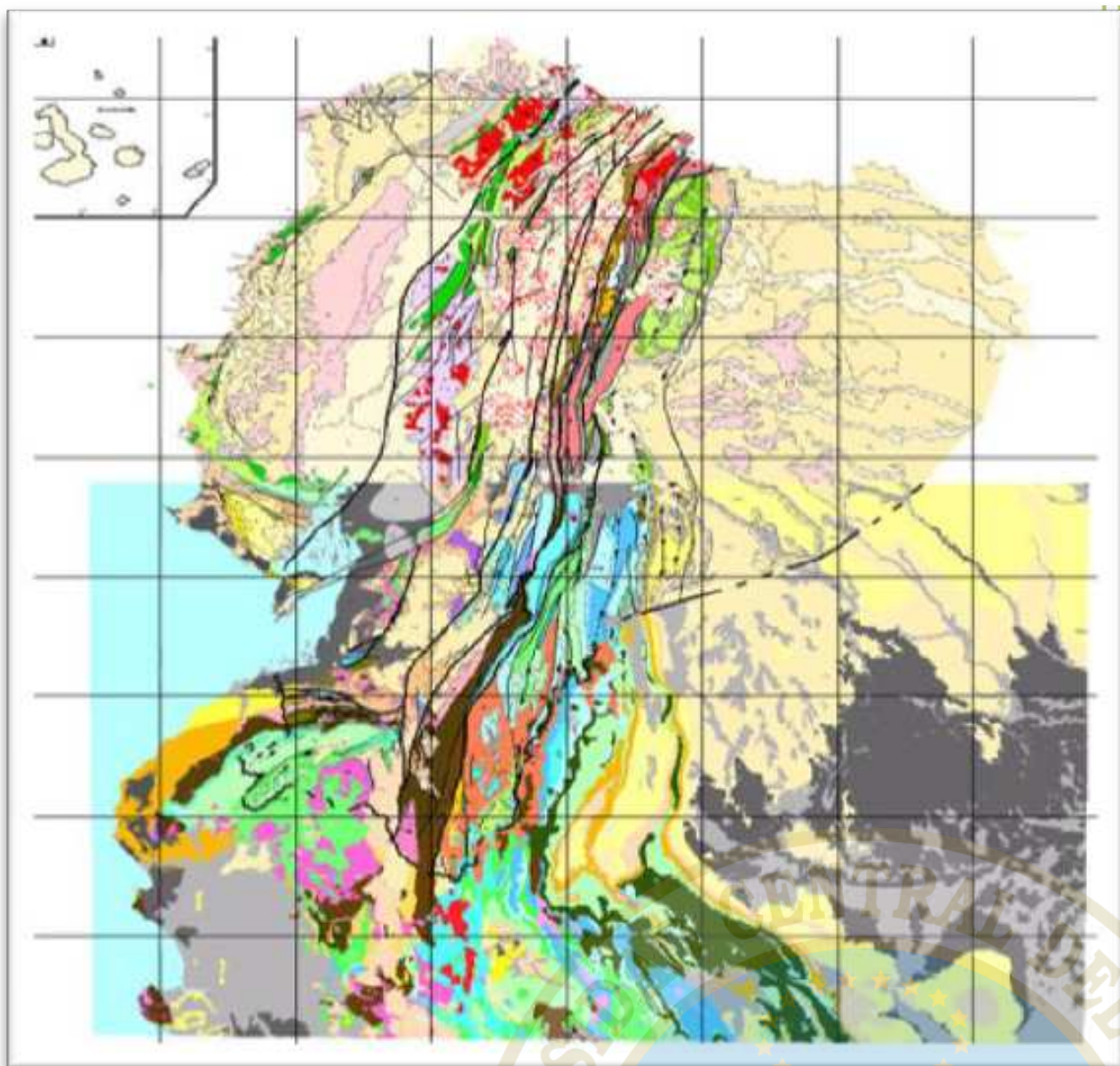




GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES DEL ECUADOR



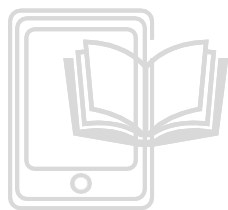
AGUSTÍN PALADINES

JOHN SOTO



Universidad Técnica Particular de Loja

2010



BASE LEGAL PARA DIGITALIZACIÓN DE LIBROS CON DERECHOS DE AUTOR

El Sistema Integrado de Bibliotecas de la Universidad Central del Ecuador, digitalizará su acervo bibliográfico siempre y cuando sea para fines educativos y de investigación. No se permite la reproducción y distribución para la comercialización directa e indirecta del mismo.

La digitalización del material bibliográfico se lo realiza de acuerdo al Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación Art. 212 numeral 9, Literal ii “(...) Una biblioteca o archivo podrá, además, realizar los siguientes actos (...) La reproducción electrónica y comunicación pública de obras de su colección para ser consultadas gratuita y simultáneamente hasta por un número razonable de usuarios, sólo en terminales de redes de la respectiva institución o para usuarios de esa institución bajo su control, en condiciones que garanticen que no se puedan hacer copias electrónicas de esas reproducciones” y literal vii “La reproducción, adaptación, traducción, transformación, arreglo, distribución y comunicación de una obra protegida por derechos de autor o una prestación protegida por derechos conexos, en uno o más formatos accesibles para el uso exclusivo de personas con discapacidad”.

Este material se considera un producto intelectual a favor de su autor; por tanto, la titularidad de sus derechos se encuentra protegida por el Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. La violación a dichos derechos constituye un delito que será responsabilidad del usuario.

Este libro está disponible físicamente en:

BIBLIOTECA	Biblioteca Facultad de Ingeniería en Geología, Minas , Petróleos y Ambiental	PISO	02
		ESTANTE	03
		BANDEJA	02
CONVENIO INTERINSTITUCIONAL		UNIVERSIDAD	

INTRODUCCIÓN

EL ECUADOR ES EL PAÍS QUE TIENE LA MAYOR DIVERSIDAD GEOLÓGICA DE LA TIERRA, es un país verde y a su vez posee muchos y variados recursos minerales.

El nuevo modelo de desarrollo geológico-minero del Ecuador debe ser respetuoso de la naturaleza, de la biodiversidad y de los grupos nativos que en ella habitan. Debe ser un modelo propio, ecuatoriano, diferente del modelo costarricense (antiextractivista), así como del peruano-chileno (extractivista). Un modelo que refleje el conocimiento que tenemos de la geología y minería del país, fruto de las investigaciones realizadas en forma sistemática y planificada durante más de cuatro décadas.

Nuestro país ocupa tan solo el 0.19% de la superficie de la corteza terrestre (menos de la quinientava parte). Sin embargo en él encontramos prácticamente todos los tipos de rocas y minerales característicos para los mares, océanos y continentes de la tierra.

La diversidad geológica del Ecuador a su vez depende y está relacionada al hecho de que el territorio ecuatoriano forma parte de las tres estructuras geológicas más importantes de nuestro planeta:

Del sistema global de Dorsales,
Del cinturón Circumpacífico, y
De una estructura transcontinental, paralela a la línea Ecuador y al eje Amazónico.

Las dorsales oceánicas se originan, en los sitios donde las corrientes de convección del manto de la tierra ascienden y se separan. Por medio de la dorsal Galápagos (límite entre las placas de Nazca y de Cocos) el Ecuador se une al sistema global de dorsales, estructuras que atraviesan todos los mares y océanos de la tierra. Su extensión es superior a 40.000 k. En las dorsales se origina la corteza oceánica, además, a partir de las dorsales se inicia la deriva o movimiento de las placas, lo que a su vez origina la apertura y crecimiento de los mares y océanos y el movimiento de los continentes.

Así mismo, en los lugares donde las corrientes de convección del manto se juntan y descienden, se originan los cinturones montañosos. El **enorme cinturón circumpacífico** (el cinturón montañoso más extenso de la tierra), se formó debido a la interacción o choque de las placas oceánicas contra las placas continentales, a través del tiempo geológico, en diferentes ciclos orogénicos.

El Ecuador forma parte de este enorme cinturón. Brasil ocupa una superficie mayor al 50% de la superficie de Sudamérica; sin embargo, no forma parte del cinturón circumpacífico, tampoco está unido al sistema global de dorsales.

A la luz de la tectónica de placas, el Ecuador, se encuentra localizado en el borde occidental activo de Sudamérica, a lo largo del cual en forma permanente colisionan (chocan) la placa sudamericana de origen continental, que se desplaza hacia el oeste, contra las placas de Nazca y de Cocos de origen oceánico que se desplazan hacia el este.

Como producto del choque, las placas oceánicas que tienen una mayor densidad, se subducen debajo del continente sudamericano, además en el plano de fricción de las placas se originan los sismos, el volcanismo y magmatismo, los sistemas de fallas y suturas. Así mismo debido al choque de las placas, en diferentes eventos se produjo el plegamiento de las rocas y la acreción (suma) de terrenos al continente. Así en diferentes ciclos orogénicos se originó la cordillera de los Andes ecuatorianos y la enorme diversidad de rocas y yacimientos de minerales que la conforman.

Sin embargo, es la influencia de la estructura transcontinental paralela al eje amazónico, la estructura que más ha contribuido a modelar la configuración arquitectónica y la diversidad geológica de los Andes ecuatorianos.

El Ecuador ocupa un lugar de transición entre los Andes nórdicos y los Andes centrales. El límite entre estos dos segmentos del cinturón Andino, está representado por una faja transversal, limitada al norte por la cordillera de Chongón-Colonche (cuyo núcleo está constituido de corteza oceánica) y al sur, a pocas decenas de kilómetros por la cordillera de Tahuín (cuyo núcleo está constituido de corteza continental). Así mismo la continuación de estas estructuras hacia el oeste, está representada por la cordillera submarina de Carnegüe (constituida de basaltos toleíticos). La característica más importante de estas tres cordilleras es que se encuentran dispuestas en sentido transversal (este-oeste), o sea perpendicular a la orientación los Andes ecuatorianos.

Es sin duda la existencia de estas tres cordilleras, el aspecto que más ha contribuido para hacer del Ecuador -en relación a su superficie-, el país que tiene la mayor diversidad geológica, orográfica, geográfica, paisajística, climática y biológica de la tierra.

Para demostrar esta aseveración, es necesario ilustrar al lector con algunos ejemplos:

Cuando realizamos un viaje por tierra desde la ciudad colombiana de Cali hacia el sur, lo hacemos a lo largo del graben de Quito (Cauca-Patía) o callejón interandino, estructura característica de los Andes nórdicos, la cual se caracteriza por estar rellena casi exclusivamente de rocas volcánicas y limitada por las dos cordilleras (Occidental y Real), las cuales se encuentran coronadas por dos filas de enormes estrato volcanes, lo que motivo al gran Humboldt, para llamarla la avenida de los volcanes. Al pasar Riobamba el callejón interandino comienza a estrecharse y más al sur a la altura de

Chunchi desaparece al igual que los grandes volcanes. Hacia el sur para los Andes centrales son características las cuencas sedimentarias lacustres (antiguos lagos) de

edad miocénica; como son las cuencas de Biblián-Azoguez-Cuenca, Loja-Malacatos-Vilcabamba y otras.

Así mismo, cuando realizamos un viaje en vehículo desde Santiago de Chile al Ecuador, lo hacemos a lo largo del graben de Atacama o fosa de Atacama. Esta estructura está ubicada entre la cordillera de la Costa y la cordillera Occidental de los Andes centrales. El graben está relleno de rocas volcánicas y volcano-sedimentarias que culminan con las arenas del desierto de Atacama (el desierto más cálido y seco del mundo). Al aproximarnos a la frontera entre Perú y Ecuador, esta estructura desaparece debido a la presencia de la cordillera de Tahuín (dispuesta en sentido transversal), contra la cual choca. Junto con la fosa también desaparece el desierto. Sin embargo, los vientos cálido-secos del desierto se dejan sentir en toda la zona Austral, durante gran parte del año.

Algo similar ocurre con la cuenca de Atrato-San Juan ubicada al suroeste de Colombia, misma que se caracteriza por ser una de las cuencas más cálidas y húmedas del mundo. Hacia el sur en nuestro país esta estructura continua a través de las cuencas de Esmeraldas y Manabí. Sin embargo al llegar a la península de Santa Elena la cuenca termina al chocar contra la cordillera de Chongón-Colonche. A pesar de esto, en determinados meses del año los vientos cálido-húmedos, que soplan a lo largo de esta cuenca se dejan sentir en toda la península de Santa Elena.

Sin embargo, el ejemplo que más ilustra sobre la relación de dependencia entre la geodiversidad y biodiversidad en el territorio ecuatoriano es el de las islas Galápagos, el archipiélago que tiene posiblemente la mayor biodiversidad del planeta.

La biodiversidad de Galápagos, está relacionada con la presencia de la cordillera submarina de Carnegie (orientada en sentido este-oeste) y a su origen volcánico, relacionado a la dorsal Galápagos y a un punto caliente ubicado en el manto de la tierra. Las islas son de origen volcánico y en base a las investigaciones realizadas se conoce que nunca estuvieron unidas al continente, a lo que se suma un hecho único en el mundo (a las islas convergen tres corrientes submarinas). Dos de ellas, la corriente fría de Humboldt, que se origina en el polo sur y la corriente cálida del Niño que viene desde Centroamérica, al avanzar hacia el Ecuador, chocan contra la cordillera submarina de Carnegie y se desvían hacia el oeste, o sea hacia las islas Galápagos. Así mismo una tercera corriente submarina (la de Cromwell), que se desplaza paralela a la línea Ecuador en dirección oeste-este, también confluye a las islas Galápagos.

En el mundo existen archipiélagos, a los cuales confluye una corriente submarina. A otros excepcionalmente confluyen dos. Al archipiélago de Galápagos confluyen tres corrientes submarinas: dos frías y una cálida. Además como ya señalamos, las islas son de origen volcánico y se encuentran bastante separadas unas de otras (de 50 a 80 k.). Esta particularidad ha hecho que cuando una especie viva (animal o vegetal) llega a una de las islas del archipiélago, de acuerdo a las condiciones del medio y del

ambiente de esa isla, la especie desarrolle condiciones específicas para poder subsistir.

Esta particularidad fue observada y demostrada gracias a la genialidad de Charles Darwin, quien estudio las especies vegetales y animales del archipiélago y particularmente a un pájaro llegado desde el continente (el pinzón) especie que existe en todas las islas. Sin embargo en dependencia del ambiente y condiciones existentes en cada isla, los pínsones han adquirido un mayor desarrollo corporal, o de las alas, pico, garras etc. etc. La colección de pínsones seleccionada por Darwin, constituida de 14 ejemplares se conserva en el Instituto Charles Darwin en la isla Santa Cruz.

Es importante además señalar la gran influencia que ha tenido, la acción geológica del agua y de los ríos, en la modificación del clima, del paisaje y la morfología del terreno. El agua superficial y los ríos al descender del altiplano, a través del tiempo geológico han modificado el relieve y han abierto enormes ventanas que atraviesan las dos cordilleras, para luego llegar a las planicies costanera y oriental. A través de estas ventanas los vientos cálido-húmedos que ascienden desde las llanuras, durante algunos meses del año, modifican el clima y el ambiente de las zonas subandina y montañosa

Los ejemplos citados (se podría mencionar algunos más) son suficientes para comprender que es la diversidad geológica la que origina la diversidad orográfica, geográfica, climática, paisajística, étnica, así como la biodiversidad en nuestro país.

La teoría de la tectónica de placas, que estudia el origen y evolución de la corteza terrestre, es posiblemente la teoría que representó el mayor aporte al desarrollo de las ciencias naturales durante la segunda mitad del siglo XX. Por esta razón, en la actualidad ya ha sido incluida en el pensum de estudios, en los colegios y universidades europeas.

La aplicación de las teorías moviilísticas de la tectónica de placas, significó una verdadera revolución en el desarrollo de las ciencias de la tierra. Revolución, que debe hacerse extensible a todas las ciencias naturales, las cuales aún no han asimilado este cambio, pues la mayoría de ellas continúan sustentándose sobre principios ficcísticos obsoletos, sobre todo en países en vías de desarrollo como el nuestro.

Quisiera ilustrar lo señalado con un ejemplo: al producirse la deriva de los continentes (movimiento de las placas) crecen o se reducen los mares y océanos, al igual que los continentes, paralelamente derivan las corrientes submarinas, aspecto que a su vez modifica los vientos, el clima, así como la vida animal y vegetal sobre la tierra. Cuando se analiza un fenómeno concreto de las ciencias naturales (desertificación, cambio del clima), los especialistas rara vez consideran el aspecto moviilístico global, el cual siempre juega un rol muy importante.

De igual manera, cuando se realiza investigaciones relacionadas con la diversidad orográfica, geográfica, climática o biológica, siempre es necesario partir de la relación

de dependencia que existe entre estas ciencias y la geología. El estudio debe iniciarse investigando aspectos de dependencia global (como influyen las dorsales oceánicas, los cinturones montañosos); luego se debe pasar a considerar los aspectos de dependencia regional; y, por último investigar en forma concreta como la geología y las estructuras geológicas locales influyen en el desarrollo de la diversidad, como se demostró en el caso del archipiélago de Galápagos.

Los problemas del calentamiento global y del medio ambiente nos conciernen a todos. Cada profesional en base a la profesión que ejerce es respetuoso del medio ambiente y sabe cómo tratar a la naturaleza (Todos somos defensores y respetuosos de la naturaleza).

En el nuevo modelo de desarrollo geológico-minero del Ecuador, en base al conocimiento de la geología y los trabajos de exploración realizados hasta ahora, amplias superficies de nuestro país, como: el callejón Interandino y los grandes volcanes, la costa ecuatoriana, gran parte de la cordillera Central y la cuenca Oriental, zonas en las que habita el 85% de la población ecuatoriana, proponemos que sean declaradas libres de minería metálica. En las zonas montañosas señaladas, se originan las cuencas hidrográficas más importantes del país. En ellas no se hará minería metálica, por el contrario, estas zonas, que han sido brutalmente deforestadas y que hoy sufren un intenso proceso de erosión, tendrán que ser reforestadas.

ECUADOR PAÍS MINERO

El Ecuador cuenta con importantes reservas cuantificadas de materias primas minerales, las cuales en orden a su importancia pueden dividirse en cuatro grupos.

1.- HIDROCARBUROS.

Por ahora es el grupo más importante, las reservas de petróleo liviano y semipesado son del orden de 4.000 millones de barriles (sin considerar el campo ITT, que tiene 1.200 millones de barriles), las reservas de petróleo pesado y asfalto son de 5.000 millones de barriles. Además existen buenas posibilidades de incrementar las reservas de gas del golfo de Guayaquil, de iniciar el desarrollo de la energía geotérmica (relacionada a los volcanes) y el uso del lignito (variedad de carbón) existente en las cuencas sedimentarias de la región austral.

En base a las reservas existentes se ha iniciado ya proyectos de gran importancia para el país como son la construcción de la nueva refinería, el uso del gas como combustible y para uso doméstico. A largo plazo se podría incursionar en el uso de la energía geotérmica, así como en la de los lignitos, además iniciar un programa agresivo de desarrollo de los campos petroleros conocidos y la búsqueda de nuevos campos en las formaciones de rocas pre-cretácicas.

En base a los últimos estudios realizados (febrero del 2.010), el Ecuador con la tasa de producción actual, tiene reservas hasta el año 2.045.

2.- AGUAS TERMALES Y MINERALES

En el Ecuador se han documentado 167 manantiales de aguas termales y minerales; y, más de 1.000 manantiales de agua fresca de montaña, ubicadas principalmente en el callejón Interandino y alrededor de los grandes volcanes. El agua es el mineral más importante del planeta. El uso racional de este recurso, podría generar decenas de miles de puestos de trabajo, así como cuantiosos ingresos económicos.

A mediano y largo plazo el agua de montaña embasada, podría exportarse y generar recursos como los que por ahora genera el petróleo. Algo similar podría ocurrir, con el uso científico, económico y técnico de las aguas termales y minerales, en bien de la salud, el descanso y el turismo.

El científico Alemán Teodoro Wolf, en su obra capital “Geografía y Geología del Ecuador” publicada en 1.892, al referirse a las aguas termales y minerales del país decía: “El Ecuador es muy rico en aguas termales y minerales, de toda clase, especialmente en las regiones andina e interandina; pero el uso que se hace de ellas es casi nulo. Es conocido cuantos progresos ha hecho en el mundo civilizado la Hidrología Medicinal, también podemos determinar cuán preciosos remedios poseemos en ciertas aguas minerales para el tratamiento de varias enfermedades. El Ecuador posee tales aguas en abundancia; pero sus médicos no las conocen, dejan su aplicación a la gente pobre e ignorante, y las tratan con el mismo desprecio como a los remedios naturales del País”

Han pasado 118 años desde que Wolf, escribió sobre la bondad y propiedades de las aguas termales y minerales del país. Lamentablemente hasta ahora, salvo casos aislados, no se ha hecho nada por conocer e investigar nuestras aguas minerales. Existe un total desconocimiento de las mismas, incluso de parte de instituciones que deberían prestarles atención e investigarlas como son las facultades de Química y Medicina de las universidades del país, del IESS, de los ministerios de Salud, Turismo y del Ambiente.

Las aguas termales y minerales, así como el agua de manantial en el territorio nacional, genéticamente están relacionadas con el volcanismo Plio-pleistocénico y con sistemas de fallas y fisuras. Se trata de un recurso finito (agotable), por este motivo su explotación debe hacerse en forma racional, observando severas técnicas de producción. De otra manera podría perderse este recurso invaluable.

Es imperativo dedicar esfuerzos que se orienten al estudio e investigación sistemático y planificado de nuestras aguas termales, minerales y naturales de montaña, así como ha preparar el personal técnico y científico para aprovechar este recurso mineral, posiblemente el máspreciado de este nuevo milenio.

Es hora de iniciar el uso integral de nuestras aguas termales y minerales, así como desarrollar programas de termalismo social, medicina preventiva y turismo.

3.- ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES.

En nuestro país existen grandes reservas de rocas y minerales industriales RMI. Se ~~tratan de, paneles alivianados para la vivienda y rígidos para la construcción de tipos de~~ comunicación, vidrio plano y derivados, diferentes tipos de cerámica, rocas ornamentales y mármol, abonos fosfatados, potásicos y nitrogenados, zeolitas y aditivos para mejorar los suelos.

Sobre esta base de RMI existentes en el país, es necesario impulsar una política minera orientada a fortalecer los sectores básicos de la economía nacional: construcción, vialidad, agrícola, pecuario, forestal y otros.

Las RMI, en forma acertada han sido denominadas los recursos minerales del tercer milenio. Se prevé que ha mediano plazo representarán más del 40% de la producción mundial de materias primas minerales. Estudios llevados a cabo por la organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), demuestran que, a escala mundial, la duplicación de la población que se produjo entre 1.950 y 1.990 (de 2.500 a 5.300 millones de personas) ha conllevado a un aumento mayor (casi triplicación) del índice de producción agrícola, una cuadruplicación del número de tractores (de 6.6 a 26.5 millones) y un aumento de factor (9) en el consumo de fertilizantes (de 17 a 153 millones de toneladas).

Para nuestro país es imperativo desarrollar la industria básica, en base a las RMI que posee, dando prioridad a la industria del cemento, paneles alivianados para la construcción de viviendas, vidrio, abonos, cerámica, materiales de construcción, insumos con los que se construye la infraestructura de un país. Huelga decir que en el Ecuador en los últimos 10 años, el gasto realizado en la importación de insumos mineros ha sido hasta 50 veces mayor que el correspondiente a exportaciones. Por este motivo el actual gobierno declaró a las RMI minerales estratégicos para el desarrollo del país, por la propiedad que tienen de generar proyectos de enorme rentabilidad social y económica.

4.- MINERALES METÁLICOS

La exploración del territorio nacional en forma sistemática y planificada se inicia en 1.962, con la creación del Servicio Nacional de Geología. Durante la década de los 70 del siglo anterior esta institución trabajó, elaboró y publicó más del 50% de la carta geológica nacional a escala 1:100.000; realizó campañas de Geoquímica y Geofísica regional y de detalle en la búsqueda de yacimientos de minerales metálicos en toda la cordillera Occidental y en la costa ecuatoriana. Durante cuatro décadas, con la cooperación inicial de los geólogos de Naciones Unidas y luego de las misiones geológicas de Inglaterra, España, Bélgica, Alemania y Japón, se realizó la exploración

básica y en parte detallada en 26 proyectos mineros distribuidos en diferentes provincias del país. En los trabajos de prospección y exploración se gastaron algunas centenas de millones de dólares.

Para realizar el desarrollo y manejo de estos proyectos el Estado creó la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgico CODIGEM. Sin pasar a manos particulares. Con la desaparición de la CODIGEM, esta Minería (febrero 2.009) el Estado rescató estos proyectos, mismos que pasan a formar parte del patrimonio de la Empresa Nacional Minera ENAMI.

Así mismo en las dos últimas décadas, algunas compañías extranjeras, principalmente canadienses, han hecho grandes inversiones en la prospección y exploración de yacimientos auríferos, polimetálicos y de cobre-molibdeno en la región Austral del país y en la zona Subandina. Los resultados obtenidos con el descubrimiento de nuevos cinturones de oro-plata y de cobre-molibdeno (genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad Jurásica), son conocidos mundialmente. Las reservas más importantes se localizan en la región sur oriental en las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago.

Los estudios de exploración realizados hasta ahora, demuestran que el Ecuador cuenta con una importante existencia, cuantificada de minerales metálicos: 30 millones de onzas de oro, 50 millones de onzas de plata, 35 mil millones de libras de cobre, cantidades importantes de molibdeno, reales expectativas en minerales de platino, plomo y zinc. Sobre esta base de materias primas metálicas existentes en el país, es necesario impulsar una política orientada a producir metales hasta la etapa de refinación.

En los contratos de explotación que se realice con las compañías extranjeras y nacionales que operan en el país, se les debe exigir que la participación del Estado ecuatoriano se reciba en forma de lingotes de oro, plata, cobre y molibdeno.

Las reservas de minerales metálicos del sur oriente, a los cuales se sumaran los concentrados de minerales metálicos del resto del país, permiten planificar la instalación de una fabrica para producir mil toneladas diarias de cobre refinado durante 70 años o más; y, otra para producir 500 mil onzas de oro y 1 millón de onzas de plata anuales durante 50 años.

PARTE I



ZONIFICACIÓN GEOTECTÓNICA Y MINERALOGÉNICA DEL ECUADOR

INTRODUCCIÓN

La Mineralogía, es una rama de las ciencias geológicas que estudia el origen y distribución de los yacimientos de minerales tanto metálicos como no-metálicos, en el espacio y en el tiempo, en su relación con otros procesos geológicos: magmáticos sedimentarios y metamorfogénicos. Los estudios mineralogénicos permiten determinar en un país, una región, cuales son las áreas que tienen las mejores posibilidades para realizar la búsqueda de yacimientos de minerales en forma científica y técnica, deducción a la que se llega teniendo en cuenta metalotectos: geológicos, magmáticos, tectónicos, estructurales, geomorfológicos, facial-litológicos, geoquímicos, etc. etc.; así como, la presencia directa de yacimientos e indicios de minerales.

En el primer mapa Metalogénico del Ecuador (Paladines, A. Sanmartín, H.), publicado en 1980, se recomienda al bloque sur-oriental del Ecuador, como una de las regiones con mayores posibilidades para realizar la búsqueda de yacimientos de minerales en el país. En el texto del folleto que acompaña al mapa, se hace un pronóstico científico indicando que los yacimientos auríferos que se encuentre en esa región deberán ser del tipo skarn. En el año 1980 se redescubrieron los yacimientos auríferos del sur oriente, posteriormente cuando se hace el estudio de las etapas de mineralización del mismo (Paladines, M. 1988), se demuestra que estos yacimientos se formaron en tres etapas de mineralización: 1) piroxeno-granática; 2) cuarzo-sulfuro-clorítica; y 3) cuarzo-carbonática; demostrándose que eran del tipo skarn.

Las predicciones científicas también se cumplieron en la búsqueda de yacimientos de minerales. A partir de la década de 1980, luego del descubrimiento de los enormes yacimientos epitermales de alta sulfuración H.S. de Yanacocha y Pierina, localizados en la zona de Huaráz, en la república del Perú, 10 de las empresas mineras más grandes del mundo, se volcaron a buscar este tipo de yacimientos en la región sur del Ecuador. La búsqueda la orientaron fundamentalmente a yacimientos de oro, cobre-molibdeno y polimetálicos.

Los resultados obtenidos con el descubrimiento de nuevos cinturones de oro-plata y de cobre-molibdeno, ubicados en el flanco occidental de la cordillera de El Cóndor (genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad Jurásica), son conocidos mundialmente. Entre los yacimientos más importantes del tipo cobre-porfídico, genéticamente relacionados a intrusivos hipoabisales dentro de este cinturón tenemos: Mirador, Mirador Norte, San Carlos, Pananza, El Hito, así como algunos prospectos de interés, los cuales en conjunto forman el cinturón cuprífero

Jurásico del sur oriente.

Además dentro de esta región se localizaron los yacimientos de Au-Ag más importantes del país, con yacimientos de renombre mundial como es el caso del yacimiento Fruta del Norte, que tiene un volumen cuantificado de reservas del orden de 14 millones de onzas de oro, dentro del cinturón de Au-Ag existen muchos prospectos descubiertos que una vez explorados en forma detallada podrían incrementar considerablemente las reservas de estos metales.

En resumen, en el Ecuador, en base al conocimiento de la geología y los trabajos de exploración realizados hasta ahora, conocemos que reales posibilidades para seguir descubriendo nuevos yacimientos de minerales metálicos, solo existen en tres estructuras de tipo arco volcánico, los cuales en orden a su importancia son: **1.-** el arco volcánico continental de edad jurásica (Misahualli), ubicado en la región oriental a lo largo del flanco occidental de la zona Subandina, dentro del cual se han descubierto yacimientos de oro de tipo skarn (Nambija- Guayzimi), de tipo epitermal de M.S. (Fruta del Norte); yacimientos de cobre-molibdeno, del tipo porfídico (Mirador-San Carlos) **2.-** el arco volcánico continental de edad eocénica-miocénica (Saraguro) ubicado en la zona austral, dentro del cual se han descubierto yacimientos de oro del tipo epitermal de L.S. (Portovelo-Zaruma, San Bartolomé-Pilzhum); epitermales de H.S. (El Mozo, Quimsacocha), **3.-** el arco volcánico de islas (Macuchi), dentro del cual se han encontrado yacimientos de SMV (Macuchi, La Plata), yacimientos filoneanos (Ponce Enríquez-San Gerardo) y otros.

En el nuevo Plan de desarrollo minero del Ecuador, debe considerarse esta afinidad metalogénica de la minería metálica (a los tres cinturones volcánicos descritos), el momento de hacer el ordenamiento territorial de la gran minería metálica.

CAPÍTULO I

1. Zona trasarco o cuenca de Iquitos
2. Zona Subandina (arco Oriental).
3. Cordillera Real (arco Central).
4. Graben de Quito.
5. Cordillera Occidental (arco Occidental)
6. Zona antearco o Costanera.

Junto a esto, en la evolución de los Andes ecuatorianos una gran influencia han tenido las estructuras tectónicas orientadas en sentido transversal, sobre todo en la región austral del país, estructuras que condicionaron un desarrollo desigual y rasgos diferentes en la construcción de los segmentos (regiones) localizadas hacia el norte y sur de la faja que cruza entre los 2°15' y 5° de latitud sur, los Andes ecuatorianos (zona transversal Puná-Méndez **ZTPM**).

Esta faja, en los límites de la cual se produce la principal reconstrucción tectónica entre las estructuras de los Andes nórdicos y centrales, representa una parte del lineamiento amazónico el cual continua hacia los océanos Atlántico y Pacífico (Jain, 1.971). En el océano Pacífico la continuación del lineamiento posiblemente corresponde a la cordillera submarina de Carnegie y hacia el este la continuación es el eje amazónico que a través del océano Atlántico se proyecta al África.

Cinco subzonas se localizan en la **Zona Transversal Puná-Mendez**:

7. Arco volcánico Celica
8. Cordillera de Tahuin
9. Arco volcánico Saraguro
10. Cuencas intramontañosas
11. Cuenca Progreso

Desde el punto de vista mineralogénico, los Andes ecuatorianos forman parte del gran cinturón mineralogénico Andino. En sus límites se destacan dos **Provincias mineralogénicas**. La occidental localizada sobre la corteza de tipo oceánica, para la cual son característicos los yacimientos e indicios de minerales de: Fe, Pt, Ti, FeS-Cu, Cu-Mo, Pb-Zn (Cu-Au), Ag-Au (Pb-Zn), relacionados con asociaciones de rocas características para la corteza oceánica, los arcos volcánicos de islas (Macuchi y Célica) y el arco volcánico continental (Saraguro); y, la Oriental localizada sobre corteza de tipo continental, para la cual son característicos los yacimientos e indicios de minerales de: Au, Fe, Pb-Zn (Cu, Au), Cu-Mo, Sn-W, U, relacionados con granitos y rocas metamórficas de la cordillera Real y el arco volcánico continental Misahualli. Estas dos provincias mineralogénicas están separadas por el graben de Quito, que a su vez constituye otra zona mineralogénica longitudinal.

Dentro de estas dos Provincias mineralogénicas, se encuentran las principales zonas estructuro-formacionales y mineralogénicas de los Andes ecuatorianos, las cuales tienen sus propias características.

1.1 PROVINCIA MINERALOGÉNICA OCCIDENTAL

Con esta denominación designamos a la región de los Andes occidentales, localizada al oeste de la cordillera Real y al norte de la latitud marcada por el golfo de Guayaquil. Esta región se caracteriza:

1. Por un potente complejo de rocas volcánicas de edad cretácica-paleogénica.
2. Por la casi total ausencia de afloramientos de complejos de rocas metamórficas de edad precretácica, las cuales no se fijan incluso con métodos sísmicos.
3. Por altas anomalías gravimétricas positivas del orden de 100 a 150 mg localizadas en la zona más occidental.

Precisamente estas tres particularidades permiten contraponer esta megazona a las zonas orientales del cinturón andino, las cuales se desarrollaron durante el Mesozoico y Terciario sobre la corteza continental, mientras que la megazona occidental, se originó debido a procesos de acreción de la corteza oceánica y el arco volcánico de islas Macuchi al continente.

La provincia Occidental está constituida por dos zonas estructuro-formacionales: La cordillera Occidental y la zona Costanera.

1.1.1 Zona mineralogénica antearco o costanera.

Esta zona estructuro-formacional comprende la parte baja del país, se ubica al norte de la **ZTPM** y al occidente de la cordillera Occidental. En el territorio del Ecuador tiene una extensión de más de 500 k. y un ancho promedio de 120 k. En la configuración de esta zona toman parte dos complejos o pisos estructurales: el inferior que está plegado y el superior que no está plegado (Fig. No. 2).

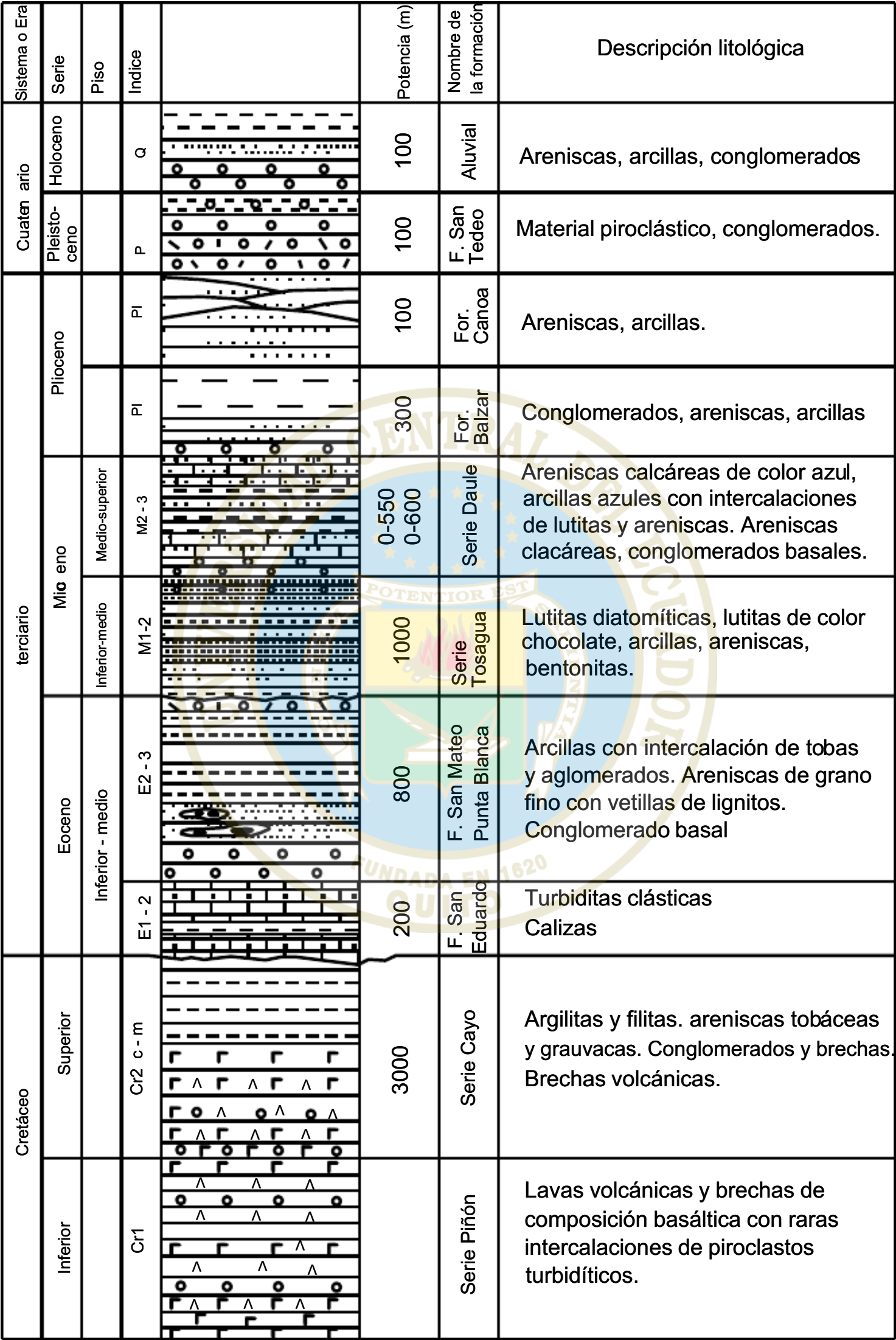


Fig. No. 2.- Columna estratigráfica de la cuenca Manabí.

El complejo plegado está constituido por rocas de edad cretácica y aflora en la serie de elevaciones de bloque de tipo Horst, entre las cuales las más importantes son: Chongón-Colonche, Jama-Coaque y Río Verde. *El complejo no plegado* está localizado entre las estructuras levantadas, o sea, en las cuencas o grabens, constituidas por formaciones de rocas sedimentarias. De norte a sur tenemos las siguientes cuencas: Borbón y sur de Esmeraldas, norte y sur de Manabí. La zona de la depresión costanera está separada de la cordillera Occidental por un sistema de fallas profundas o antiguas zonas de sutura, siendo la potencia de la corteza terrestre en sus límites del orden de 30-35 k.

En términos metalogénicos, en la zona Costanera las rocas volcanogénicas de la formación Piñón de edad cretácica tienen el mayor interés, las mismas que forman la base de la cuenca antearco y están representadas por basaltos toleíticos y lavas calco-alcalinas pertenecientes a la corteza oceánica.

Las rocas de la corteza oceánica, probablemente, se presentan como encajantes de la mineralización de los depósitos de origen magmático, cuyas manifestaciones son observadas en los placeres aluviales de los ríos de la provincia de Esmeraldas que son ricos en oro, platino y paladio, a más de los depósitos de arena titanomagnetítica con trazas de oro, platino, cromitas en las playas de La Tola y La Tolita. Hacia el norte de esta zona, en Colombia, Álvarez (1.983) ha establecido una relación directa de esta mineralización con rocas ultrabásicas, localizadas a lo largo de la falla Atrato-San Juan, la cual continúa en nuestro país.

Potencialmente se puede considerar para la búsqueda de concentraciones de manganeso formado como producto de la meteorización de los nódulos de manganeso contenidos en la corteza oceánica acrecionada, así como de las rocas ornamentales del tipo "labradorita", pegmatitas ultrabásicas y piedras preciosas y semipreciosas (Rosero G. 1.996).

Otro indicio importante aunque subeconómico, en la zona costanera es la presencia de vetas y lentes de hematita masiva y baritina en la provincia del Guayas (sector de Pascuales). La mineralización que contiene trazas de oro está relacionada a diabasas intruídas por un cuerpo de tipo tonalítico, este intrusivo debe ser investigado, podría estar relacionarlo con posibles depósitos de skarn, ya que hace contacto con las calizas de la formación San Eduardo.

En relación a los yacimientos no metálicos: en esta zona son de importancia los yacimientos de caliza relacionados con la formación San Eduardo (Eoceno medio), la cual aflora a lo largo del flanco sur de la cordillera de Chongón-Colonche. La formación San Eduardo se correlaciona con las calizas La Delicia de la formación Ostiones, en las cuencas de Manabí y Esmeraldas. Estas formaciones están

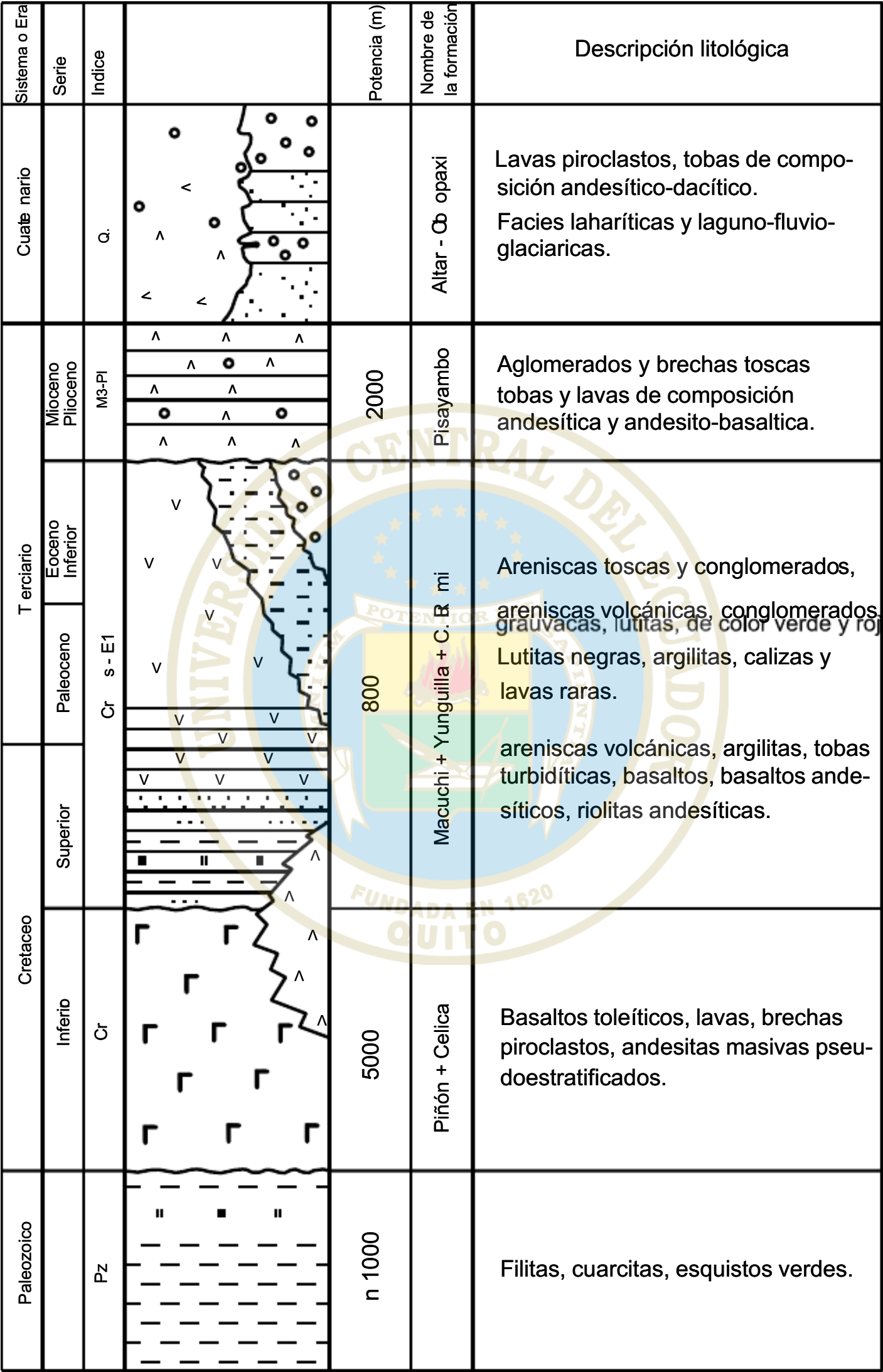
constituidas de calizas bien estratificadas de color gris claro en Guayas y café claro habano en Manabí, son ricas en fósiles de radiolarios, foraminíferos y algas bien conservadas. Se presentan en capas masivas y potentes con intercalaciones de lutitas silíceas y capas lenticulares de pedernal en la parte basal. Son utilizadas en gran escala para la fabricación de cemento, en menor escala como áridos y rocas ornamentales (en dependencia de su composición química o su grado de belleza).

En esta zona existe yeso en pequeñas cantidades, el yeso que se explota es de origen residual y esta rellenando fisuras en estratos arcillosos dentro de los conglomerados en la localidad de el Morro en la cuenca Progreso y en la formación Tosagua en la provincia de Manabí. En el miembro Villingota de esta formación, ocurren sedimentos diatomíticos de origen marino, materia prima que se está investigando para su posible uso en la fabricación de ladrillos especiales (livianos, aislantes y semirefractarios), así como arcillas bentoníticas que son explotadas y empleadas en la preparación de lodos de perforación.

1.1.2 *Zona mineralogénica de la cordillera Occidental.*

Esta zona continúa hacia el norte en Colombia. En los límites de los Andes ecuatorianos, tiene rasgos específicos en su composición y desarrollo, lo que se ve claramente en los cortes estratigráficos del Cretácico y Paleógeno. En el segmento ecuatoriano del cinturón Andino, esta zona tiene una extensión mayor a los 300 k. y un ancho de 45-70 k. a lo largo de grandes extensiones sus límites están representados por fallas profundas o posibles zonas de sutura cuyas huellas se pueden ver en los taludes de las carreteras Ibarra-Lita y Quito-Atahualpa, representados por zonas de *melange tectónicas*. Estos sistemas de fallas, separan a la cordillera Occidental del graben de Quito o fosa interandina al este, así como de la zona costanera al oeste (Fig. No. 1).

En la constitución de la cordillera Occidental (arco Macuchi) (Fig. No. 3), gran significado tienen las rocas volcánicas de edad Cretácico-paleogénicas, las cuales forman un complejo plegado único de composición y edad similar a las formaciones Piñón y Cayo de la zona costanera. Esta zona en el periodo comprendido entre el Cretácico hasta el Eoceno medio, inclusive, se desarrolló como un típico arco volcánico de islas, mismo que está constituido por rocas de composición ofiolítica hasta calco-alcalinas de arco continental (Egüez, Morocco y Pérez 1.991).



. No. 3.- Columna estratigráfica de la cordillera Occidental.

Fig

En relación a la mineralización presentan interés, tanto las rocas volcánicas, como las rocas comagmáticas con aquellas, representadas por intrusivos granitoides de edad terciaria: tonalitas, granodioritas y granitos que forman enormes batolitos y stocks. Son de importancia las mineralizaciones de la Plata y Macuchi, las cuales corresponden a cuerpos tipo Kuroko (cobre-pirita) con altos contenidos de oro. Están representados por lentos y estratos que yacen concordantemente con las rocas volcánicas sedimentarias que hacen de huéspedes de la mineralización, así como los indicios minerales de Pilaló, Talagua, Sigchos, Zarapullo y nuevos depósitos descubiertos hacia el Sur, que en conjunto forman el *distrito minero de Macuchi*.

Hacia el sur en la provincia de Bolívar, son de interés los prospectos con mineralización del tipo cobre-porfídico: Telimbela, Chaso Juan, El Torneado y Las Guardias.

Hacia el norte en la provincia de Imbabura es de interés el depósito de Junín y las anomalías localizadas en los ríos San Jerónimo, Plata y Blanco en la provincia del Carchi; este sector corresponde al distrito minero del norte, el cual es de gran potencialidad, por lo que se recomienda realizar estudios sistemáticos que abarquen hasta el flanco occidental del cerro Golondrinas (Rosero G., 1.996).

En relación a yacimientos no metálicos en la zona mineralogénica de la cordillera Occidental son de importancia las rocas carbonatadas que alineadas pueden determinar la antigua línea de costa: se inician al norte con las calizas biogénicas de Gualchán en el Carchi; Selva Alegre en Imbabura; continúan con afloramientos aislados en los sitios del Tránsito en Pichincha y Unacota en Cotopaxi, constituyendo un cinturón localizado a lo largo del flanco occidental de la cordillera Occidental de los Andes.

Como ocurre en la actualidad, las colonias de pólipos, son microorganismos que constituyen los arrecifes coralinos que viven en mares tropicales, con una salinidad normal a profundidades no mayores de 50 m., pues necesitan de la luz solar para reproducirse. La presencia de este cinturón en tiempos eocénicos evidencia que en la época que se formó, la cordillera Occidental estaba por emerger definitivamente del mar, fenómeno que ocurrió en el Eoceno medio, período en el cual las rocas del arco volcánico Macuchi junto con el cinturón arrecifal acrecieron al continente y en este evento fueron plegadas, levantadas y posteriormente intruídas. Con el levantamiento de la cordillera, grandes sectores de éste enorme cinturón son erosionados, quedando como remanentes los bloques de caliza descritos anteriormente.

Es necesario señalar además que en la zona de Selva Alegre una intrusión granodiorítica produjo un intenso metamorfismo de contacto que afectó a las calizas del cinturón arrecifal, las cuales fueron recristalizadas y marmelizadas. En otros sitios

la presencia de minerales como turmalina y granates acompañados de silicificación y carbonatización son testigos de procesos de reemplazo metasomático y la formación de pequeños cuerpos de "Skarn" con mineralizaciones insipientes de sulfuros.

Afloramientos del complejo ofiolítico, vestigios de la corteza oceánica adosada al continente en el sector de Saloya, presentan buenas perspectivas para la industrialización de Serpentina como roca ornamental, y una posible existencia de depósitos magmáticos (Rosero G., 1996).

1.2 PROVINCIA ORIENTAL

Comprende las zonas de la cordillera Real, la zona Subandina y la cuenca de Iquitos, está separada de la mega provincia occidental por el graben de Quito, se caracteriza por tener un basamento formado por corteza de tipo continental, constituido de rocas metamórficas que han sido intruídas por cuerpos ígneos de edad jurásica-cretácica.

1.2.1 Zona mineralogénica de la cordillera Real.

La cordillera Central o Real de los Andes ecuatorianos representa la estructura positiva, anticlinal más importante de los Andes ecuatorianos. La cordillera Real divide a los Andes en dos regiones principales Occidental y Oriental, las cuales durante el período Meso-Terciario tuvieron un desarrollo tectónico diferente. Esta zona estructural formacional dentro del Ecuador tiene una extensión mayor de 700 k. y un ancho de 70-80 k. tomando en cuenta el ancho del graben de Quito, que es una estructura sobrepuesta en su flanco occidental. Limita con la zona Subandina a lo largo de fallas profundas, representadas superficialmente por una zona de escamas (fallas inversas) a lo largo de las cuales el anticlinorio de la cordillera Real está sobrecoorrido sobre las formaciones sedimentarias marinas de la zona Subandina.

Hacia el norte esta zona continúa en Colombia en donde se denomina cordillera Central, hacia el Sur en el Perú toma el nombre de cordillera Oriental. En base a los estudios realizados por la misión Británica (1995) las rocas metamórficas de la cordillera Real fueron subdivididas en cinco divisiones litotectónicas asociadas cada una de ellas a rasgos tectónicos y metalogénicos característicos.

Las divisiones litotectónicas de oeste a este son:

Guamote (J3) constituida de ortocuarcitas y pizarras negras de bajo grado de metamorfismo.

Alao (J3) constituida de ofiolitas, turbiditas, andesitas verdes, tobas y sedimentos de bajo grado de metamorfismo, presenta potencial para sulfuros de Ag-Cu-Pb-Zn.

Loja constituida de orto y paragneises asociados con filitas y esquistos (Pz) de bajo y mediano grado de metamorfismo intruídos por granitos (Tr) presenta potencial para sulfuros de Sn-W con oro.

Salado (J) constituida de andesitas verdes, tobas, filitas y grauvacas de bajo grado de metamorfismo intruídas por un batolito de composición calco-alcalina, tiene potencial

para depósitos piríticos SMV y para pórfidos de cobre con oro; y, *Zamora (Tr)* constituida de andesitas, basaltos y sedimentos volcánicos intruidos por un batolito de composición calco-alcalina, estas rocas en su conjunto forman un arco volcánico continental de edad jurásica, en el cual en los últimos años se descubrieron dos cinturones metalíferos: de Cu-Mo y de Au-Ag, de importancia mundial.

En el reporte se señala además, la existencia de rocas ultrabásicas, lo que abre la posibilidad de localizar depósitos magmáticos de Cu-Ni y del grupo del Pt.

Así mismo, la zona mineralogénica de la cordillera Real forma parte de una gran provincia aurífera estannífera la cual se extiende desde los Andes centrales hasta los Andes nórdicos. Además en ella se detectaron anomalías de elementos radioactivos U y Th que están asociadas con macizos graníticos ácidos, los cuales cortan a las rocas metamórficas constituidas mayormente de gneises y esquistos grafiticos (Cameron, J., 1.967).

En relación a yacimientos de minerales no metálicos en ésta zona mineralogénica, son de importancia los depósitos de grafito, mármol, pizarras y materiales de construcción.

1.2.2 Zona mineralogénica Subandina

La zona Subandina representa el lado occidental plegado de la cuenca marginal preandina; el basamento cristalino en la base de esta zona se ha desplazado a una profundidad mayor a los 8 k. sobre el cual discordantemente descansa un complejo de rocas sedimentarias y volcanógeno-sedimentarias marinas, que a su vez se dividen en tres pisos estructurales y cuya edad va desde el Paleozoico medio hasta el Cretácico (Fig. No. 4).

La secuencia de rocas del complejo transarco es la siguiente: arcillas y areniscas ligeramente metamorfizadas en la base sobre las cuales, con discordancia angular,

yacen calizas, tobas silicificadas con arcillas y areniscas de color rojo, dentro de las cuales se intercalan tobas, basaltos y andesitas, se termina la secuencia con areniscas, calizas y margas petrolíferas.

Sobre éste complejo y el basamento cristalino precámbrico descansan discordantemente sedimentos continentales de tipo molásico cuya edad va desde el Maestrichtiano al Cuaternario los cuales constituyen la parte superior de la cuenca de Iquitos.

En el mapa Metalogénico del Ecuador, (Paladines A., San Martín H., 1.980) la región suroriental fue señalada como la que mejores perspectivas presentaba para la búsqueda de yacimientos de Au, Cu-Mo, W, Fe, Cu, Pb, Zn de tipo skarn e hidrotermal. El descubrimiento de los yacimientos del distrito aurífero de Nambija-Guayzimi, así como la de los cinturones de Au-Ag y Cu-Mo confirma este pronóstico.

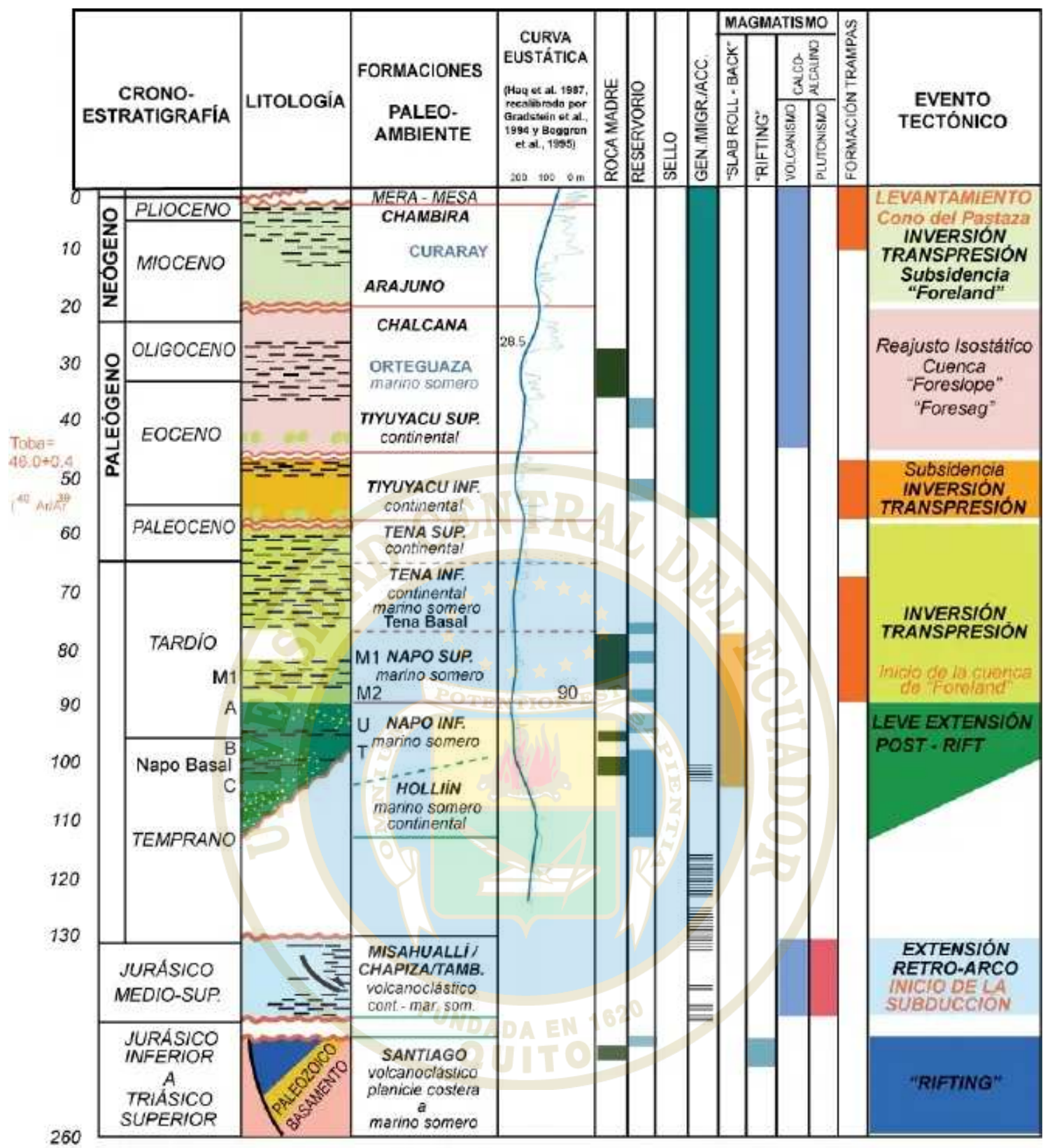


Fig. No. 4.- Columna estratigráfica de la zona Subandina. Fuente: Baby P., Rivadeneira M. y Barragán R.

En 1.980, en el sur oriente fueron redescubiertos los primeros yacimientos primarios de oro en el área de Nambija, posteriormente fueron en Guayzimi, Chinapintza, Sultana, Nayumbi, Biche, Hito, Bellavista, Zarza, y otras. Todas estas áreas mineralizadas forman parte de una enorme provincia aurífera, localizada en las cordilleras Orientales de los Andes centrales y nórdicos. Las mineralizaciones auríferas señaladas han sido agrupadas dentro del *distrito minero Nambija*.

Hacia el norte, indicios de minerales relacionados a los intrusivos de Tres Lagunas y Abitagua, en la zona de los Llanganates y la cordillera de los Guacamayos, forman el *área minera de los Llanganates*. Más al norte, en la frontera con Colombia, el

intrusivo de La Bonita destaca por la posibilidad de localizar concentraciones de minerales, pues los ríos que nacen en esta zona, tienen un gran potencial aurífero, esta área constituye el *área minera de la Bonita* (Rosero G., 1.996).

En la región suroriental del territorio nacional, los depósitos e indicios señalados forman parte de un cinturón aurífero, paralelo al cual en los últimos años se descubrió

el cinturón de yacimientos de cobre molibdeno más importante del Ecuador. Ambos cinturones genéticamente están relacionados a un arco volcánico continental de edad jurásica. Regionalmente este arco se localiza a lo largo del flanco occidental intruido de la zona Subandina, es de edad Jurásica; atraviesa todo el territorio nacional y continúa en Colombia. El cinturón de yacimientos de Cu-Mo de edad jurásica del suroriente, es considerado el mayor descubrimiento de este tipo de mineralización a nivel mundial en la última década, este cinturón también continúa en Colombia, paralelo a este cinturón en el vecino país y desplazado hacia occidente existe un cinturón de yacimientos de Cu-Mo (cobre-porfídico), de edad cretácica, lo que abre la posibilidad de descubrir este cinturón en nuestro territorio. Como metalotectos de búsqueda de este cinturón en primer lugar está el hecho comprobado de que en los Andes nórdicos el magmatismo migró de este a oeste, en segundo lugar este tipo de yacimientos genéticamente están relacionados con intrusivos de alto nivel (postbatolíticos) de estructura porfidítica.

Trabajos realizados en esta zona por la comisión ecuatoriana de Energía Atómica, determinaron la presencia de anomalías radioactivas. Además en la zona nororiental han sido descubiertos importantes reservas de petróleo pesado y asfalto, las cuales constituyen el campo petrolífero de Pungarayacu (este petróleo pesado y asfalto contiene azufre y níquel en cantidades que podrían ser económicamente rentables).

Además, esta zona mineralogénica es rica en materiales de construcción, rocas ornamentales y depósitos de arenas silíceas, calizas, arcillas, caolines, anhidrita, fosforitas y baritina. Todos estos depósitos y yacimientos están genéticamente relacionados a las formaciones sedimentarias marinas Hollín y Napo y con diques que atraviesan los batolitos graníticos.

1.2.3 Zona mineralogénica de la cuenca de Iquitos.

La cuenca de Iquitos se localiza entre el cratón Guayanés al este y el cinturón móvil Andino al oeste, constituyendo una cuenca trasarco que se extiende desde Venezuela a Bolivia. En los límites de nuestro país, tiene una superficie mayor a 100.000 k.² conjuntamente con la zona Subandina, localizada hacia el oeste.

La cuenca de Iquitos se sitúa en la parte occidental hundida del escudo Guayanés, en la parte superior de la sineclisis Amazónica, tiene forma asimétrica, su lado occidental se separa de la zona Subandina por un sistema de pliegues tumbados hacia el este y un sistema de fallas de empuje. De oriente a occidente a medida que se acerca al cinturón Andino la profundidad de la cuenca crece desde algunos centenares de metros hasta 5 k. y de norte a sur, su potencia crece de 2.5 a 5 k.

Las facies molásicas en los flancos de la cuenca son de tipo laguno-continental y continental-carbonífero, hacia el centro las facies son principalmente laguno-continentales. La edad de la cuenca disminuye hacia el centro de la misma.

Dentro de esta Zona se localizan la mayoría de las reservas de hidrocarburos encontradas al presente, así como depósitos importantes de placeres auríferos y materiales de construcción.

1.2.4 Zona mineralogénica del graben de Quito

El graben de Quito o fosa interandina, es una estructura sobrepuesta en el flanco occidental del anticlinorio de la cordillera Real. La fosa está rellena mayormente de lavas andesíticas, depósitos lagunar-continentales y fluvioglaciales de edades Neogeno-cuaternaria, formadas en condiciones de un relieve alto-montañoso. En la base de esta estructura se localizan las volcanitas Pisayambo, las cuales posiblemente forman una mesa, sobre la cual se originaron los enormes estratovolcanes del norte del país.

Es necesario señalar que los estratovolcanes al igual que el graben de Quito, con el desarrollo del cual están genéticamente relacionados, son característicos solo para el norte del país, ellos no continúan hacia el sur y se terminan antes de la zona transversal Puná-Méndez. La distribución de los estratovolcanes alrededor y dentro del graben de Quito permiten considerar a esta estructura como una depresión volcánico-tectónica, la cual limita a lo largo de fallas profundas (zonas de sutura) con las cordilleras que se levantan a sus dos costados.

La fila occidental de volcanes incluye los siguientes (de sur a norte): Chimborazo (6.310 m), Carihuairazo (5.020 m), Illinizas (5.263 m), Corazón (4.788 m), Atacazo (4.410 m), Pichincha (4.794 m), Cotacachi (4.939 m), dentro de la cuenca interandina se localizan los siguientes volcanes: Rumiñahui (4.722 m), Paschoa (4.200 m), Ilaló

(3.169 m), Mojanda (4.261 m), Imbabura (4.609 m); y a lo largo de la cordillera Real, en el límite oriental del graben de Quito, se localizan los siguientes volcanes: Altar (5.319 m), Quilindaña, Cotopaxi (5.897 m), Sincholagua (4.893 m), Puntas (4.452 m) y Cayambe (5.790 m).

Los movimientos recientes (neotectónicos) ocurridos a lo largo de los sistemas de fallas que limitan el graben de Quito son del tipo transcurrente dextral y están accionados por la placa de Nazca que en dirección noreste se subduce bajo los Andes nórdicos. Lavenu (1.994), en un estudio sobre neotectónica y tectónica activa, realizado en el Ecuador en diferentes sectores del graben de Quito, demuestra esta influencia en la actualidad.

Esta zona se caracteriza por tener depósitos exalativos de azufre en las provincias de Carchi y Chimborazo, aguas termales, minerales y manantiales de agua fresca de montaña, genéticamente relacionadas con los sistemas de fallas y el volcanismo, sin

embargo el mayor rubro minero corresponde a la explotación de piedra pómez y pumitas en la provincia del Cotopaxi.

Por último es necesario señalar que a lo largo del graben de Quito, existen depósitos piroclásticos, lavas, aglomerados y tobas volcánicas, constituidos de polvo y arena volcánica, lapilli, fragmentos y bloques de andesita que son explotados para abastecer de materiales de construcción a las principales ciudades del centro y norte de la sierra ecuatoriana.

1.3 ZONA MINERALOGENICA TRANSVERSAL

En la evolución de los Andes ecuatorianos una gran influencia han tenido las estructuras tectónicas orientadas en sentido transversal, las cuales condicionaron un desarrollo desigual y rasgos diferentes en la construcción de los dos segmentos (regiones) localizadas hacia el norte y sur de la faja que cruza entre los 2° 30' y 5° de latitud sur. Esta zona corresponde a la **zona transversal Puna-Méndez (ZTPM)** (Paladines, A. 1.989) que se caracteriza por tener una corteza de tipo transicional en su composición. A lo largo de fallas paralelas a esta franja se observan rocas de edades precámbricas, paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas, que están dispuestas en forma subtransversal y transversal, la cual es anómala en relación a la extensión normal de los Andes.

Esta faja en los límites de la cual se produce la principal reconstrucción de los Andes nórdicos y centrales, representa una parte del enorme lineamiento transcontinental paralelo a la línea Ecuador y al eje Amazónico, mismo que continúa hacia los océanos Atlántico y Pacífico. Hacia esta zona transversal confluyen cinco zonas estructuro-formacionales que son características para los Andes centrales:

Cuencas intramontañosas
Arco volcánico Celica
Arco volcánico Saraguro

Cordillera de Tahuín
Cuenca Progreso

1.3.1 Zona mineralogénica de las cuencas intramontañosas

Luego de la acreción del arco volcánico Macuchi al continente, ocurrida en el Eoceno medio, se inicia la etapa de desarrollo orogénico de los Andes ecuatorianos. Paralelo al levantamiento de los Andes ocurre la formación de cuencas (sinorogénicas), sedimentarias lacustres, con yeso y carbón de edad miocénica. Las cuencas sedimentarias intramontañosas, más importantes en el Ecuador se forman en la zona Austral y son características para los Andes centrales, las más importantes son: Biblián-Azoguez-Cuenca, Loja-Malacatos, Vilcabamba, Catamayo-Gonzanamá y otras.

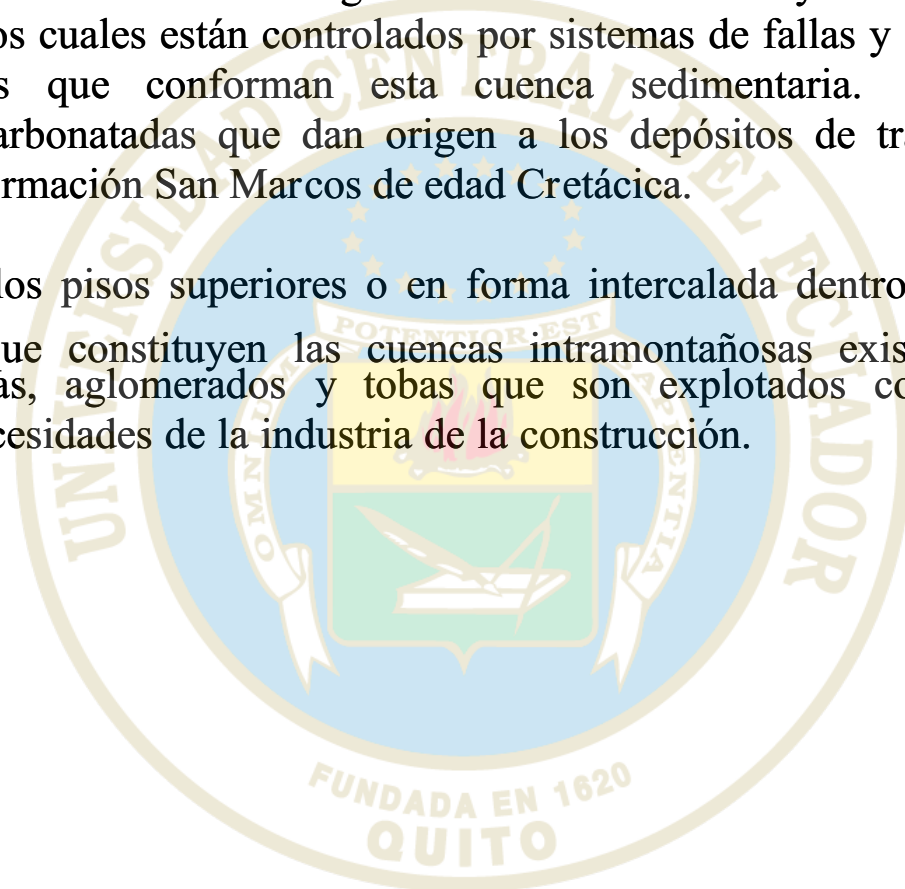
La cuenca alargada de Biblián-Azoguez-Cuenca es la más importante y mejor

estudiada, tiene una extensión de 180 k. y un ancho de 25 k., se localiza en la continuación austral del graben de Quito (Fig. No. 5). Hacia el sur una posición estructural similar tienen las cuencas intramontañosas de Loja-Malacatos, Vilcabamba y Catamayo-Gonzanamá.

Estas cuencas son de origen lacustre de edad Miocénica. Han sido rellenadas de sedimentos continentales (moladas) que contienen facies evaporíticas que dieron origen a depósitos de yeso y anhidrita como en Malacatos y Azoguez, así como facies laguno-continetales que contienen lignitos como en Biblián, Loja y Malacatos. Además, contienen facies de arcillas lacustres y de arcillas residuales que se emplean en la industria de la cerámica.

Dentro de la cuenca de Biblián-Azoguez-Cuenca se localizan yacimientos y depósitos de travertinos, los cuales están controlados por sistemas de fallas y se localizan sobre las formaciones que conforman esta cuenca sedimentaria. Las soluciones hidrotermales carbonatadas que dan origen a los depósitos de travertinos parecen provenir de la formación San Marcos de edad Cretácica.

Por último, en los pisos superiores o en forma intercalada dentro de las columnas estratigráficas que constituyen las cuencas intramontañosas existen depósitos de piroclastos, lavas, aglomerados y tobas que son explotados como áridos, para satisfacer las necesidades de la industria de la construcción.



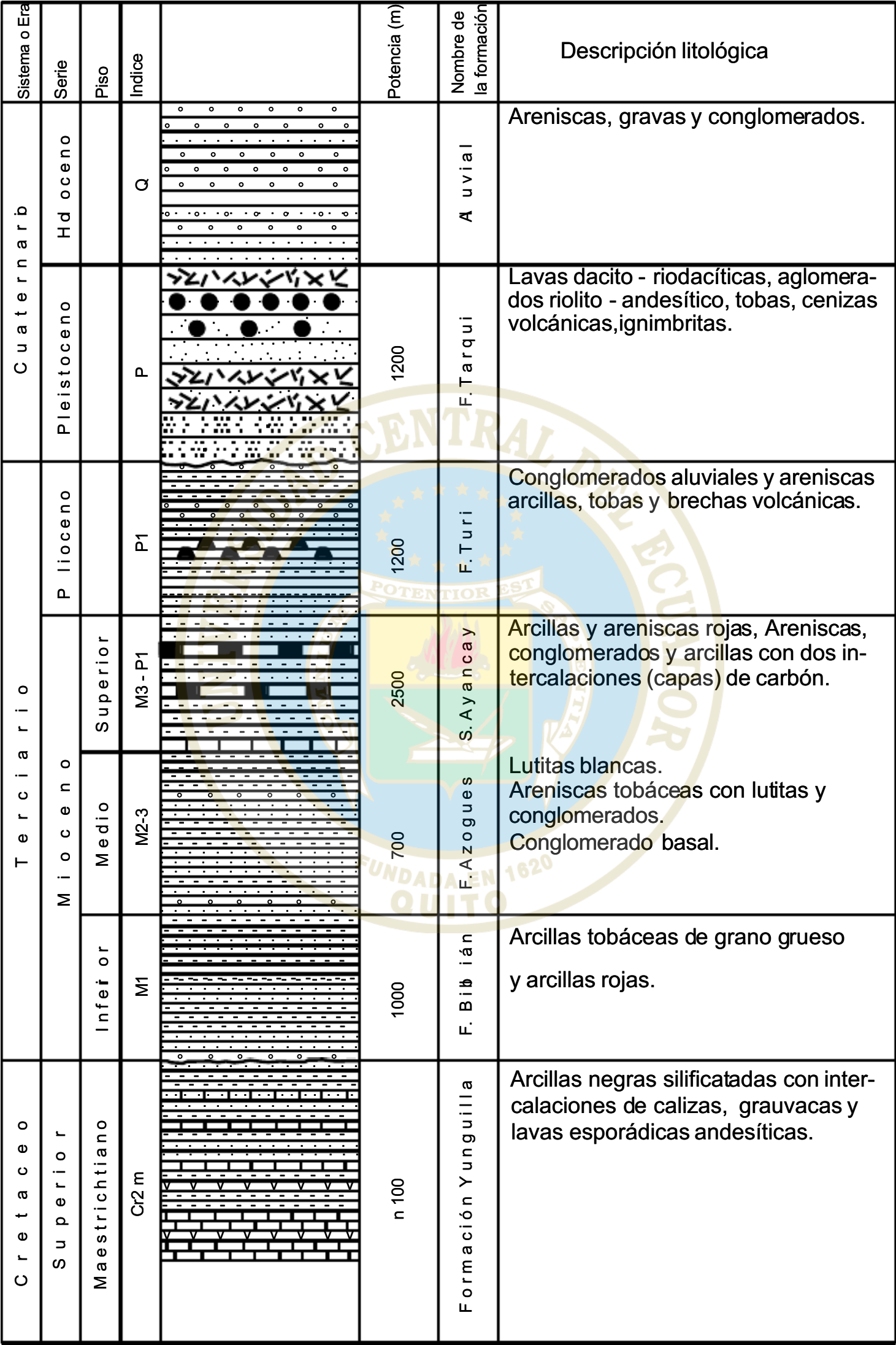


Fig. No. 5.- Columna estratigráfica de la cuenca Biblián-Azoguez

1.3.2 Zona mineralogénica del arco volcánico Celica

Constituye la zona estructuro-formacional más sureña de los Andes ecuatorianos, está localizada al sur de la cordillera de Tahuín y al oeste de la cordillera Real (Fig. No. 6).

En la configuración del arco volcánico Celica se destacan dos unidades. La unidad volcánica basal, que está constituida de rocas básicas: gabros y basaltos afaníticos (unidad Punta de Piedras) la cual representa un arco volcánico toleítico formado en una cuenca desarrollada sobre corteza continental “adelgazada” por el “abombamiento” (diapirismo) del manto durante el Cretácico inferior tardío” (Proyecto multinacional Andino-Geociencias DINAGE-INGEMMET, 2.005). La unidad estructural superior está constituida por un complejo volcano-sedimentario, constituido por rocas volcánicas de la formación Celica mayormente difundidas en la parte oriental del arco y por rocas sedimentarias del grupo Alamor al oeste, de E-O, se observa un cambio lateral de facies de volcánicas a sedimentarias. Todo el complejo de rocas fue plegado e intruido por el batolito de Tangula a fines del Campaniano durante el ciclo orogénico peruano.

En el proyecto de exploración llevado a cabo en la región Austral del país por Naciones Unidas (Operación No. 8, 1.969-1.972), se detectaron 14 zonas anómalicas para cobre, molibdeno, plomo y zinc. Dentro de las rocas pertenecientes al arco Celica, se desarrollaron los proyectos de El Huato, Los Linderos, Río Playas, Uritohuaser y otras. Es necesario señalar que las 4.522 muestras que se tomaron en el Proyecto No. 8, sólo fueron analizadas para Cu, Mo, Pb y Zn; en la actualidad en los sitios señalados o en áreas circundantes se ha encontrado indicios de oro in-situ, lo que plantea la necesidad de explorar estos proyectos nuevamente.

Desde el punto de vista regional, al norte del Perú, con las rocas del arco volcánico Celica se correlacionan “las rocas del Grupo Basal Volcánico (GBV) de afinidad toleítica y derivación mantélica (Jurásico superior-pre albiense) contiene

mineralizaciones tipo Cu-Zn (Tambo Grande) de gran tonelaje. La unidad superior pertenece al Grupo Volcánico Sedimentario (GVS), de afinidad transicional a calco alcalina, del Albiense medio a superior, contiene mineralizaciones tipo Kuroco (Zn-Pb-Cu) de escaso tonelaje”. (A. M. Ríos Carranza y otros, 2.008)

En relación a yacimientos no-metálicos en la zona mineralogénica del arco volcánico Celica son de importancia los yacimientos de yeso en el sitio de Río Playas y materiales de construcción para base y subbase de caminos y carreteras relacionadas a las rocas volcánicas de la formación Celica y al intrusivo granítico de Tangula.



Fig. No. 6.- Columna estratigráfica del arco Celica.

1.3.3 Zona mineralogénica del arco volcánico Saraguro

Desde el punto de vista metalogénico los yacimientos auríferos de tipo argentífero polimetálico de Portovelo-Zaruma-Minas Nuevas son los más importantes dentro de las rocas que constituyen el arco volcánico Saraguro. Se trata de yacimientos vetiformes, de tipo meso-epitermal constituidos de metales de base de cobre, plomo y zinc y de metales preciosos de oro y plata; según Heald R. (1987) son del subtipo adularia-seneca (meso-epitermales de baja sulfuración L.S.). Dentro de su género este distrito de yacimientos minerales posee un tamaño excepcionalmente grande con vetas que se extiende casi continuamente 15 k. en sentido N-S, 4 k. en dirección E-W y 1.6 k. en el sentido vertical (Misión Belga, 1989).

Son de importancia también los yacimientos de plata-polimetálicos de Pilzhum, San Bartolomé y los prospectos del grupo San Fernando y El Tablón, los cuales conforman el campo argentífero de San Bartolomé-Pilzhum, de tipo epitermal de baja sulfuración (L.S.). La mineralización de Ag-Pb-Zn-Au, está relacionada a pequeñas vetas epitermales localizadas en lavas, tobas y piroclastos de composición andesito-riolítica de edad Plioceno-cuaternaria. En San Bartolomé las reservas reportadas fueron del orden de 200.000 toneladas, con leyes de: 20 oz/t de Ag, 2.9% Zn, 1.15% Pb, con trazas de oro. En Pilzhum se conocen alrededor de 20 pequeñas vetas, algunas de las cuales han sido explotadas; las leyes reportadas son: 1.500 g/t de Ag, 3.2 g/t de Ag, 2% Cu. Este campo argentífero forma parte del cinturón argentífero-polimetálico que se extiende desde México hasta el Perú.

El cinturón volcánico de Saraguro (Ecuador), de Calipuy (Perú) como el Araucano (Chile) al sur, se extienden en forma paralela al borde moderno de la pendiente continental a una distancia de 100-150 k. de aquella. Los tres cinturones enlazados forman un cinturón volcanogénico-plutónico único (cinturón volcánico Neogénico), que tiene una longitud de alrededor de 4.500 k. cuya terminación coincide con el límite de los Andes centrales y está controlado por grandes lineamientos transversales: al norte por el lineamiento amazónico y las fallas de Carnegie y

Galápagos y al sur por el lineamiento de Neuquén y las fallas de la cordillera submarina de Chile. (Lomize M.C. 1974).

Este enorme cinturón está constituido de rocas volcánicas de composición ácida, las cuales se encuentran discordantes sobre terrenos metamórficos precretácicos, que constituyen la corteza continental (Fig. No. 7).

Tabla No. 6. Unidades Litológicas del Terreno Loja-Olmos						
Grupo/Unidad/Formación		Litologías Típicas	Edad Radiométrica	Edad Paleontológica	Edad Relativa	Ambiente
Ecuador	Perú					
Tarqui					Mioceno Tardío (Dunkley y Gaibor, 1997)	Arco Volcánico Continental
Volcánicos Indiferenciados					Paleogeno-Neogeno	Arco Volcánico Continental
Nabón		Conglomerados, areniscas, lutitas	14.1 ± 1.6- 10.6 ± 0.8 Ma, Fission Track (Hungerbühler, 2000)	Neogeno (Bristow y Hoffstetter, 1977)		Cuenca Continental
Jubones		Tobas soldadas	23.2 ± 0.8 Ma (Fisión Track) y 22.76 ± 0.97 (K/Ar) (Pratt y otros, 1997)		Mioceno	Arco volcánico continental
Saraguro/Loma Blanca		Tobas dacítico-riolíticas, lavas andesíticas y rocas volcánico-sedimentarias	* 35.9 ± 0.9 K/Ar (Egüez y otros, en Dunkley y Gaibor, 1997) - 22.76 ± 0.97 Ma, K/Ar (bt) (Pratt y otros, 1997) * 40.0 ± 0.4- 22.5 ± 0.9 Ma, Fission Track (Hungerbühler, 2000)		Eoceno-Oligoceno	Arco Volcánico Continental
Sacapalca			55- 44 Ma (Noble en Jallard y otros, 1990)		Paleoceno-Eoceno Inferior	
Alac-Paute*		Esquistos verdes			Jurásico?	Arco de Islas
El Pan*		Esquistos grafiticos			Jurásico?	Cuenca de tras arco
Upano*		Esquistos verdes			Jurásico?	Arco Volcánico Continental
Sabanilla-Tres Lagunas		Ortogneis y paragneis	200 ± 12 Ma (Rb/Sr) Granito Tres Lagunas 124 ± 37 Ma (Rb/Sr) Unidad Sabanilla 127.3 ± 2.1 Ma (U/Pb) Granito Tres Lagunas (Litherland, y otros, 1994)		Permiano-Triásico	Continental-Anatexia
Chiguinda*		Esquistos grafiticos, cuarcitas, metasamitas			Devonico?	Cuenca Intraeratóica
Agoyán*		Esquistos micáceos			Paleozoico	
INTRUSIVOS						
Batolito Portachuela		Granodiorita-diorita	* 10 ± 1 - 24 ± 5 Ma (K/Ar) (bt-hrb) (Litherland, y otros, 1994) (7 edades) * 17.4 ± 0.2 y 17.8 ± 0.5 Ma, 40Ar/39Ar (bt y hrb) (Ulrich, P.M.A.G.C.A. 2004)		Mioceno	Arco Continental
Intrusivo El Tingo		Granodiorita	50 Ma (Misión Británica, 1972-1980)		Eoceno	Arco Continental
Intrusivo San Lucas		Granodiorita	51 ± 2- 66 ± 4 Ma K/Ar (bt y hrb) (Litherland y otros, 1994)		Paleoceno	Arco Continental

* La posición en tabla no implica posición cronestratigráfica dentro de la era o periodo.

Fig. No. 7.- Columna estratigráfica del arco Saraguro (modificada de la memoria binacional).

El cinturón volcanogénico Calipuy-Saraguro está constituido por dos grupos de rocas: la formación Llama (basal Calipuy), que se correlaciona con la formación Sacapalca de edad Paleocénica; y la formación Porculla (Calipuy superior), que se correlaciona con el grupo Saraguro de edad Oligoceno-miocénica, aflorante al sur del Ecuador.

Los yacimientos epitermales de alta y baja sulfuración regionalmente se localizan en el grupo Saraguro-Porculla y genéticamente están relacionados con intrusivos de alto nivel de edad mayormente miocénica.

Dentro del arco volcánico Saraguro al sur del Ecuador hasta ahora se han localizado más de 40 manifestaciones de mineralización epitermal entre depósitos e indicios.

Ellos se localizan a lo largo de cinturones estructurales, dentro de dos cinturones volcánicos pertenecientes al grupo Saraguro: cinturón de Gañarín y cinturón de Collay-Shingata.

En el cinturón de Gañarín se localizan los depósitos epitermales de baja sulfuración de Gañarín, Cañaribamba y Beroen (L.S.) y los epitermales de alta sulfuración de Quimsacocha y San Francisco (H.S.); en el cinturón de Shingata-Collay se localiza el depósito de El Mozo (H.S.) y los depósitos de El Chorro, Guala-Cerro Colorado, Sig-Sig (L. S.).

Dentro del arco volcánico Saraguro además se localizan los yacimientos de cobre-molibdeno del tipo cobre-porfídico de Chaucha, Gaby y otros, los cuales genéticamente se relacionan con intrusivos de alto nivel de estructura porfídica de edad miocénica.

La faja cuprífera forma parte del gran cinturón metalogénico de Cu-Mo y oro asociado a sulfuros de los Andes sudamericanos, que iniciándose en Chile, atraviesa el Perú y continúa por nuestro territorio hacia los Andes centro y norteamericanos.

En relación a yacimientos de minerales no-metálicos: en esta zona encontramos los yacimientos de caolín más importantes del Ecuador, están localizados en las provincias de Cañar, Azuay y Loja. En esta zona las formaciones Saraguro, Tarqui y Salapa constituidas de rocas volcánicas de composición ácida han sido regionalmente caolinizadas debido a los procesos de meteorización, aunque en algunos sitios la caolinización ha sido producida por soluciones hidrotermales, son de importancia además las arcillas esmectíticas de la cuenca de Loja asociadas a la formación San Cayetano. En la formación Saraguro existen afloramientos de travertino y mármol en forma de diques y sills, los cuales han sido explotados para la elaboración de objetos ornamentales; en la misma formación ocurren afloramientos con indicios de jaspe y otras modificaciones de cuarzo microcristalino como ópalo y calcedonia que en pequeñas cantidades se han explotado para la fabricación de objetos ornamentales,

joyería y adornos. En el área de Oña se han descubierto depósitos de zeolitas.

1.3.4 Zona mineralogénica de la cordillera de Tahuín.

Representa el límite sur de la zona Transversal Puná-Méndez (**ZTPM**). Las rocas más antiguas en los límites de la zona transversal, afloran en el anticlinorio de Tahuín, orientado en sentido perpendicular al cinturón Andino, además por la configuración de ésta estructura, se deduce que su historia se inicia en épocas anteriores al Paleozoico (Fig. No. 8).

Era		Cuaternario	Sistema	Serie	Indice	Potencia (m)	Nombre de la formación	Descripción litológica
Mesozoico	Cretáceo			Pleistoceno	P		Aluvial	Areniscas, gravas, dispuestas a lo largo de los ríos.
Paleozoico	Superior?		Pz2				S. Raspas	Esquistos pelíticos verdes y básicos. Esquistos con cienita y eclogita junto esquistos glaucofánicos y verdosos que se intersectan a garstburgitas serpentinizadas. (El Toro)
	Inferior?							
Precámbrico					Pcm		S. San Roque	Gneises cuarzo - feldespáticos y esquistos granato - muscovíticos de metamorfismo medio a alto.
						n 1000	Grupo Piedras	Gneises, nefibolitas, esquistos verdes y cuarcitas. Esquistos pelíticos metamórficos.

Fig. No. 8.- Columna estratigráfica de Tahuin.

Con granitos que intruyen a las rocas metamórficas de edad precámbrica y paleozoica, se relacionan anomalías radioactivas de U y Th; indicios de hierro, níquel y cobalto se asocian a la corteza de meteorización laterítica. Las lateritas ferruginosas de origen residual se formaron como producto de la meteorización de las peridotitas y harzburgitas El Toro.

Cerca a este sitio se determinaron anomalías para sulfuros con oro, dentro del área Bonanza. Al norte del Perú, junto a la frontera con Ecuador, en rocas metamórficas de edad precámbrica y paleozoica, se localizan los prospectos auríferos de La Macarena y La Colorada.

En relación a yacimientos no-metálicos en los sectores de Capiro y Marcabelí se explotan feldespatos, relacionados a diques que atraviesan los intrusivos graníticos, en los afloramientos, la roca exhibe una textura granítica de color blanco, el material está constituido de feldespato, caolín, cuarzo, muscovita, y bajo contenido de ferromagnesianos.

1.3.5 Zona mineralogénica de la cuenca Progreso.

La cuenca Progreso o Guayaquil, se encuentra limitada al norte por la cordillera de Chongón-Colonche, al este por la cordillera de Mullepungo, extendiéndose al sur hacia el Perú. El basamento de la cuenca está constituido por la formación Piñón que representa la corteza oceánica, la profundidad máxima de la cuenca alcanza los 12000 m sobre la corteza oceánica con discordancia estratigráfica reposan los sedimentos volcano-terrágenos de la formación Cayo; y las tobas silicificadas de la formación Guayaquil, el corte estratigráfico continúa con las calizas arrecifales de la formación San Eduardo, las arenas turbidíticas y olistostromos de los grupos Azúcar y Ancón; en la parte superior de la columna estratigráfica se destacan los sedimentos clásticos deltáicos y pelíticos de las formaciones Zapotal, Dos Bocas y Subibaja; y las moladas de las formaciones Progreso y Puná (Fig. No. 9).

[illegible]

Fig. No. 9.- Columna estratigráfica de la cuenca Progreso.

En la continuación occidental de ésta zona mineralogénica se han descubierto en la región de las Islas Galápagos en el fondo marino, nódulos y concreciones de Fe-Mn con Ni y Co; y, cuerpos de sulfuros masivos en medio de las rocas volcánicas basaltopicricas de la corteza oceánica.

Al sur de la elevación Chongón Colonche están los yacimientos de petróleo y gas natural, relacionados con las formaciones marino-terrestres de edad eocénica superior-miocénica de la cuenca Progreso. Estos yacimientos han sido explotados por más de 100 años, en la actualidad se realizan trabajos de exploración orientados a incrementar las reservas de petróleo y gas del golfo de Guayaquil, los cuales regionalmente se correlacionan con los yacimientos petrolíferos de la cuenca de Talara, localizada al noroeste del Perú.

En relación a yacimientos no-metálicos, en el flanco sur de Chongón Colonche y en la península de Santa Elena, existen yacimientos de calizas de la formación San Eduardo, estas calizas son explotadas y abastecen de materia prima a la fábrica de cemento más importante del país (la cemento Nacional), además de las formaciones cretácicas sedimentarias que afloran alrededor de la ciudad de Guayaquil se explotan arcillas y materiales de construcción, así como depósitos de yeso y bentonitas; a lo largo de la playa se explotan arenas titano magnéticas.

CAPÍTULO II

LOS LINEAMIENTOS Y LAS ZONAS DE DEFLEXION EN EL CONTROL DE LA MINERALIZACION

Las zonas de deflexión transversal dentro de los cinturones plegados son de enorme importancia en el control y localización de yacimientos, distritos y nudos de yacimientos de minerales. En los Andes sudamericanos por su importancia se destacan tres zonas de deflexión transversal (Fig. No. 10):

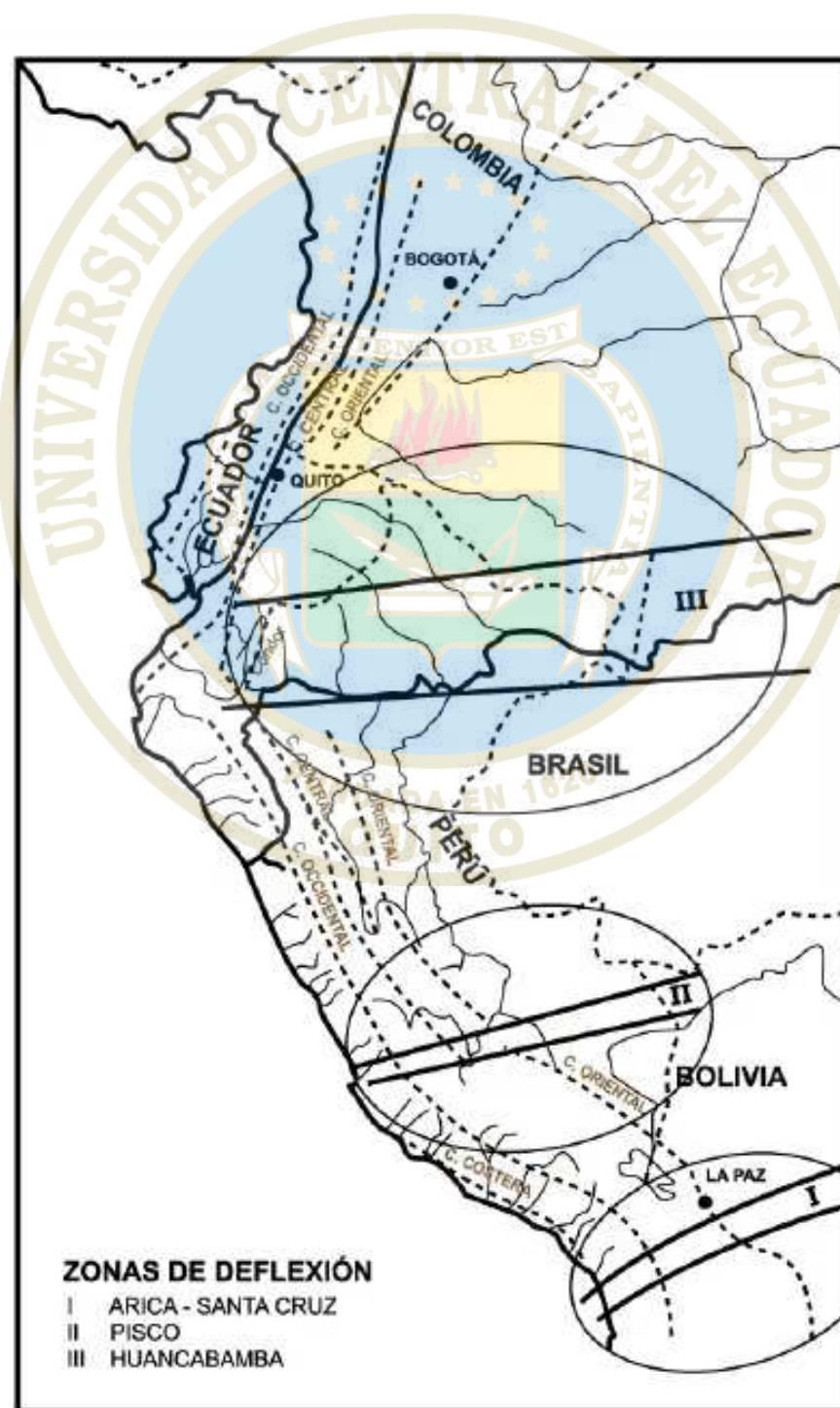


Fig. No. 10.- Zonas de deflexión transversal.

La deflexión de Arica-Santa Cruz (I) es la más importante y la mejor estudiada. En el segmento que comprende el codo (deflexión) de Arica, los Andes centrales cambian significativamente su rumbo y forman un ángulo de 90°, en esta zona, las estructuras de fallas del sistema Andino son cortadas por el lineamiento de Arica-Santa Cruz orientado en sentido transversal.

En la región de Potosí, en la zona del arco central del cinturón andino, en la parte donde las estructuras de la cordillera Real de Bolivia son cortadas por el sistema de fallas de Arica-Santa Cruz, se localizan los yacimientos del nudo de Potosí, con el cual se encuentran relacionados los yacimientos de estaño-wolframio, con mezclas de minerales raros y radioactivos más importantes de América. Hacia el oeste, en una faja localizada en la parte del arco y antearco del cinturón Andino (que abarca los territorios del norte de Chile y sur del Perú) en la zona donde la cordillera Occidental de los Andes chileno-peruanos son cortados por el sistema de fallas de Arica-Santa Cruz, se localizan los yacimientos de Toquepala, Coajone, Cerro Verde y otros en territorio peruano, y más al sur, en un sistema similar, los yacimientos de Chuquicamata, El Abra, Potrerillos, La Escondida y otros en territorio chileno. En su conjunto, estos yacimientos forman un enorme distrito de yacimientos gigantes de Cu-Mo con mezclas significativas de renio y oro.

Avanzando hacia el norte, con la deflexión de Pisco (II), se relaciona el nudo de yacimientos de minerales de cerro de Pasco, en donde se localizan los yacimientos polimetálicos más importantes del Perú y del cinturón Andino, con una elevada producción de plomo, zinc, cobre, antimonio, plata, cadmio y otros elementos menores.

Más al norte tenemos la deflexión de Huancabamba (III), la cual abarca los territorios del norte del Perú y sur del Ecuador entre los 2°30' y 7° de latitud sur. La zona transversal Puná-Méndez (ZTPM) localizada al sur del Ecuador forma parte de esta enorme estructura.

Como se manifestó antes, el territorio del Ecuador ocupa un lugar de transición entre los Andes norticos o del Caribe y los Andes centrales. El límite entre estos dos segmentos del cinturón Andino ésta marcado por una **ZONA TRANSVERSAL** que se inicia en las islas Galápagos, atraviesa el territorio del Ecuador a lo largo de la cordillera submarina de Carnegie y las cordilleras continentales de Chongón-Colonche al norte y Tahuín al sur. Esta zona transversal a la que hemos llamado Puná-Méndez (**ZTPM**), a su vez, es parte de la deflexión de Huancabamba y de una enorme estructura transcontinental, que continúa a lo largo del eje amazónico, atraviesa la plataforma Brasileña, el océano Atlántico y la plataforma Africana.

Las fallas las Palmas-Arenillas-Portovelo, Jubones y Cañar-Carnegie, orientadas en dirección oeste-este, el sistema de fallas diagonal Grijalva de dirección SO-NE, así como el levantamiento de Chongón-Colonche al norte y la cordillera de Tahuín al sur, forman parte de la **ZTPM**. Hacia el sur en el territorio peruano, el sistema de fallas de Huancabamba dispuestas en sentido E-O son el límite sur de esta gran zona de

deflexión; es en esta zona donde las clásicas estructuras andinas que en el norte del Perú tienen una orientación NW cambian a la dirección SW al sur del Ecuador.

En la región suroriental del Ecuador, en la faja donde las estructuras de la cordillera Real y la zona Subandina, localizadas en la parte externa del cinturón Andino son cortadas por la **ZTPM**, se localizan los yacimientos auríferos de Nambija, Guayzimi, Sultana (tipo skarn) y los depósitos de Chinapintza, El Hito, El Zarza, Bellavista (tipo pórfidos); hacia el norte en los últimos años se descubrieron los yacimientos de oro-plata y cobre-molibdeno más importantes del país. Todos los yacimientos del suroriente ecuatoriano, están relacionados a un arco volcánico continental de edad jurásica. De la misma manera en territorio peruano; en esta faja se localizan los yacimientos del distrito aurífero de "Hualgayoc - Cerro Corona" con yacimientos tipo pórfido con cobre molibdeno y oro.

Así mismo en el flanco occidental del cinturón Andino, en la faja donde las estructuras de los arcos volcánicos Celica, Saraguro y la cordillera de Tahuín, son cortados por las fallas transversales Las Palmas-Arenillas-Portovelo, Jubones y Cañar-Carnegie, se localizan los distritos aurífero-polimetálicos de tipo filoniano de: Portovelo-Zaruma, Ponce Enríquez-San Gerardo, los pórfidos cupríferos de Chaucha, Fierro Urco y Gaby; los depósitos argentíferos polimetálicos del distrito de San Bartolomé-Pilzhun, los pórfidos auríferos de La Tigrera, Pucará, Gañarín y San Fernando. En el lado del Perú en esta faja se localizan los siguientes yacimientos y distritos de yacimientos de minerales: yacimiento polimetálico de "Tambo Grande" de exhalación volcánico marina; yacimientos del distrito cuprífero polimetálico, con yacimientos del tipo pórfidos de cobre como "Cañariaco" y "La Granja", pórfidos polimetálicos como "Jehuamarca" y los yacimientos gigantes de oro tipo pórfido aurífero de "Yanacocha" y "Pierina".

La presencia de la **ZTPM** es comprobada además por estudios realizados por la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana, que demuestran que en la zona Subandina, en la cordillera de Cutucú los ejes de los pliegues de la formación Pumbuiza de edad devónica están orientados en sentido E-O, así mismo en los mapas de hipocentros sísmicos se observa que los hipocentros de los microsismos se orientan a lo largo de estructuras E-O, esto se confirma además con datos de levantamiento geológico y observaciones geomorfológicas (Almeida, J.P., comunicación personal). Además en la hoja geológica de Macas a escala 1:100.000, en los bloques levantados, se observa que las rocas metamórficas del basamento de edad precámbrica, tienen el eje de los pliegues orientados en sentido E-O.

Ejemplos de zonas de deflexión similares a la descrita se observan en otros cinturones plegados de la corteza terrestre, como en Los Caúcazos, Los Urales, Tian-Shan y otros. Lo expuesto, permite hacer una conclusión:

La localización de yacimientos, distritos y nudos de yacimientos de minerales en los sitios donde se produce el cruce de dos sistemas de estructuras, constituye una regularidad en la distribución de yacimientos de minerales dentro de los cinturones

plegados de la corteza terrestre.

Por otro lado, los yacimientos del *distrito de Nambija-Guayzimi* en base a los estudios que se han hecho, podrían estar relacionados con fallas profundas que atraviesan la corteza terrestre y se conectan con el manto. Como resultado de los microanálisis para el oro, realizados con el método Rengeno-Espectral, se pudo determinar que las muestras del yacimiento de Nambija (8) tienen un contenido alto de mercurio que fluctúa entre 0.62 - 0.88% (Tabla No. 1).

RESULTADO DE MICROANÁLISIS RENGENO
ESPECTRAL PARA ORO

Muestras N°	Contenido Au%	MEZCLAS								CALIDAD	
		Hg	Ag	Cu	Se	Te	Sb	Bi	SUMA	Prueba	Quilataje
1	97.34	0.66	1.79	-	-	-	-	-	99.79	981.6	23.56
	97.88	0.70	1.75	-	-	-	-	-	100.33	982.4	23.57
2	97.35	0.71	1.72	-	-	-	-	-	99.76	982.6	23.58
3	97.40	0.62	1.73	-	-	-	-	-	99.75	982.5	23.58
4	97.54	0.67	1.73	-	-	-	-	-	99.94	982.6	23.58
5	97.35	0.88	1.73	-	-	-	-	-	99.96	982.5	23.58
6	98.25	0.71	1.75	-	-	-	-	-	110.71	982.5	23.58
7	97.5	0.70	1.74	-	-	-	-	-	99.99	982.4	23.57

RESULTADO DE MICRO ANÁLISIS LASER ESPECTRAL

MINERAL	Co	Cu	Ni	Pb	Mo
PIRITA	0.001	0.003	-	-	
PIRITA	0.003	-	-	-	-
CALCOPIRITA	-	-	0.01	TRAZAS	0.3
CALCOPIRITA	-	-	-	-	0.3

Tabla No. 1.- Resultados de microanálisis para oro, de muestras de Nambija, realizados con el método Rengeno-Espectral

Estudios realizados por científicos rusos indican que el mercurio está relacionado con focos profundos, localizados en el manto. Esto es confirmado por el alto porcentaje de mercurio que contienen las Kimberlitas (hasta n. 10⁻⁴ %) y la presencia de cinabrio en el tubo diamantífero Leningrado. Se conoce que en los gases desprendidos de los volcanes de las islas Hawayanas, el mercurio se detecta en significativas cantidades. Los focos magmáticos basálticos de estos volcanes tienen su origen en el manto.

La suposición de que el mercurio se genera en el manto superior tiene un fundamento real. Esto se comprueba además, por el alto contenido de mercurio, detectado en las rocas de las zonas de "rifts" de las islas Azores de origen mántico, así como el alto

contenido de mercurio en los condritos. Se ha demostrado que los yacimientos de mercurio o aquellos que tienen un alto contenido de mercurio, como sería el caso de Nambija, están relacionados con fallas profundas.

Se ha comprobado que el mercurio se origina en el manto y asciende a la corteza terrestre debido a los procesos de desgasificación de las zonas profundas del planeta.

Se considera que el manto primario tiene una composición cercana a la de los meteoritos de piedra (condritos) cuyo contenido de mercurio es significativo $2.10^{-4}\%$ ante un Clark (contenido medio en la corteza terrestre), de $4.5 \times 10^{-6}\%$, sin considerar a los meteoritos carbonosos, que tienen un contenido de mercurio aún más alto.

Como lo señala en su libro (Sheglov A. 1987) en los últimos tiempos han aparecido datos muy interesantes, relacionados al origen profundo de algunos yacimientos de oro. Así, por ejemplo, para la mineralización de tipo oro-sulfúrico característica para los yacimientos del occidente de Uzbekistan, localizados en rocas sedimentarias, se demuestra por datos de análisis isotópicos de azufre, que este tiene un origen profundo (mántico), la relación isotópica del azufre de los sulfuros de estos yacimientos, corresponde al Standard meteorítico.

Por otra parte se llega a la conclusión de que la mineralización de los yacimientos oro-argentíferos relacionados con el cinturón volcánico circumpacífico tiene su origen en el magma basáltico del manto, el cual ha evolucionado al ascender hasta el apareamiento de derivados de composición ácida.

En el plano de la metalogenia no-lineal (relacionada con el manto) tienen mucho interés las investigaciones relacionadas a la zonificación metalogénica del segmento circumpacífico, las cuales demuestran que la evolución del magmatismo y la metalogenia endógena en este cinturón estrechamente se relaciona con procesos de formación de estructuras profundas de la corteza terrestre y al manto superior y reflejan la regularidad de estos procesos. La estructura circumpacífica, dentro de la cual se localiza el Ecuador es única en la corteza terrestre por su extensión (mayor a 40 000 k.). Una de las características de esta estructura es la estrecha relación de los procesos que tienen lugar en ella, los cuales reflejan muchos indicios característicos para la metalogenia no-lineal, el gran rol de los procesos mánticos y la formación de yacimientos que rompen las reglas de la metalogenia clásica.

Los yacimientos del distrito de Nambija-Guayzimi, tienen características propias. El oro se deposita en la segunda etapa de mineralización, es de origen hidrotermal, asciende junto con los sulfuros y se deposita en último lugar, sólo esto explica su alta pureza (23.57 Kilates). Además ninguno de los sulfuros contiene mezclas de oro. Las pocas mezclas que contiene el oro están constituidas de plata 1.72 - 1.79% y mercurio 0.62 - 0.88%. La presencia de mercurio como se señaló antes, indica su origen localizado posiblemente en el manto.

Los indicios señalados indican la posible relación de los yacimientos del distrito de Nambija-Guayzimi, con fallas profundas de dirección transversal y a la

mineralización con focos localizados en el manto.

En conclusión, en el territorio del Ecuador la zona transversal Puná-Méndez (ZTPM) es la que mejores posibilidades presenta para el descubrimiento de nuevos yacimientos de minerales principalmente auríferos y de cobre-molibdeno.

Las regularidades señaladas, como son la asociación de la mineralización a determinadas formaciones de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como a las estructuras transversales características para esta zona, es necesario tenerlas presentes al momento de planificar trabajos de búsqueda, exploración y evaluación de yacimientos de minerales en esta zona. (Paladines, A. 1.989).

Este pronóstico científico se llega a comprobar con el descubrimiento de dos cinturones metalíferos: uno de cobre-molibdeno y otro de oro-plata realizado por empresas canadienses en la última década. Los dos cinturones se localizan en la zona suroriental, dentro de la **ZTPM**, genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad jurásica.



CAPÍTULO III

EPOCAS MINERALOGENICAS

En base a dataciones de depósitos y yacimientos minerales del Ecuador, (Pillajo E., 1.989), y dataciones posteriores realizadas por (Chiaradia, M. & Fontboté, L., 2.009) y otros, se procedió a plotear estas ocurrencias, mismas que sirvieron de base para la elaboración de los mapas donde se representa la edad de las mineralizaciones.

3.1 EPOCA MINERALOGENICA DEL PALEOZOICO

Las rocas metamórficas de la cordillera Central contienen esquistos bituminosos, así como muchos lentes y vetillas de cuarzo con oro; la falta de una investigación detallada de la secuencia impide la consideración de su metalogenia en detalle. Algunas de las mineralizaciones parece que son contemporáneas con el

metamorfismo y pueden ser consideradas como mineralizaciones sinécticas. Al sur de Saraguro fueron encontrados yacimientos de oro asociados con mineralizaciones. A lo largo de una prospección geoquímica de minerales pesados; esta fue la primera vez en el Ecuador que un reporte de tal paragénesis fue dado. Posteriormente este tipo de mineralización fue descubierto en la zona de Sigsig. Por estudios realizados, este tipo de paragénesis parece estar relacionado con granitos ácidos greisenizados de edad posterior (Fig. No. 11).

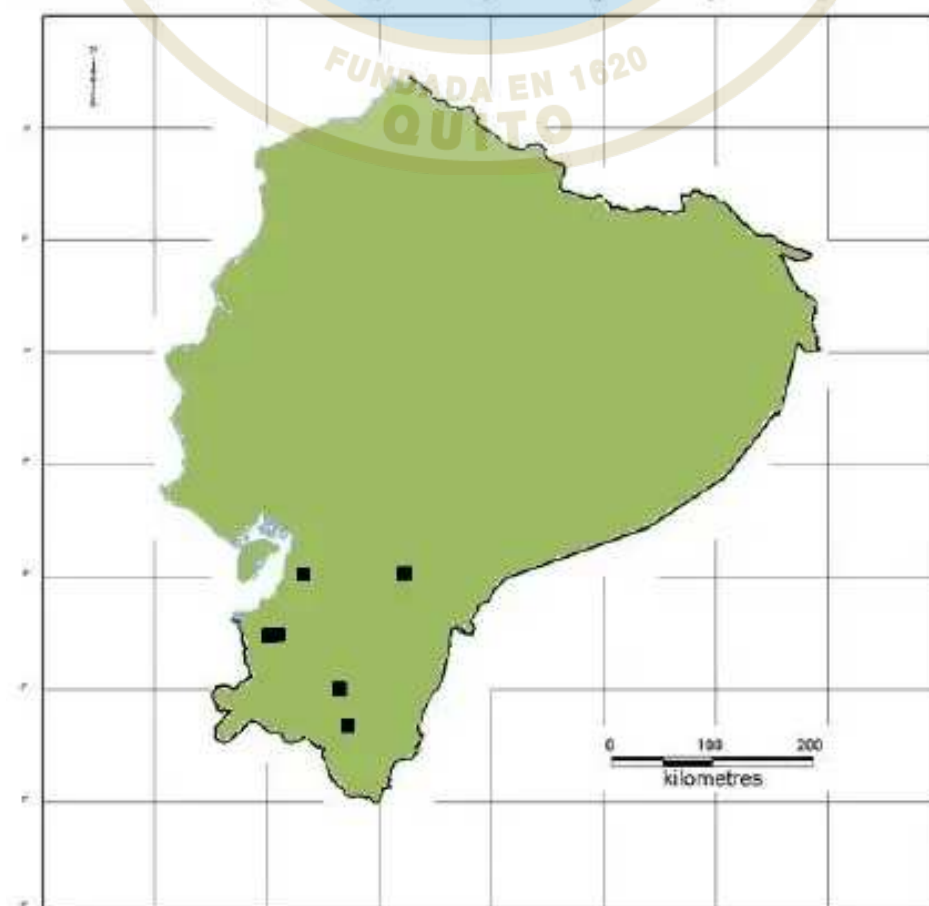


Fig.No. 11.- Mineralogenia del Paleozoico

Es importante anotar que las rocas metamórficas de edad paleozóica del Perú, Colombia y Venezuela, equivalentes a las de la cordillera Real del Ecuador contienen cantidades relativamente importantes de mineralización; por ejemplo en Venezuela las rocas metamórficas contienen sulfuros masivos volcanogénicos (SMV), los cuales ocurren en la parte oeste de la secuencia volcano-sedimentaria metamorfizada del Paleozoico. Goossens (1.976), sugiere que el depósito de Cerro de cobre en Colombia y el de Sigsig en el Ecuador podrían ser depósitos de sulfuros masivos formados en ambientes geológicos similares. De igual manera, en Perú en rocas metamórficas de la cordillera de la Costa que se correlacionan con las rocas de la cordillera de Tahuín se ha localizado mineralización de oro.

En estudios realizados por la *misión Británica* (1.994) en las divisiones de rocas de la cordillera Real señalan la posibilidad de encontrar depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (SMV) y de contacto metasomático skarn. El reporte señala además la existencia de rocas ultrabásicas, lo que abre la posibilidad de localizar depósitos magmáticos de Cu-Ni y elementos del grupo del platino (EGP).

En relación a depósitos de origen metamorfogénico, originados como producto del metamorfismo de rocas sedimentarias en la cordillera Real existen mineralizaciones de grafito, mármol, pizarras, cuarcitas y otros.

3.2 EPOCA MINERALOGENICA DEL MESOZOICO-TERCIARIO

Desde el punto de vista mineralogénico, el desarrollo del cinturón móvil de los Andes ecuatorianos durante esta época es de importancia primordial debido a que la mayoría de los depósitos minerales e indicaciones importantes de mineralización en el Ecuador ocurren asociadas a los diferentes eventos de la evolución del cinturón Andino.

Esta época mineralogénica es policíclica porque períodos de mineralización reiterativos tuvieron lugar desde los tiempos jurásicos, los cuales continúan en la actualidad.

A esta época se la divide en las siguientes sub épocas:

3.2.1 Sub época mineralogénica del Jurásico-Cretácico

Durante este tiempo, la parte occidental del cinturón móvil ecuatoriano fue llenado por magma volcánico básico (Goossens y Rose 1.973). Estas rocas contienen una importante cantidad de metales diseminados y distribuidos muy irregularmente Cu, Ag, Au, Pb, Zn, Ba. Rocas ultrabásicas ocurren dentro de ese complejo especialmente en Colombia donde son conocidas por su contenido de mineralización de níquel (como en cerro Matoso). También se conocen depósitos de ilmenitas, magnetitas y

magnetita-titanífera en algunas partes. Otros depósitos contienen cromita poliforme y mineralización diseminada de Co-Cr-Ni-Pt.

En el Ecuador sin embargo ninguno de estos metales diseminados que se acumulan en esta época parece que se concentraron en cantidades económicas. Algunos de los placeres de oro y platino de origen aluvial del noroccidente del país, así como los placeres marinos de titanio-magnetita con trazas de cromita, níquel y cobalto, localizados a lo largo de la costa, al norte del golfo de Guayaquil se originaron como producto de la erosión de las rocas que constituyen la corteza oceánica y de cuerpos ultrabásicos emplazados en el flanco occidental de la cordillera Occidental, o en el límite de esta cordillera con la zona costanera. A lo largo de un sistema de fallas que constituye el límite entre la cordillera Occidental y la zona Costanera y que representa la continuación del sistema de fallas Atrato-San Juan de Colombia, se debe realizar la búsqueda de mineralizaciones asociadas a intrusivos ultrabásicos.

En la cuenca Oriental del cinturón móvil de los Andes ecuatorianos durante el Triásico superior, se produce un volcanismo constituido de toleitas, tobas y brechas andesíticas, en el jurásico inferior la cuenca fue rellenada por sedimentos de composición carbonática, los cuales en dirección occidental son reemplazados por facies volcánicas. En el Jurásico Superior continua la formación de volcánitas, paralelamente se produce la intrusión de los batolitos de Zamora, Abitagua y La Bonita, que ocurre a lo largo de un sistema de fallas localizadas en el límite entre la cordillera Real y la zona Subandina. En las zonas de contacto entre las rocas triásicas y jurásicas skarnificadas y el batolito granítico de Zamora se han descubierto en 1.980 los yacimientos del distrito aurífero de Nambija- Guayzimi-Sultana de edad jurásica.

En Nambija y Guayzimi la mineralización está asociada a fajas de skarn, dentro de las cuales los cuerpos mineralizados están constituidos por bolsonadas y lentes; y, la mineralización distribuida en forma diseminada y en vetillas. Con intrusivos postbatolíticos de edad jurásica superior está relacionada la mineralización de cobre-molibdeno en el cinturón cuprífero de Mirador, así como la de oro-plata en el cinturón aurífero de Fruta del Norte, los dos cinturones están ubicados dentro del arco volcánico continental de edad Jurásica (Fig. No. 12).

Rodados con hematita y magnetita masivas, acompañados de sulfuros han sido encontrados en las quebradas que desembocan en el río Nambija. En la quebrada de Campana también descubrimos rodados con sulfuros de plomo y zinc con cantidades menores de cobre y oro. Estos dos tipos de paragénesis parece que están asociados a zonas de skarn, en todo caso son de gran importancia y requieren ser especialmente investigados.

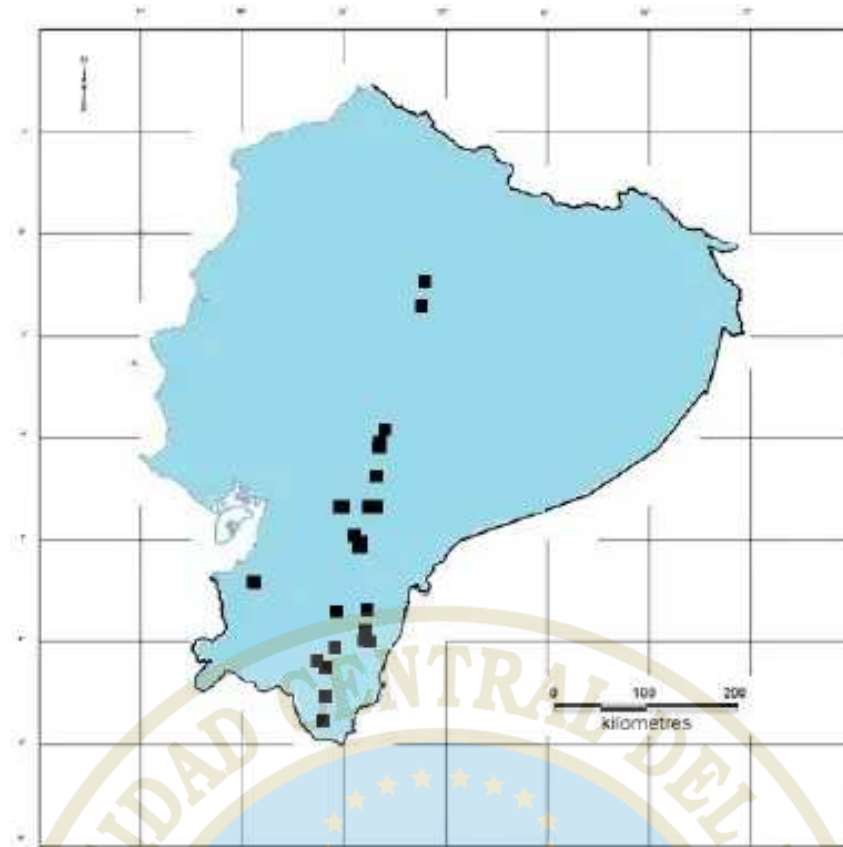


Fig. No. 12.- Mineralogía del Jurásico

En la zona Subandina y en ramales secundarios de la cordillera del Cóndor en la zona suroriental, dentro de las volcánicas Piuntza y Misahuallí así como en el batolito de Zamora, se ha localizado mineralización aurífera asociada a intrusivos porfiríticos de alto nivel, se trata de cuerpos en forma de stockwork con la mineralización distribuida en fisuras, vetillas y diseminada, orientada a lo largo de estructuras de fallas (campo minero Pachicutza).

En los últimos estudios realizados por la misión Británica (1.994) en las divisiones de rocas de la cordillera Real, señalan la existencia de mineralizaciones relacionadas a: sulfuros masivos volcanogénicos, skarns, intrusivos granodioríticos, pórfidos, así como a mineralizaciones epitermales hospedadas en zonas de cizallamientos.

El arco volcánico Alao, unidad constituida por metalavas, esquistos verdes, esquistos pelíticos y grafiticos, cuarcitas y mármoles, ha sido interpretada como un “arco de islas oceánico con presencia subordinada de sedimentos de aguas profundas”. Dentro de este arco se documentó la existencia de tres depósitos de **SMV** de edad jurásica: Las Pilas, Guarumales y Cruzacta (PRODEMINCA, 2.000)

En la cuenca sedimentaria marina oriental, asociados a las formaciones de esta sub época mineralogénica se encuentran relacionados los yacimientos de petróleo del nororiente, yacimientos de petróleo pesado y asfalto, fosforitas, materias primas para producir cemento, cerámica y vidrio, rocas ornamentales y mármol; se trata de las formaciones Santiago y Chapiza de edad jurásica; y, las formaciones Hollín y Napo de edad cretácica.

3.2.2 Sub época mineralogénica del Cretácico Superior-Mioceno.

Durante esta etapa intermedia del desarrollo del cinturón móvil Andino, ocurrieron importantes mineralizaciones, ellas incluyen el tipo cobre porfídico diseminado de mineralización con las vetas polimetálicas, cubriendo típicamente los sistemas porfídicos y los depósitos de pórfidos auríferos (Fig. No. 13).

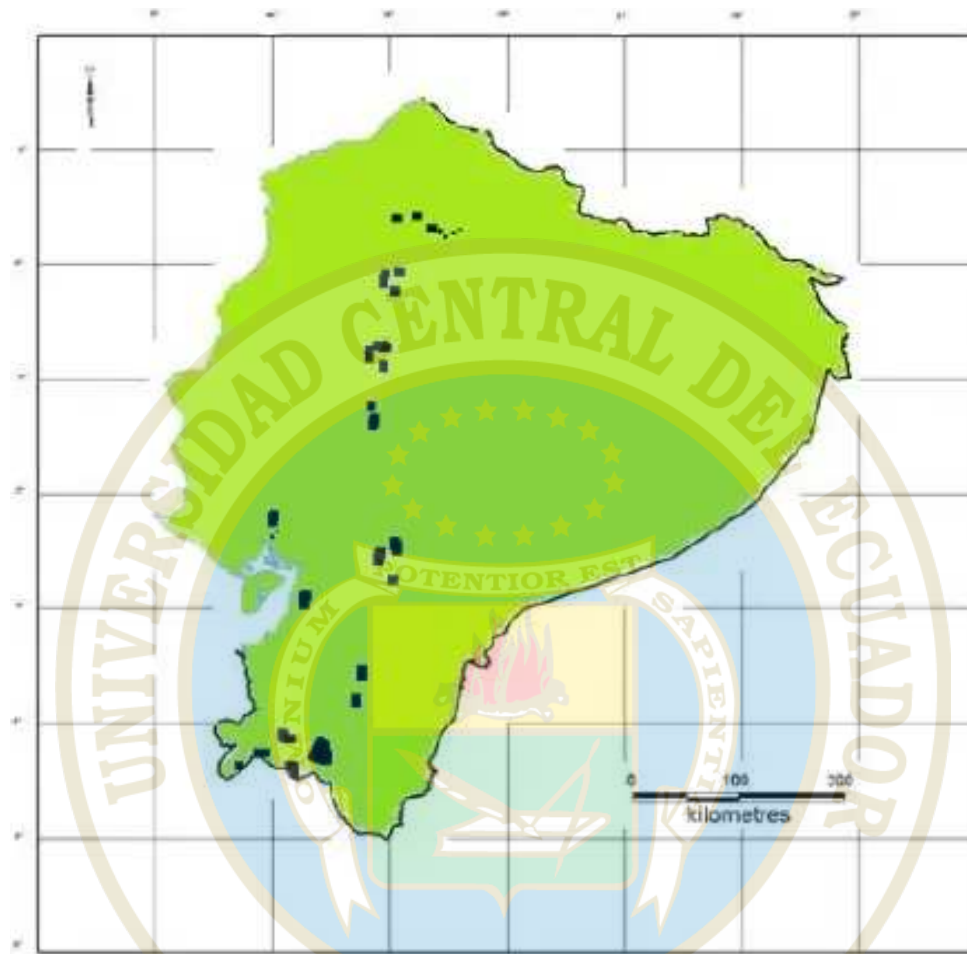


Fig. No. 13.- Mineralogía del Cretácico

Provincia del cobre porfídico y depósitos asociados. La localización de la mineralización de cobre se dispone en un largo y angosto cinturón en los declives occidentales de la cordillera Occidental, la mineralización está genéticamente asociada a pequeños intrusivos de alto nivel de estructura porfírica y edad miocénica.

Esta provincia realmente forma parte de un enorme cinturón que se extiende a lo largo de toda la costa occidental de América. Los depósitos incluidos en esta unidad son representativos de la época mineralogénica del Neógeno, relacionada con la orogenia Laramídica. Dos depósitos económicamente potenciales en Ecuador son el de Chaucha y Junín. Otros prospectos interesantes son los de Río Playas, Fierro-Urco, El Huato, Los Linderos, El Torneado, Telimbela, Chazo Juan y otros.

En Chaucha el portador de la mineralización es un pórfido cuarcífero de edad miocénica, la roca de caja es una tonalita.

En la zona Austral, mineralización aurífera epitermal de alta sulfuración (H.S) y baja

sulfuración (L.S) regionalmente se localiza dentro del arco volcánico Saraguro; y, genéticamente se relaciona a intrusivos de alto nivel de edad mayormente miocénica.

En el arco volcánico Saraguro hasta ahora se han localizado más de 40 manifestaciones de mineralización epitermal entre depósitos e indicios. Ellos se localizan a lo largo de corredores estructurales, dentro de dos cinturones volcánicos pertenecientes al grupo Saraguro: cinturón de Gañarín y cinturón Collay-Shingata.

Dentro del cinturón de Gañarín se localizan los depósitos de Gañarín, Cañaribamba y Beroen (L.S) y los de Quimsacocha y San Francisco (H.S); dentro del cinturón de Collay-Shingata se localiza el depósito de El Mozo (H.S) y los depósitos de El Chorro, Gima-Cerro Colorado, Sigsig y otros (L.S).

En asociación con la mineralización descrita arriba, hay muchas ocurrencias de Pb-Zn, Ag-Au (con Cu) en forma de vetas y rellenando fracturas, las cuales incluyen los yacimientos polimetálicos de los distritos de Portovelo-Zaruma (L.S) y Ponce Enríquez-Molleturo, con mineralización de cuarzo con pirita, calcopirita, esfalerita, oro nativo, galena argentífera, telururos y arseniuros de plata y oro.

Como producto de la exploración de minerales llevada a cabo, en la parte central y sur de la cordillera Occidental de los Andes, se descubrió un tercer tipo de mineralización asociado a **SMV**. Mineralizaciones de este tipo con Cu, Zn, Pb y (+/-) Au son los yacimientos del distrito minero de Macuchi-Sigchos-La Plata, a los cuales se los clasifica como sulfuros masivos volcanogénicos (estratoligados o estratiformes). Otro tipo de mineralización está relacionada con intrusivos de alto nivel de estructura porfídica, se trata de depósitos del tipo cobre porfídico y pórfido aurífero, cuya mineralización está asociado a vetas polimetálicas, tubos de brecha y rellenos de fracturas. Las cuales se localizan en las zonas periféricas y forman dos fajas mineralizadas, una cuprífera y otra polimetálica, localizadas en la cordillera Occidental en la parte sur del país y principalmente dentro de la **ZTPM**.

En la cordillera Occidental y en la cuenca Costanera en este tiempo se formaron importantes yacimientos de materias primas para la producción de cemento y cerámica, rocas ornamentales y mármoles, arcillas, caolines y bentonitas; y, en las cuencas intermontanas de Biblián-Azoguez y Loja-Malacatos yacimientos de lignitos, arcillas, zeolitas, travertinos y yeso.

3.2.3 Sub época mineralogénica del Plioceno-Holoceno.

Durante esta última, pero aún activa etapa de desarrollo del cinturón móvil de los Andes ecuatorianos, muchos depósitos de minerales fueron formados. La principal mineralización Plioceno-pleistocénica en el Ecuador está constituida por sulfosales que llevan plata, plomo, zinc y +/- Cu y Au en vetas y rellenos de fisuras, buenos ejemplos de esto, son Pilzhum, Gualleturo y San Bartolomé. La mineralización típica consiste de tenantita-tetrahedrita, proustita, pirargirita, freibergita, galena, pirita y calcosina con menores cantidades de oro nativo. Durante el Pleistoceno,

mineralizaciones de pirita y marcasita fueron depositados junto y/o epigenéticamente como una consecuencia de la actividad volcánica. Este es el tipo exhalativo-volcánico y un buen ejemplo es el depósito de San Fernando (Goossens 1.972).

En los últimos años han sido descubiertos varios depósitos auríferos relacionados genéticamente con cuerpos subvolcánicos e intrusivos hipoabisales de estructura porfirítica.

Dos depósitos, se localizan en la zona Sur-occidental y uno en la zona Sur-oriental, la mineralización está distribuida en forma diseminada y en vetillas, constituyendo stockworks localizados en la parte apical de intrusivos de composición granítica o en rocas andesíticas y riolíticas, estos macisos y cuerpos subvolcánicos atraviesan formaciones volcánicas del Cretácico-Mioceno, por lo que la mineralización puede ser considerada de edad postmiocénica.

Una particularidad en la ubicación de estos depósitos, es que ellos se encuentran localizados tanto en el lado occidental como oriental de la cordillera Real, dentro de la **ZTPM** (Fig. No. 14). Estos depósitos se investigan en la actualidad, sin embargo debido a su localización regional, se puede deducir que su emplazamiento debe estar relacionado con fallas profundas de dirección E-0, paralelas a las estructuras típicas de la zona transversal.

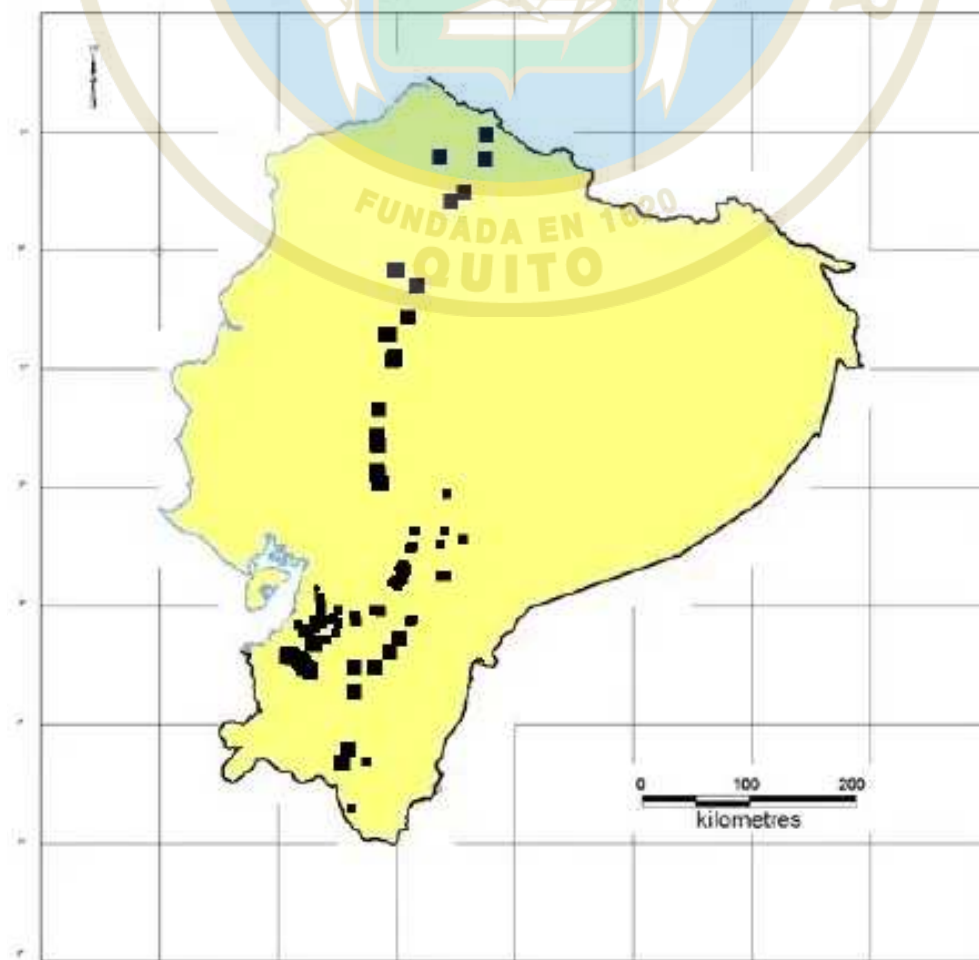


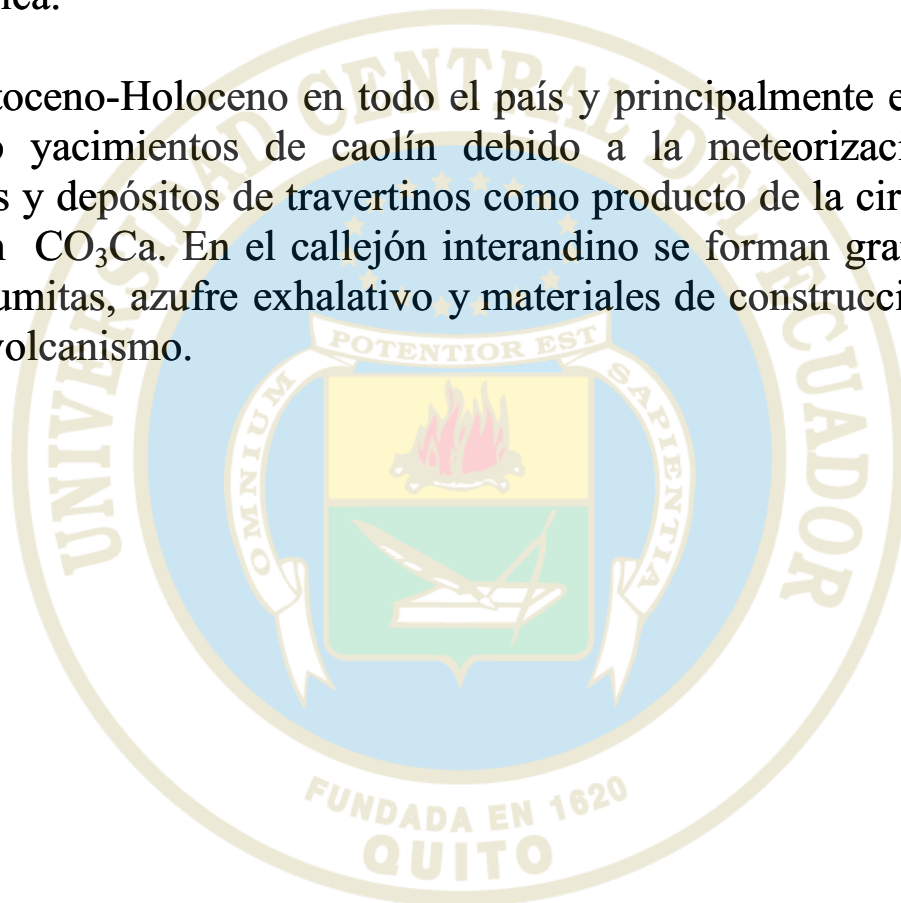
Fig. No. 14.- Mineralogía del Terciario

Durante el Plio-Pleistoceno numerosos depósitos de placeres especialmente de oro-

platino y titanio-magnetita se formaron en el Ecuador. Estos placeres están distribuidos en todo el país y han sido formados como producto de la acción geológica de los ríos, los glaciares y el mar.

En tiempos recientes, un gran número de fuentes termales, termo-minerales y depósitos de sulfuro volcánico nativo han sido formados y aún siguen formándose especialmente desde la latitud 2°30' sur hacia el norte, esto es en la parte central y norte de los Andes ecuatorianos, en donde el volcanismo permanece activo en la actualidad. Frente a las Islas Galápagos en el fondo marino en tiempos recientes se han formado nódulos de hierro y manganeso, con mezclas de cobre y níquel; así como depósitos de sulfuros masivos singenéticos intercalados en las rocas volcánicas de composición básica.

Durante el Pleistoceno-Holoceno en todo el país y principalmente en la zona Austral se han formado yacimientos de caolín debido a la meteorización de las rocas volcánicas ácidas y depósitos de travertinos como producto de la circulación de aguas termales ricas en CO_3Ca . En el callejón interandino se forman grandes depósitos de piedra pómez, pumitas, azufre exhalativo y materiales de construcción genéticamente relacionados al volcanismo.



BIBLIOGRAFÍA

- B. G. R. (Alemania) CODIGEM. “Informes técnicos de Investigaciones de Materias Primas no-metálicas en el Ecuador”. 1993.
- B. R. G. CODIGEM. “Inventario de materiales de construcción en el área de Quito”. Tomos I y II. 1990.
- Consejo Provincial de Pichincha. “Plan Maestro de Pichincha”. Quito. 1984.
- “Estadísticas del Banco Central del Ecuador”, Quito 2009
- “Estadísticas de la Dirección Nacional de Minería”, Quito 2010
- Eriomín, N. “Yacimientos de minerales No Metálicos”. Editorial Universidad de Moscú. Moscú, Rusia. 2007.
- Jain, V., Lomize, M. “Geotectónica con Bases de Geodinámica”. Editorial KDY, Moscú, Rusia. 2005.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. “Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica”. Madrid 2000.
- Memorias de los cursos internacionales de posgrado en Metalogenia: VI-VII- VIII- IX- X-XI- XII-XIII-XIV-XV-XVI-XVII-XVIII- XIX- XX- XXI- XXII., 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002. Editorial Universitaria. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Memorias de la Primera Convención Nacional del Petróleo. Universidad Central. Quito 1974.
- Paladines A., Sanmartín H. “Primer Mapa Metalogénico del Ecuador”. Escala 1:1.000.000 Edición IGM. 1980
- Paladines A. “Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador”. Quito, Mañana Editores, 1989.
- Paladines A., Rosero G. “Zonificación Mineralogénica del Ecuador”. Quito 1996.
- Paladines A. “Los Recursos no Renovables del Ecuador Base para la Planificación y Ordenamiento”. Editorial Universitaria. Universidad Central Quito 2005.
- Paladines A. “Zonificación Geotectónica y Metalogénica de los Andes Sudamericanos”. Universidad Central Quito. 2001.
- Paladines A. “Zonificación Geotectónica y Metalogénica de los Andes Centroamericanos”. Universidad Central. Quito. 2002.
- Richisarm Group “Directorio Energético del Ecuador”. Quito 2010
- Wolf T. “Geografía y Geología del Ecuador”. Alemania, Leipzig. 1892.

PARTE II

GEOLOGÍA DEL ECUADOR



INTRODUCCIÓN

El estudio de la geología del Ecuador se inicia a fines del siglo XIX, con el concurso de eminentes científicos alemanes. En 1892 T. Wolf publica su obra “Geología y Geografía del Ecuador”, la cual va acompañada del primer Mapa geológico del país. En la primera mitad del siglo XX, en las cuencas costanera y oriental se intensifica la búsqueda y exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo se publican muchos trabajos de investigación, artículos y monografías, sobre la geología de estas dos cuencas (Wasson Th.; Sinclair J., 1.927; Oppenheim H., 1.943; Tshopp H., 1.945-1.956; Thalman H., 1.943-1.947 y otros).

En 1.965 otro destacado científico Alemán W. Sauer, luego de trabajar en el Ecuador por más de dos décadas, publica su obra “Geología del Ecuador” y un nuevo mapa geológico del Ecuador a escala 1:1.000.000. En 1.962 se crea el Servicio Nacional de Geología y Minas del Ecuador y se inicia en forma sistemática y planificada el levantamiento del Mapa geológico del país a escala 1:100.000. Además con el concurso de las Naciones Unidas y algunas misiones extranjeras se inicia la exploración planificada y sostenida del territorio nacional.

A partir de 1.960 el conocimiento geológico del Ecuador se enriquece con las contribuciones y publicaciones: Instituto Francés del Petróleo “Mapa Geológico del Ecuador”, a escala 1:1.000.000 1.970; P. Goosens “Mapa de Yacimientos e Indicios de Minerales Metálicos y No-Metálicos del Ecuador” 1.972; A. Paladines, H. San Martín “Mapa Metalogénico del Ecuador” 1.980; J. Baldock “Mapa Geológico y Geología del Ecuador” 1.982; A. Paladines “Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador” 1.989 y otros.

Durante este tiempo la explicación científica de los diferentes procesos geológicos, ocurridos en el desarrollo de los Andes ecuatorianos cambió sustancialmente, iniciándose con la teoría estática del Geosinclinal, hasta la concepción dinámica de la Tectónica de Placas. Estos trabajos regionales han contado con el aporte fundamental de publicaciones como las de: Henderson y Lonsdale (1.978); Feininger (1.980) y otros como los precursores, hasta las de: Aspend, Litherland, McCourt (1.992, 1.995); Eguez, Maroco, Perez (1.991); y otros, así como las publicaciones de los Mapas Geológico y Tectono-Metalogénico de la misión Británica (1.994).

En 1.996 aparece el libro “Zonificación Mineralogénica del Ecuador” A. Paladines, G. Rosero. En esta obra en forma codificada se presenta cerca de un millar de indicaciones entre yacimientos, depósitos, prospectos e indicios de minerales, así como la descripción de los principales yacimientos y distritos de yacimientos de minerales del país.

En junio del 2.000, aparece un trabajo capital “Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador”, publicado por el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental

“PRODEMINCA”. Esta obra consta de 5 tomos y fue ejecutada por el British Geological Survey (BGS) y la Dirección Nacional de Geología del Ecuador (DINAGE). En este trabajo se hace una evaluación de los principales distritos de minerales, así como del potencial de minerales metálicos del país. Contiene guías de exploración para depósitos epitermales de alta y baja sulfuración H.S. y L.S, para sulfuros masivos alojados en volcánicas y para sistemas porfídicos. Además contiene un breve análisis socioeconómico, ambiental y legal relacionado con los distritos y depósitos estudiados.

En septiembre del 2.004 se publica la obra La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo (Baby P., Rivadeneira M., Barragán R.), esta obra es un compendio de artículos sobre la estratigrafía, estructura y evolución geodinámica de la cuenca Oriental, así como de la historia de la exploración de los principales campos petroleros del Oriente ecuatoriano.

En enero del 2.005, se publica Los Recursos No-Renovables del Ecuador Base para la Planificación y Ordenamiento, A. Paladines. En esta obra se describe los recursos minerales del Ecuador: minerales metálicos, las rocas y minerales industriales (RMI), las aguas termales y minerales y el petróleo, así como los proyectos que se pueden desarrollar en las diferentes regiones del país.

En abril del 2.005, aparece la monografía Geología de Ecuador y Perú entre 3 y 6 grados sur en el marco del proyecto multinacional Andino-Geociencias auspiciado por los gobiernos de Canadá, Perú y Ecuador, la cual es un importante aporte para el conocimiento de la geología en la zona de transición de los Andes nórdicos a los Andes centrales.

CAPÍTULO IV

ECUADOR EN EL CONTEXTO GLOBAL Y REGIONAL

Hace 51 años la ex - Unión Soviética lanzó el primer Sputnik al cosmos; con este acontecimiento se inició la conquista del espacio y una nueva era en el desarrollo de la humanidad. Luego vendrían nuevos e innumerables éxitos con el lanzamiento de naves dirigidas, que culminaron con el envío del primer hombre al Cosmos (Yuri Gagarin). Casi simultáneamente se realizó el lanzamiento del Lunajod, una nave dirigida desde la Tierra, que descendió en la Luna (alunizó). Luego realizó algunas perforaciones y trajo de vuelta las muestras de rocas lunares a la Tierra.

Paradójicamente a esa fecha conocíamos muy poco sobre el origen y evolución de la Tierra. Se desconocía en donde se originaba la corteza Terrestre. Se sabía muy poco sobre la Geología de los mares y océanos.

Es solo en la década de los 60 del siglo XX, en que, debido al adelanto científico-técnico, el hombre puede descender a los fondos oceánicos y estudiarlos. Grupos multidisciplinarios de geólogos, especializados en Geofísica, Geoquímica, Sedimentología, Petrología, Tectónica, Yacimientos de Minerales, Paleontología, etc., descienden a los fondos oceánicos en naves bien equipadas. Se inicia la investigación y monitoreo de los mismos, en especial de las dorsales centro-oceánicas y de los bordes circumpacíficos.

Con el objeto de perforar y obtener muestras de los fondos oceánicos, se construyó un buque especial, con tecnología de punta, el Glomar Challenger, el cual durante 15 años, entre 1.968 – 1.983, realizó 96 viajes a través de todos los océanos, con un recorrido mayor a 600.000 k., durante el recorrido realizó 1.092 perforaciones que produjeron más de 96 k. de muestras, de las cuales se obtuvo información en todas las ramas de las ciencias de la Tierra de un valor incalculable.

Las investigaciones realizadas, permitieron comprobar, que la corteza Oceánica se origina en las dorsales centro-oceánicas. Con la información obtenida, se realizaron cortes más exactos de la Tierra (desde la superficie hasta el núcleo). Se descubrió que, debido principalmente a procesos de diferenciación magmática, en el manto de la Tierra se originan las corrientes de convección, mismas que a su vez originan el movimiento de las placas que constituyen la corteza terrestre. Es precisamente en los lugares donde las corrientes de convección ascienden y se separan, en donde se originan las dorsales centro-oceánicas, la corteza Oceánica y se produce la separación de las placas.

La datación de las muestras, permitió demostrar, que los fondos oceánicos son geológicamente jóvenes, con edades que no superan los 160 millones de años, aspecto que contrasta con las dataciones de la corteza Continental, cuya edad supera los 4.000 millones de años. De esta manera se confirmó, que los fondos oceánicos se expanden (crecen), desde las dorsales, estructuras en las cuales se localizan las rocas más jóvenes, hasta las márgenes continentales en donde se encuentran las rocas más antiguas.

Así mismo se comprobó, que en los lugares donde las corrientes de convección del manto, se juntan y descienden, la corteza Oceánica desaparece, se subduce debajo de la corteza Continental, constituyendo los bordes activos de los Continentes. El cinturón Circumpacífico, que tiene una extensión mayor a 40.000 k. se formó debido a la interacción del choque o colisión, de las placas oceánicas con las placas continentales, a través del tiempo geológico, (en diferentes ciclos orogénicos).

En la década de los 70 del siglo XX se dio el gran debate entre las dos escuelas clásicas geotectónicas: la movilística y la ficcística. La segunda considera que la evolución de la corteza terrestre ocurre in-situ, que los océanos siempre ocuparon el espacio que hoy ocupan al igual que los continentes.

La práctica como criterio de la verdad, demostró, que la escuela Movilística tenía la razón. La hipótesis de la Deriva de los Continentes sustentada a principios del siglo XX por el científico alemán Alfred Wegener y que fue repudiada en su tiempo, con el avance técnico-científico, 70 años después logró imponerse y demostrar que era una realidad.

El triunfo de las ideas movilísticas significó una verdadera revolución en el desarrollo de las ciencias de la Tierra. Revolución, que debe hacerse extensible a todas las Ciencias Naturales, las cuales considero, aún no han asimilado este cambio, pues la mayoría de ellas siguen sustentándose sobre principios ficcísticos.

Quisiera ilustrar esto con un ejemplo: al producirse la deriva de los Continentes (movimiento de las placas), crecen o se reducen los mares y océanos, al igual que los continentes, paralelamente derivan las corrientes submarinas, aspecto que a su vez modifica el clima, los vientos, así como la vida animal y vegetal sobre la Tierra. Cuando se analiza un fenómeno concreto de las ciencias naturales (desertificación, cambio del clima), los especialistas rara vez consideran el aspecto movilístico global, el cual muchas veces, juega un rol muy importante. La teoría de la Deriva Continental (La Nueva Tectónica Global), es tan importante, que en la actualidad ya se ha incluido en el Pénsum de estudios, en los colegios y universidades de los países europeos.

4.1 ECUADOR EN EL MARCO TECTÓNICO GLOBAL

La tectónica de placas, estudia el origen y evolución de la corteza terrestre. El desarrollo de las escuelas moviásticas y la demostración en la práctica de los principales postulados de la tectónica de placas, representó el mayor aporte al desarrollo de las ciencias de la tierra durante la segunda mitad del siglo veinte.

La aplicación de las teorías moviásticas de la tectónica de placas, significó una verdadera revolución en el desarrollo de las ciencias de la tierra y particularmente de las ciencias geológicas. Revolución, que debe hacerse extensible a todas las ciencias naturales, las cuales aún no han asimilado este cambio, pues la mayoría de ellas continúan sustentándose sobre principios ficcísticos obsoletos, sobre todo en países en vías de desarrollo como el nuestro.

El territorio del Ecuador, tiene una superficie aproximada de 272.000 k.², ocupa tan solo el 0.19% de la superficie de la corteza terrestre, menos de la quinientava parte, sin embargo en él encontramos prácticamente todos los tipos de rocas y minerales característicos para los mares, océanos y continentes de la tierra.

La diversidad geológica del Ecuador a su vez depende y esta relacionada al hecho de que el territorio del Ecuador forma parte de las tres estructuras geológicas más importantes de nuestro planeta (Fig. No. 15):

Del sistema global de Dorsales
Del cinturón Circumpacífico, y
De una estructura transcontinental, paralela a la línea Ecuador y al eje amazónico.

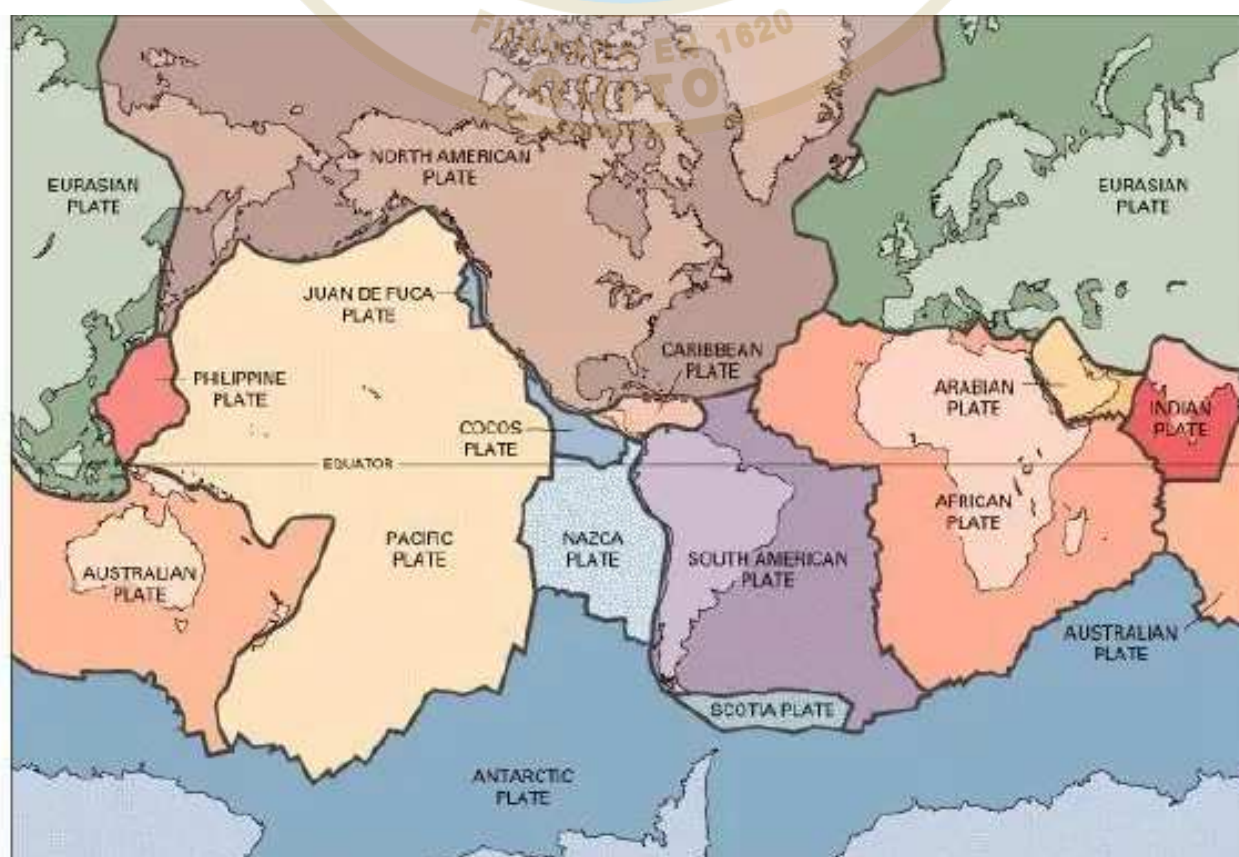


Fig. No. 15.- Mapa de las placas tectónicas, Fuente: U.S. Geological Survey

Las dorsales oceánicas se originan, en los sitios donde las corrientes de convección del manto de la tierra ascienden y se separan. Por medio de la dorsal Galápagos (límite entre las placas de Nazca y de Cocos) el Ecuador se une al sistema global de dorsales, estructuras que atraviesan todos los mares y océanos de la Tierra. En las dorsales se origina la corteza oceánica, además, a partir de las dorsales se inicia la deriva o movimiento de las placas lo que a su vez origina la apertura y crecimiento de los mares, océanos y el movimiento de los continentes (Fig. No. 16)

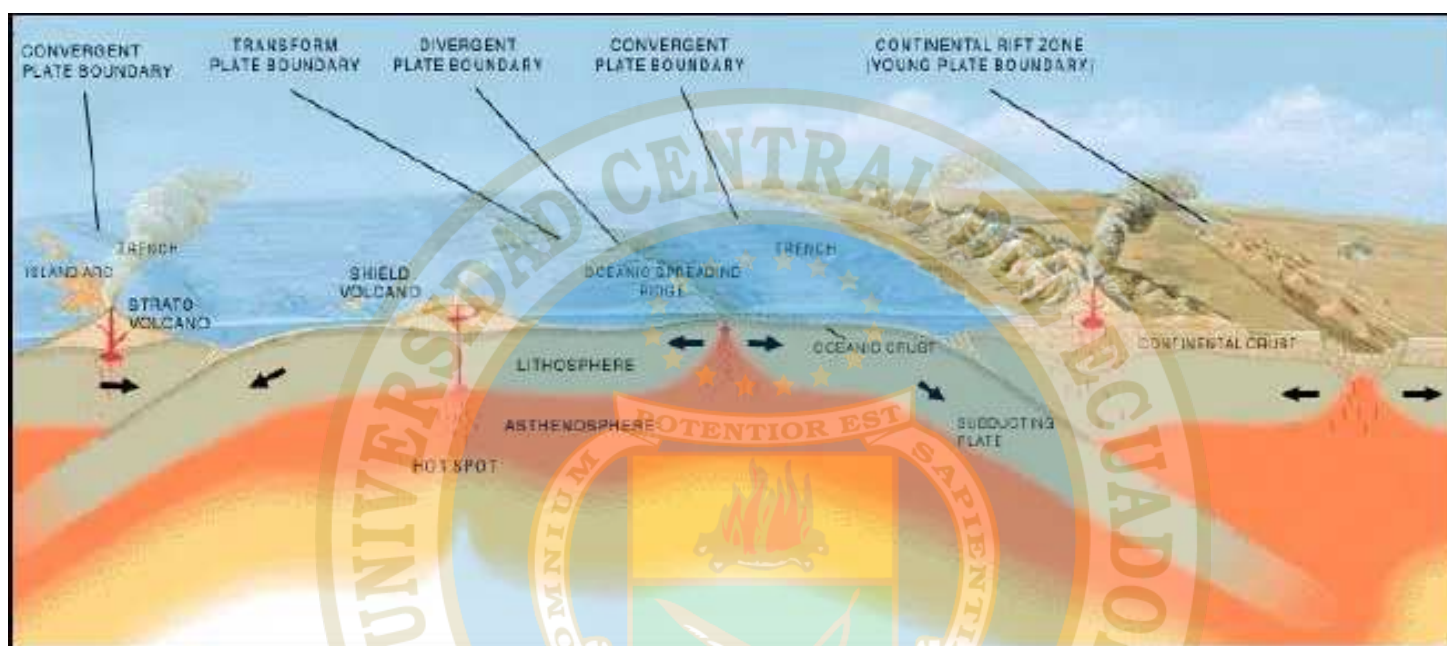


Fig. No. 16.- Dorsales oceánicas y zonas de subducción. (Ilustración por José F. Vigil de "This Dynamic Earth", Mapa Mural producido en conjunto por U.S. Geological Survey, el Smithsonian Institution, y el U.S. Naval Research Laboratory).

Así mismo, en los lugares donde las corrientes de convección del manto de la tierra se juntan y descienden, se originan los cinturones montañosos. El enorme cinturón circumpacífico (el cinturón montañoso más extenso de la tierra), se formó debido a la interacción o choque de las placas oceánicas contra las placas continentales, a través del tiempo geológico en diferentes ciclos orogénicos.

A la luz de la tectónica de placas, el Ecuador, se encuentra localizado en el borde occidental activo de Sudamérica, a lo largo del cual en forma permanente chocan la placa sudamericana de origen continental, que se desplaza hacia el oeste, contra las placas de Nazca y de Cocos de origen oceánico que se desplazan hacia el este, mismas que por tener una mayor densidad se subducen debajo de la placa continental (Fig. No. 17).



Fig. No. 17.- Convergencia de placas al Noroccidente del continente sudamericano.

Como producto del choque, en el plano de fricción de las placas se originan los sismos y el magmatismo, los sistemas de fallas y suturas. Así mismo debido al choque de las placas, se produjo el plegamiento y metamorfismo de las rocas, así como la acreción (suma) de terrenos al continente. De esta manera en diferentes ciclos orogénicos se originó la cordillera de los Andes sudamericanos y la gran diversidad de rocas y yacimientos de minerales.

4.2 EL ECUADOR EN EL MARCO TECTÓNICO REGIONAL

Los Andes sudamericanos tienen una extensión superior a los 9.000 k. (desde el lago de Nicaragua hasta la Patagonia); su máxima anchura alcanza 750 k. a 20° de Latitud sur, a la altura de la deflexión de Arica - Santa Cruz, su ancho promedio es de 500 k.; únicamente en la región Caribe-Antillas, donde las cordilleras sufren una virgación y forman dos ramales, el ancho del cinturón andino marcadamente crece alcanzando hasta 3.000 k.

En relación a su construcción geotectónica, los Andes están constituidos por un sistema de arcos volcánicos paralelos o casi paralelos entre si, que a su vez se extienden paralelos a la fosa oceánica. Esta característica de los Andes sudamericanos se explica por lo modernos que son. Los últimos procesos orogénicos, relacionados al levantamiento del cinturón Andino ocurrieron durante el periodo Plio- pleistoceno y continúan en la actualidad.

El único sector de los Andes, en donde la relación estructural-orogénica se altera, es en la región de la Puna, localizada al sur de Bolivia y norte de Argentina, esta alteración está relacionada a la presencia del macizo Pampeano, el cual modifica el comportamiento de algunas unidades geotectónicas de los Andes sudamericanos a lo largo de su extensión.

La zonación geotectónica-transversal en los Andes sudamericanos no se presenta muy clara, debido a que en ellos no existe (con excepción de los Andes nórdicos) una clara división entre zonas antearco, arcos volcánicos y zonas trasarco, como existe por ejemplo en los Andes norteamericanos.

Los Andes norteamericanos, son en principio dos veces más anchos que los Andes sudamericanos, aspecto que permite observar mejor la migración transversal del plegamiento, el magmatismo y las orogénesis durante todo el período Fanerozoico. De otro lado parte de los Andes sudamericanos debido al proceso de subducción fueron erosionados a lo largo de su borde occidental activo, desapareciendo de la superficie del continente sectores de la cordillera de la Costa y de las cuencas de antearco.

4.2.1 Segmentación Geotectónica longitudinal de los Andes Sudamericanos.

El cinturón montañoso de los Andes, esta localizado en el borde occidental activo de Sudamérica, a lo largo del cual en forma permanente chocan la placa sudamericana de origen continental que se desplaza hacia el occidente, con las placas de Cocos, Nazca y Antártida de origen oceánico que se desplazan hacia el este, las mismas que por ser más densas, se subducen debajo del continente sudamericano.

A lo largo de su extensión los Andes sudamericanos se dividen en tres segmentos: los Andes nórdicos o del Caribe, los Andes centrales y los Andes del sur o Patagónicos. El límite entre estos tres segmentos del cinturón andino, está representado por lineamientos y sistemas de fallas transversales que coinciden en su orientación con el límite de las tres placas oceánicas. Los Andes centrales que ocupan el segmento intermedio, limitan al norte con los Andes nórdicos a lo largo de la dorsal Galápagos, la cordillera submarina de Carnegie y el lineamiento amazónico; y, al sur con los Andes patagónicos a lo largo del lineamiento de Neuquén y las fallas de la dorsal submarina de Chile.

Los Andes centrales durante el Fanerozoico, evolucionaron sobre la corteza de tipo continental (ensialica), constituida de rocas metamórficas de edad precámbrica y del Paleozoico inferior, de igual manera en los Andes nórdicos la cordillera Central y las cuencas trasarco se desarrollaron sobre la corteza de tipo continental, mientras que la cordillera Occidental y las cuencas antearco lo hicieron sobre la corteza de tipo oceánico (ensimática).

Para los Andes nórdicos y patagónicos es característica la acreción (suma) de terrenos a lo largo de su borde occidental, el cual creció en esta dirección, mientras que para

los Andes centrales lo característico es la erosión de los terrenos localizados a lo largo de su borde occidental.

En los Andes centrales y patagónicos la migración del magmatismo durante los ciclos Mezo-terciarios ocurrió de oeste a este, mientras que en los Andes nórdicos el magmatismo migró en sentido contrario durante este período de tiempo, para este segmento del cinturón Andino es característico además la migración del volcanismo Plio-pleistocénico de oeste a este. El frente volcánico activo en la actualidad se encuentra al este de la cordillera Central y en la zona Subandina.

El origen del magmatismo y volcanismo en toda la cadena Andina a través del tiempo geológico a dependido de algunos factores, entre los cuales los más importantes son: el ángulo de convergencia y la velocidad de desplazamiento de las placas tectónicas, así como la variación del ángulo de subducción de las placas oceánicas debajo de los diferentes segmentos de los Andes sudamericanos. La composición del magmatismo ha dependido de la composición de las placas que se funden, de la cantidad de sedimentos acarreados por la placa oceánica, además tienen importancia la distancia a la que se origina el magmatismo en relación a la fosa tectónica y la profundidad de fusión del magma.

En relación al desplazamiento del magmatismo y volcanismo, son las fallas longitudinales de orientación Andina las que han jugado el rol más importante, lo que se evidencia en la elongación de los cuerpos intrusivos en sentido norte-sur. Las grandes fallas y zonas de sutura son además el límite entre los diferentes bloques geotectónicos que conforman los Andes sudamericanos.

El límite entre la cordillera Central (arco Central) y la zona Subandina es un sistema de fallas de empuje que se extienden a lo largo de miles de kilómetros, por este sistema de fallas, las rocas metamórficas de la cordillera Central se han sobrecorrido en reiteradas ocasiones sobre las rocas sedimentarias marinas de la zona Subandina, además a lo largo de este sistema de fallas en diferentes periodos se ha producido la intrusión de enormes batolitos y luego de intrusivos hipoabisales. (postbatolíticos) con los cuales se encuentran relacionados importantes procesos de mineralización. Un rol similar al de las fallas del sistema subandino ha jugado otras fallas regionales como las fallas Romeral, Cauca- Patia-Guayaquil, Atacama y otras.

De la misma manera los lineamientos transversales y zonas de deflexión como los de Arica-Santa Cruz, Pisco, Huancabamba y otros han jugado un rol fundamental no solo como límite entre los diferentes segmentos del cinturón Andino, sino que ellos controlaron el emplazamiento regional de importantes yacimientos, distritos y nudos de yacimientos minerales.

La segmentación geotectónica de los Andes sudamericanos es muy clara: de norte a sur se destacan los siguientes segmentos (Fig. No. 18).

- a. Andes nórdicos o del Caribe.
- b. Andes centrales.
- c. Andes del sur o Patagónicos.

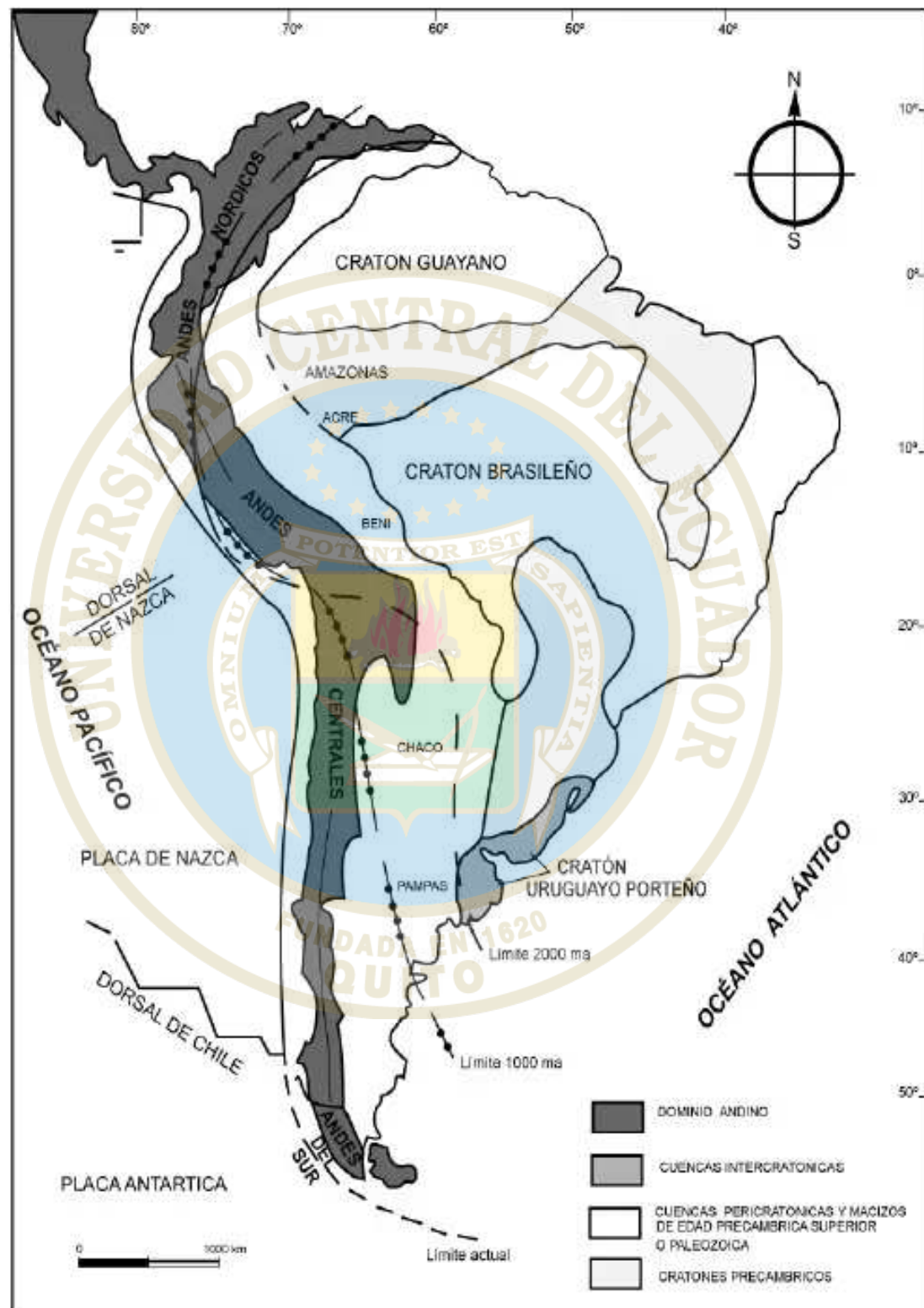


Fig. No. 18.- Segmentación geotectónica de los Andes Sudamericanos, Fuente: Minas y Minerales de Iberoamerica. ITGE. 1992.

LOS ANDES NORDICOS están representados por un conjunto de arcos volcánicos que se abren y ramifican hacia el norte, su desarrollo es similar al de un típico sistema alpino cuya parte occidental se desarrolló sobre corteza de tipo oceánico, mientras que la parte oriental se desarrolló sobre corteza de tipo continental.

En este segmento están muy bien representadas todas las zonas transversales características de los Andes sudamericanos: cuencas antearco, arcos volcánicos o cordilleras (Occidental, Central y Oriental) y cuencas trasarco. La orientación de las estructuras a lo largo de su extensión cambia desde SO-NE al sur, hasta OSO-ENE al norte.

El límite entre los Andes nórdicos y centrales es una zona subecuatorial constituida de fallas y estructuras transversales que se inicia en las islas Galápagos en el océano Pacífico, luego atraviesa la plataforma Sudamericana a lo largo del eje amazónico y se proyecta al océano Atlántico en donde desplaza significativamente a la dorsal centro oceánica, constituyendo uno de los lineamientos planetarios más importantes (Jaín, 1.971), las estructuras de los Andes nórdicos y centrales a lo largo de este lineamiento chocan formando casi un ángulo recto (Sawer, 1.965).

LOS ANDES CENTRALES en la parte norte tienen una orientación NO-SE y al sur están orientados en sentido meridional. Los Andes centrales adquieren su mayor ancho, potencia (70 k.) y altura en el sector donde se produce su cambio de orientación, o sea a lo largo de la zona de la deflexión de Arica- Santa Cruz, sector en el cual se forma el codo tectónico de Arica. La característica principal de los Andes centrales es que se desarrollaron in situ, sobre una corteza de tipo continental (basamento Precámbrico-Paleozoico).

Los Andes centrales están separados de los Andes del sur o patagónicos por una zona de fallas transversales, que constituyen la dorsal submarina de Chile, la cual continúa hacia el este en la plataforma a través de la cuenca de Neuken, localizada entre el macizo Pampeano y el macizo Patagónico.

LOS ANDES DEL SUR (Patagónicos) corresponden al segmento más delgado de los Andes, constituido prácticamente de un solo complejo plegado (cordillera Patagónica) y su continuación del sur (cordillera de la tierra del Fuego). La orientación de esta estructura al norte coincide con la orientación de los Andes centrales, a la altura del golfo de Magallanes sufre una fuerte desviación hacia el este y en la tierra de Fuego adquiere una orientación transversal.

El desarrollo de los Andes Patagónicos, en su borde occidental activo, es similar al de los Andes nórdicos, o sea que se produjo con la acreción de terrenos. Hacia el sur, significativamente crece el rol de las clásicas formaciones porfirítica y fliشوidea de edades jurásico-cretácicas.

La potencia de las formaciones mesozoicas en este segmento del cinturón Andino alcanza 10 k. o más, al igual que en los Andes nórdicos, lo cuál contrasta con los 5-6 k. que alcanzan en los Andes centrales. Hacia el sur se desarrolla también la cuenca Magallánica, que es una típica cuenca marginal (trasarco).

CAPÍTULO V

GEOLOGÍA DEL ECUADOR

5.1 MARCO GEOTECTONICO

El territorio del Ecuador ocupa un lugar de transición entre los Andes nórdicos o del Caribe y los Andes centrales y forma a su vez parte del enorme cinturón metalogénico andino. Baldock (1.982) señala que “en los límites del territorio ecuatoriano se produce el cambio de la litosfera continental, al sur, a una densa, aislada e inactiva corteza oceánica, hacia el norte. Este cambio posiblemente está dado por la presencia de una antigua zona de sutura actualmente oculta e inactiva. Además, recalca que el Ecuador ocupa una posición de importancia geológica fundamental: incluye parte de un centro de dispersión oceánica activa (la zona del *rift* de Galápagos, entre las placas Cocos y Nazca) y parte de un área tipo de subducción activa de corteza oceánica bajo el margen continental, placa Nazca bajo la costa oeste sudamericana”.

Paladines A.(1.989) destaca, que la construcción y desarrollo de los Andes ecuatorianos, al igual que todo el cinturón orogénico andino, está determinada ante todo por un tipo de zonificación geotectónica y metalogénica orientada en sentido longitudinal, la cual se refleja en un cambio lateral paulatino desde el antiguo continente sudamericano (escudo brasileño) hasta el océano Pacífico.

En este modelo, si se considera una evolución y migración de la zona de subducción de oriente a occidente en los Andes ecuatorianos, se destacan seis zonas geotectónicas (estructuro-formacionales) (Fig. No.19).

1. Cuenca trasarco de Iquitos
2. Zona Subandina (arco Oriental)
3. Cordillera Central o Real (arco Central)
4. Graben de Quito
5. Cordillera Occidental (arco Occidental)
6. Cuenca antearco de la Costa

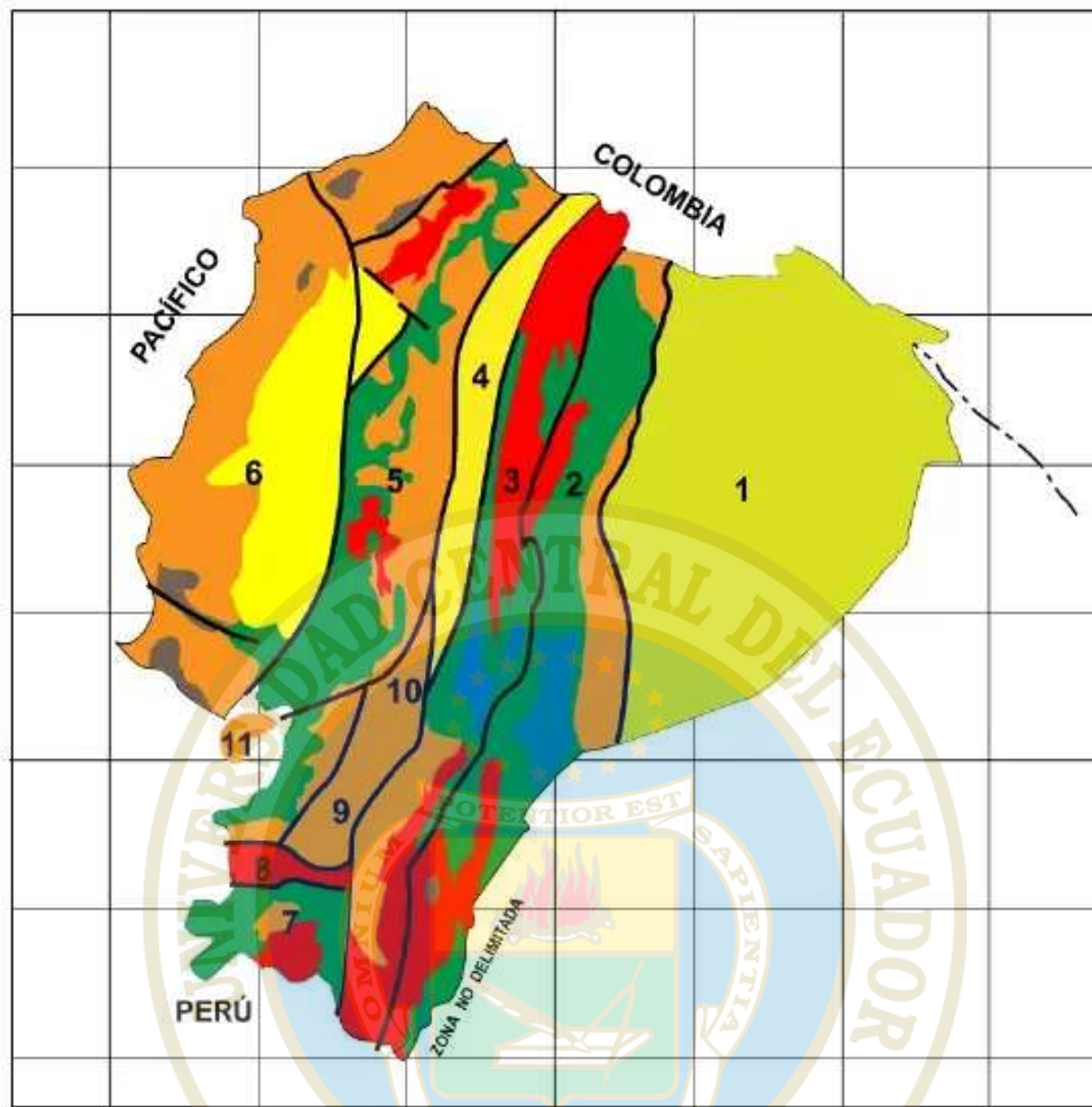


Fig. No. 19.- Mapa de zonificación geotectónica del Ecuador.

De otro lado en los Andes ecuatorianos han tenido una gran influencia las estructuras tectónicas orientadas en sentido transversal, las cuales condicionaron un desarrollo desigual y rasgos diferentes en la construcción de los dos segmentos (regiones) localizadas hacia el norte y sur de la faja que cruza entre los $2^{\circ}30'$ y 5° de latitud Sur.

Esta zona corresponde a la zona transversal Puna-Méndez (**ZTPM** - Paladines 1989), que se caracteriza por tener una corteza de tipo transicional en su composición. A lo largo de fallas paralelas a esta franja se observan rocas precámbricas, paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas, que están dispuestas en forma subtransversal, la cual es anómala en relación a la extensión normal de los Andes.

Esta faja, en cuyos límites se produce la principal reconstrucción tectónica entre las estructuras de los Andes nórdicos y centrales, representa una parte del enorme lineamiento amazónico, el cual continúa hacia los océanos Atlántico y Pacífico. Hacia esta zona transversal confluyen tres zonas geotectónicas, que son características para los Andes centrales:

7. Arco volcánico Celica.
8. Cordillera de Tahuin - Amotapes.
9. Arco volcánico Saraguro-Calipuy.

10. Cuencas intermontañosas.

11. Cuenca Progreso

En el plano regional, los Andes ecuatorianos se caracterizan por tener una estructura asimétrica. La *cordillera Real* (o Central), (Fig. No. 20) constituye el eje geomorfológico y tectono-estructural de la misma. Su núcleo está constituido por rocas metamórficas de edades comprendidas entre el Precámbrico y el Cretácico y se caracteriza por tener un magmatismo granitoide plurifacial y un volcanismo Neógeno-Cuaternario muy desarrollado, el cual va acompañado de la formación de grabens sinorogénicos, siendo los más importantes el de Catamayo-Cariamanga-Huancabamba en los Andes centrales y el de Quito-Cauca-Patía en los Andes nórdicos.

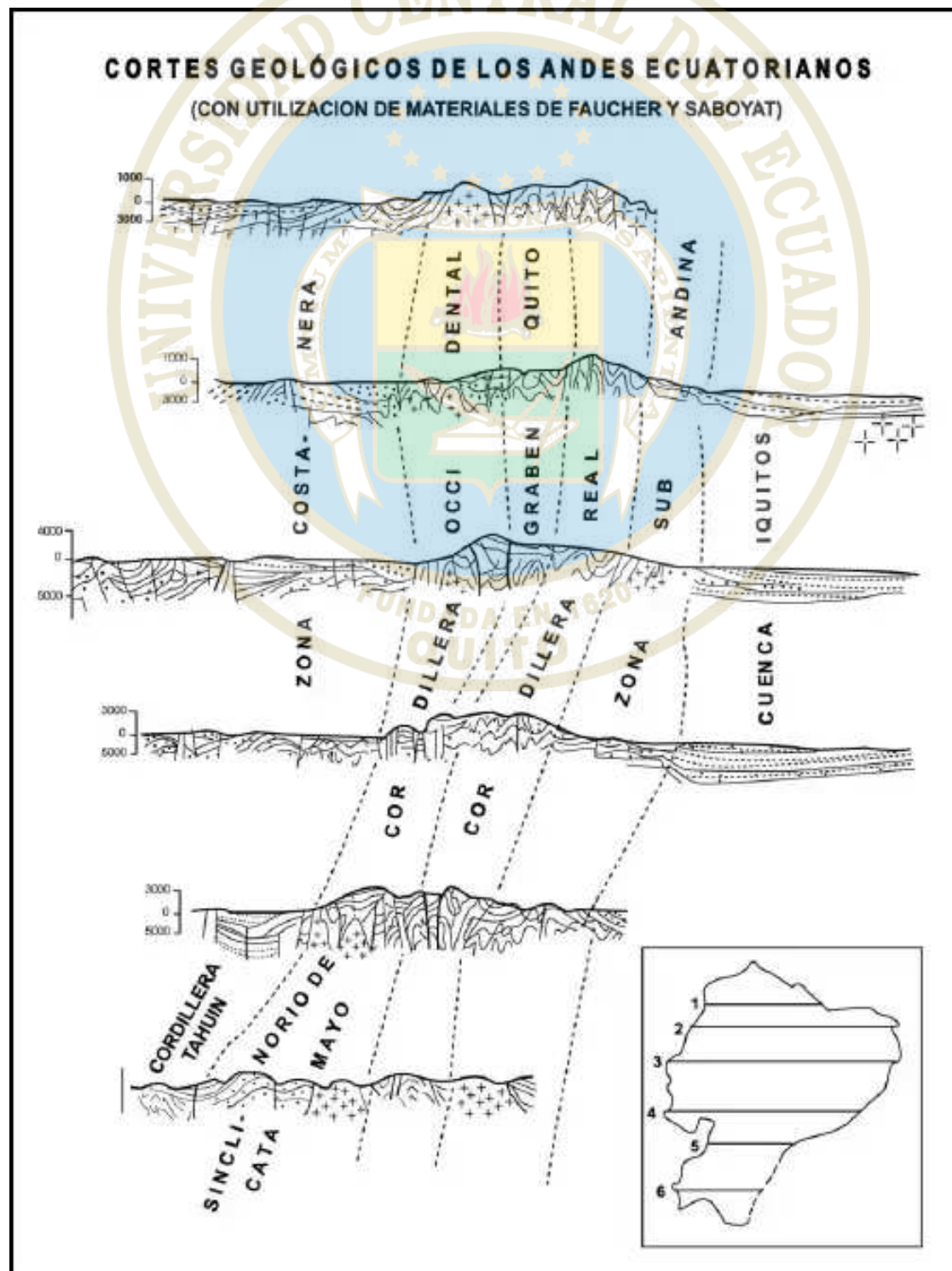


Fig. No. 20.- Cortes Geológicos de los Andes Ecuatorianos
(Con utilización de materiales de Faucher y Saboyat)

Hacia el este de la cordillera Real se localizan la zona Subandina y la cuenca de Iquitos. Para la estrecha *zona Subandina* son característicos tres complejos plegados de rocas de edad devónica, carbonífera y del Jurásico inferior, mientras que en el corte estratigráfico de la *cuenca de Iquitos*, se destacan complejos mesozoicos característicos de cuencas pericratónicas y formaciones terciarias de tipo molásico. Por el régimen de desarrollo, la zona Subandina es transicional entre los Andes y la cuenca de Iquitos.

Al norte de la **ZTPM**, están dispuestas dos zonas geotectónicas: la cordillera Occidental y la zona Costanera. *La cordillera Occidental* está constituida por basaltos toleíticos del Cretácico inferior, característicos de corteza oceánica, y por rocas volcánicas calco-alcalinas originadas en un arco de islas del Cretácico superior-Eoceno (arco Macuchi), que han sido comprimidas en pliegues lineales e intruídas por macizos de composición calco-alcalina de edad Oligoceno-miocénica y aparecen cubiertas discordantemente por un arco volcánico continental más joven. El arco Macuchi, a la altura del golfo de Guayaquil 3° de Lat. S, se estrecha y desaparece, mientras que hacia el norte continúa ininterrumpidamente y constituye la cordillera Occidental de Colombia.

En el corte estratigráfico de la *zona Costanera* se observan complejos cretácicos de la misma edad y de una composición similar que los descritos en la cordillera Occidental. Sobre estas rocas volcánicas (corteza oceánica) se disponen formaciones sedimentarias marinas poco deformadas y muy potentes de edad terciaria.

Hacia el sur de la zona transversal tienen gran difusión rocas de la formación Celica de edad Cretácica inferior, originadas en un arco de islas (arco Celica) y rocas del Cretácico superior-Terciario de tipo volcanogénico-molásico, las cuales yacen discordantemente sobre los complejos metamórficos precámbricos y paleozoicos, que constituyen sin lugar a dudas la corteza continental.

Desde el punto de vista tectónico, hacia la **ZTPM** convergen dos cinturones volcanogenico - plutónicos: el cinturón Araucano-Calipuy-Saraguro, característico de los Andes centrales y el cinturón Ofiolítico, característico de los Andes nórdicos, los cuales tienen una evolución diferente y, en conjunto, constituyen la cordillera Occidental de los Andes sudamericanos.

Para los Andes centrales la fase principal de plegamiento se produce a fines del Campaniano (fase peruana), mientras que en los Andes nórdicos, la fase principal de acreción y plegamiento tiene lugar en el Eoceno superior (fase incaica o andínica). Para los Andes nórdicos es característico el plegamiento lineal en los complejos mesozoicos y la migración del magmatismo de oriente a occidente, mientras que para los Andes centrales el plegamiento de las rocas de edad similar es de tipo braquiforme y la migración del magmatismo ocurre de oeste a este. De igual manera, el batolito de

Tanogita, de la cordillera Real, sur del Ecuador, es el batolito más reciente de la cordillera Occidental, al norte, son de edad Oligoceno-miocénica. En la región norte, se observa

un volcanismo Neogénico-Cuaternario muy potente y varios estratovolcanes, dispuestos en ambas cordilleras; en la región sur, el volcanismo oligocénico es muy difundido y no existen estratovolcanes (Paladines, A. 1.989)

Por todo lo señalado, las regiones norte y sur del margen occidental de los Andes ecuatorianos representan la transición entre los Andes nórdicos y los Andes centrales de América del Sur, teniendo un basamento ensimático (corteza oceánica) los Andes nórdicos, mientras que el basamento de los Andes centrales es ensialico (corteza continental). Así mismo, es característica para los Andes nórdicos la acreción de terrenos a lo largo de su borde occidental activo, mientras que para los Andes centrales lo característico es la erosión de terrenos a lo largo de este borde.

De otro lado, los Andes ecuatorianos forman parte del gran cinturón metalogénico Andino. En sus límites se destacan dos *Provincias Metalogénicas*: la **Occidental**, localizada sobre la corteza de tipo oceánico, para la cual son característicos los yacimientos e indicios de Fe, Pt, Ti, Cr, FeS-Cu, Cu-Mo, Pb-Zn (Cu, Au), Ag-Au (Pb-Zn), relacionados con la corteza oceánica y con asociaciones de rocas volcanogénico-plutónicas que constituyen el arco volcánico Macuchi; y, la **Oriental**,

localizada sobre la corteza de tipo continental, para la cual son característicos los yacimientos e indicios de Fe, Pt, Ti, Cr, FeS-Cu, Cu-Mo, Pb-Zn (Cu, Au), Ag-Au (Pb-Zn), relacionados con un arco volcánico continental de edad jurásica, granitos y rocas sedimentarias de origen marino. En las cuencas antearco y trasarco existen importantes yacimientos de hidrocarburos.

5.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS OFIOLITAS EN EL ECUADOR

La descripción de los cinturones ofiolíticos es fundamental para comprender la geología y la evolución de los Andes ecuatorianos. La descripción que sigue de los cinturones ofiolíticos y de los arcos volcánicos de islas y los tipos de mineralización a ellos asociada procede de oeste a este, debido a que la presencia de yacimientos e indicios, así como su importancia económica y prospectiva, marca esa dirección. La presencia de yacimientos, así como la de indicios de yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos (SMV), tanto en las rocas que constituyen la corteza oceánica, como en las que constituyen los arcos de islas volcánicos, se convierten en valioso metalotecto, para determinar ese tipo de estructuras.

5.2.1 Cinturón Ofiolítico Occidental.

Con esta denominación se designa la región noroccidental de los Andes ecuatorianos, localizada al oeste del graben de Quito, al norte de la latitud marcada por el golfo de Guayaquil (Fig. No. 19). Esta región se caracteriza:

- Por estar constituida por un potente complejo de rocas volcánicas de edad Protáica-paleogénica.
- Por la presencia de afloramientos de rocas metamórficas, las cuales no se fijan incluso con métodos sísmicos.

- Por altas anomalías gravimétricas positivas, del orden de 100-150 mg., localizadas en la zona más occidental.

Estas tres características permiten contraponer esta megazona a las zonas orientales del cinturón Andino, las cuales se desarrollaron durante el Mesozoico y Terciario sobre la corteza continental, mientras que la megazona occidental se desarrolló sobre corteza de tipo oceánica y se originó debido a procesos de acreción de la corteza oceánica, así como de arcos de islas volcánicos al continente.

El cinturón ofiolítico o megazona occidental se extiende paralelo a la línea de la costa y comprende la cordillera Occidental y la zona costanera del Ecuador y Colombia; luego se dirige hacia el oeste y constituye el complejo de Nicoya, localizado al sur de Costa Rica y Nicaragua. En diversas muestras tomadas en la base de la cordillera Occidental, en la serie Piñón (Ecuador), en el cabo Corrientes (Colombia) y en el complejo de Nicoya (Costa Rica), luego de los análisis realizados, se ha encontrado que tienen una composición y edad similares, lo que sugiere que se trata posiblemente de un mismo cinturón (Tabla No. 2).

LUGAR DE MUESTREO	BASE DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL	COMPLEJO IGENO BÁSICO	SERIE PINÓN	CABO CORRIENTES COLOMBIA	COMPLEJO NICOYA COSTA RICA
CONTENIDO PROMEDIO DE OXIDOS	(8)	(3)	(10)	(8)	(9)
SiO ₂	49,55	47,75	47,79	48,72	47,79
Al ₂ O ₃	13,33	11,88	13,80	13,40	14,56
Fe ₂ O ₃	11,49	11,20	11,01	9,13	12,00
MnO	0,17	0,20	0,18	0,16	0,20
MgO	7,80	14,00	8,50	9,12	7,53
CaO	8,90	8,01	11,17	8,86	10,63
Na ₂ O	2,65	1,52	2,33	2,83	2,42
K ₂ O	0,10	0,43	0,34	0,57	0,43
TiO ₂	1,18	0,81	1,27	1,18	1,18
P ₂ O ₅	0,10	0,25	0,13	0,15	0,11
H ₂ O`	0,37	2,93	0,75	2,51	2,05
H ₂ O-	3,83	0,65	2,76	1,46	0,58
TOTAL	99,47	99,43	100,03	98,10	99,18

Tabla No. 2.- Análisis químicos de los basaltos toleíticos del sur de América Central y del nor-occidente de América del Sur.

5.2.1.1 Zona Costanera.

Comprende la parte baja occidental del país, localizada al occidente de la cordillera Occidental. Tiene una extensión de 500 k. y un ancho promedio de 120 k. En términos metalogénicos, en la zona costanera son las rocas del complejo basal, constituido por corteza oceánica, las que tienen mayor interés.

El complejo basal se presenta plegado; está compuesto por rocas de edad cretácica y aflora en una serie de elevaciones en bloque, tipo *horst*, entre las cuales las más importantes son: Chongón-Colonche, Jama-Coaque y Río Verde en Ecuador; continúa hacia el norte con la cordillera de la Costa colombiana (sierra de Baudó), y luego se dirige hacia el occidente y constituye la sierra de Darién en Panamá. En el núcleo de estas estructuras afloran rocas volcánicas constituidas por lavas y brechas submarinas de composición basáltica, así como piroclastos turbidíticos débilmente estratificados con restos de capas pelágicas. Las lavas se caracterizan por tener estructura masiva tipo *pillow*, generalmente, son porfiríticas y químicamente son basaltos tholeíticos de tipo oceánico (corteza oceánica).

La mineralización asociada a depósitos de origen magmático, cuyas manifestaciones son observadas en los placeres aluviales de los ríos de la zona noroccidental, que son ricos en oro, platino y paladio, y en los depósitos de arena titanomagnetítica con trazas de oro, platino y cromitas en las playas de la Tola y la Tolita.

Hacia el norte de esta zona, en Colombia, Álvarez (1.983) ha establecido una relación directa de esta mineralización con intrusiones de rocas ultrabásicas, localizadas a lo largo de la falla de Atrato-San Juan. Lo anotado confirma la perspectiva para encontrar mineralizaciones de platinoides y otros minerales relacionados con intrusiones de rocas ultrabásicas y básicas, en la zona de fallas determinada con ayuda de imágenes de satélite (INEMIN, 1.985), que se presentan como continuación del sistema de fallas de Atrato-San Juan, las mismas que constituyen el límite entre la cordillera Occidental y la zona costanera (falla occidental) (Fig. No. 21).

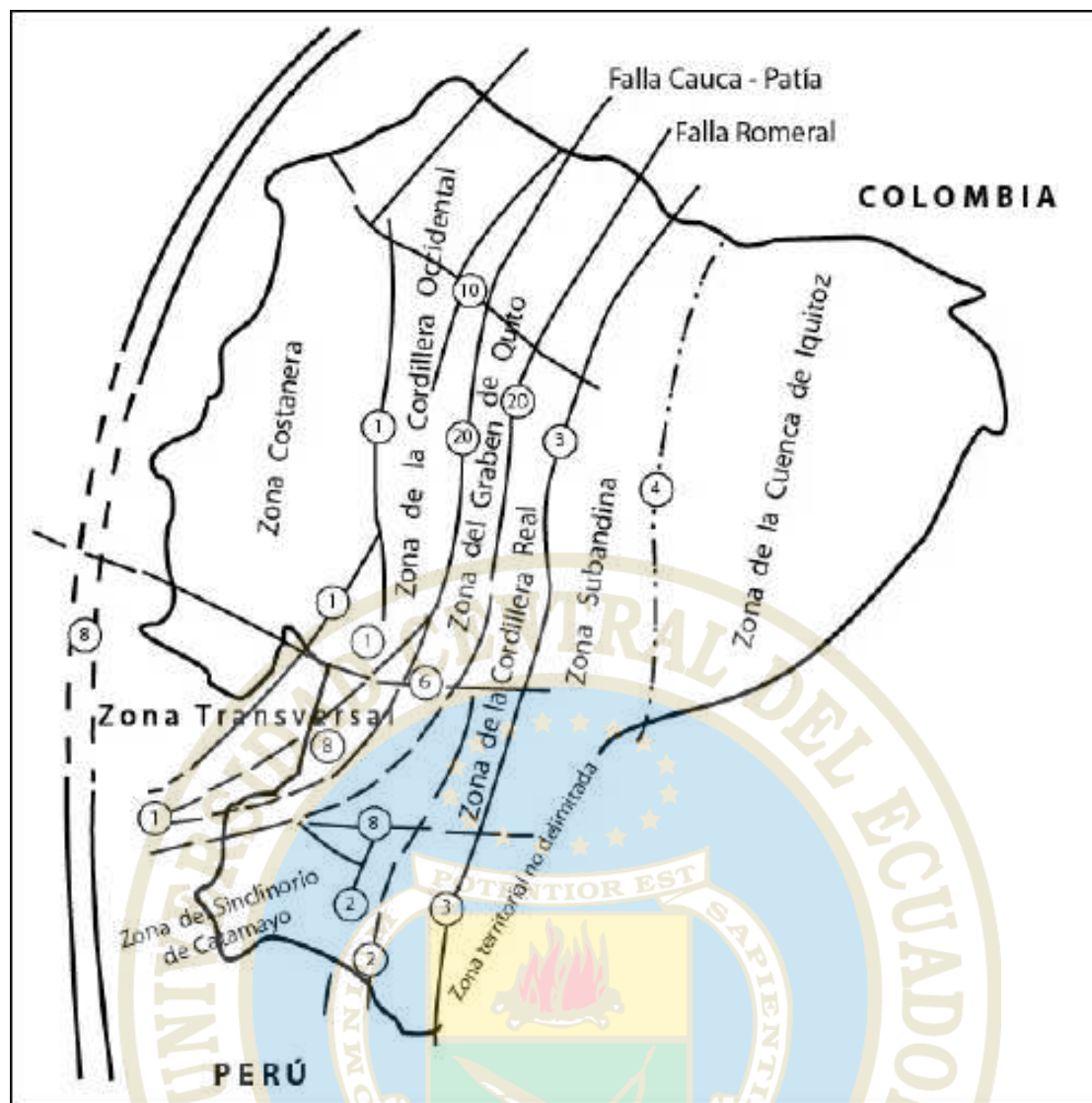


Fig. No. 21.- Principales fallas y rasgos morfológicos del Ecuador.
(Con utilización de materiales del mapa de: Aspden y Litherland, 1992)

- 1.- Falla oriental
- 2.- Falla precordillera
- 3.- Falla Peltetec – frente Baños
- 4.- Falla Calacalí – Pallatanga – Palenque
- 5.- Falla de la cordillera Occidental
- 6.- Falla Cañar – Carnegie
- 7.- Falla las Palmas – Arenillas – Portovelo
- 8.- Fallas de la zona Grijalva
- 9.- Fosa marginal
- 10.- Falla Esmeraldas – Quito
- 11.- Zona transversal Puná – Méndez

De otro lado, ha de señalarse que en Colombia se conocen depósitos e indicios de sulfuros masivos volcanogénicos **SMV** del tipo Chipre, como son las minas de El Roble, Micogrande, Azufral y otras relacionadas con ambientes ofiolíticos de edad mesozoica (Ortíz, 1990). Esto abre la posibilidad de encontrar este tipo de depósitos en el Ecuador, lo que parece confirmarse por la aparición de indicios de **SMV** (Báez,

N.com. pers.), a raíz de los trabajos de exploración realizados en la provincia de Esmeraldas (zona noroccidental). Es importante señalar que la existencia de indicios de **SMV** del tipo Chipre, se convierten en un valioso metalotecto que indica la existencia de la corteza oceánica.

Otra zona de interés para la localización de elementos del grupo del platino EGP, es la faja situada hacia el límite oriental del complejo ofiolítico. Se trata de la zona de sutura Calacalí-Pallatanga-Palenque (Fig. No. 21), a lo largo de la cual, durante el Eoceno superior colisionó el arco volcánico Macuchi. Entre las rocas, que constituyen esta faja encontramos rocas ultrabásicas serpentinizadas (peridotitas y dunitas con indicios de cromita) y basaltos. Además, como producto de la meteorización y erosión de estas rocas, se han formado depósitos secundarios con oro y platino localizados en los ríos que bajan por el flanco occidental de la cordillera.

5.2.1.2 Cordillera Occidental (arco Macuchi)

Esta unidad geotectónica continúa hacia el norte en Colombia; hacia el sur, a la altura del golfo de Guayaquil se estrecha y desaparece. En los límites de los Andes claramente en los cortes estratigráficos del Cretácico y Paleógeno (Fig. No. 20). En el segmento ecuatoriano del cinturón Andino el arco Macuchi tiene una longitud que supera los 300 k. y un ancho de 45-75 k.

En la constitución de la cordillera Occidental, tienen gran significado las rocas volcánicas cretácico-paleogénicas, las cuales forman un complejo plegado acrecional, constituido por la corteza oceánica o formación Piñón, ya descrita, sobre la cual se emplazó el arco de islas volcánico Macuchi. Otras interpretaciones hablan de basaltos de *plateau* oceánicos (F. Piñón, Reynauld *et al.*, 1.999), colisionados con las rocas del arco Macuchi y acrecionados al continente en el Eoceno (Kerr *et al.*, 2.002).

Para la caracterización metalogénica de esta zona interesa señalar el desarrollo, a partir del Cretácico hasta el Eoceno medio, de un típico arco volcánico de islas, que abarca desde rocas ofiolíticas hasta calco-alcalinas de arco continental, como lo describen Égûez, Morocco y Pérez (1.991). En relación con la mineralización presentan interés tanto las rocas volcánicas, como las rocas comagmáticas con aquellas, representadas por granitoides intrusivos de edad terciaria: tonalitas, granodioritas y granitos que forman enormes batolitos.

Son de importancia los yacimientos de La Plata y Macuchi, que corresponden a depósitos cupríferos **SMV**, con altos contenidos de oro: los cuerpos piríticos mineralizados están representados por lentes y estratos que yacen concordantemente con las rocas volcano sedimentarias encajantes de la mineralización. Junto con los

indicios de Piñón, Talaguna, Sigchos, Sarapullo y La Plata. Los últimos depósitos descubiertos hacia el Sur forman el segmento surero de Macuchi.

5.2.2 Cinturón ofiolítico Oriental

A partir de los estudios realizados por la misión británica en el proyecto cordillera Real (INEMIN, 1.995), las rocas metamórficas de esta cordillera fueron divididas en cinco divisiones litotectónicas asociadas cada una de ellas a rasgos tectónicos y metalogénicos característicos.

Las divisiones litotectónicas de oeste a este son: *Guamate*, constituida por ortocuarcitas y pizarras negras de bajo grado de metamorfismo; *Alao*, constituida por ofiolitas, turbiditas, andesitas verdes, tobas y sedimentos de bajo grado de metamorfismo; *Loja*, constituida por orto y para-gneises asociados con filitas y esquistos de bajo y mediano grado de metamorfismo, intruidos por granitos de edad triásica; *Salado*, constituida por andesitas verdes, tobas, filitas y grauvacas de bajo grado de metamorfismo, intruidas por un batolito de composición calco-alcalina; y *Zamora*, constituida por andesitas, basaltos y sedimentos intruidos por un batolito de composición calco-alcalina. La división Alao es caracterizada por Litherland (1.990) como “un cinturón de *greenstone* y esquisto verde andesítico, de tipo arco insular”.

Los límites estructurales de esta división en el este y oeste coinciden con el frente Baños y la falla Peltetec respectivamente (Fig. No. 21).

5.2.2.1 Subdivisión Peltetec

La subdivisión *Peltetec* se localiza en el extremo occidental de la división Alao, está relacionada con la falla Peltetec y con el proceso de acreción Peltetec-Palenque. Éste evento ocurrido durante el Cretácico, es considerado el principal evento tectono-metamórfico, que afectó a las rocas de edad jurásica-cretácica de la cordillera Real.

Según la literatura (cf. Aspden y Litherland 1.992, y sus fuentes), la subdivisión Peltetec comprende una serie de estrechos afloramientos, que están constituidos por

orthoquarcitas, basaltos espilíticos, doleritas, serpentinitas, guabros y peridotitas; comprende también bloques lenticulares menores, tectónicamente imbricados con las litologías citadas, de granito del tipo Tres Lagunas, pertenecientes a la división Loja. Las muestras analizadas de rocas ultrabásicas son del tipo **MORB**; otras litologías, aun conservando estructura de corteza oceánica, muestran rasgos de zona de suprasubducción, con características químicas de arco de islas (PRODEMINCA, 2.000).

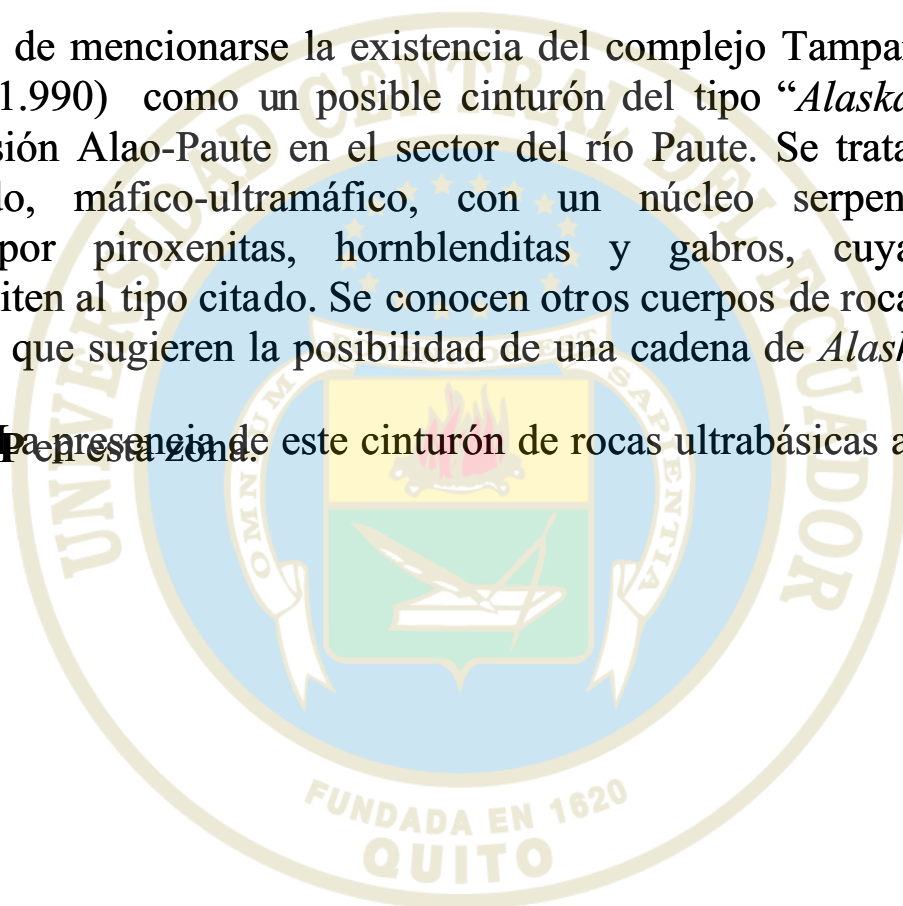
Asociados a las rocas básicas y ultrabásicas del cinturón Peltetec, se han encontrado indicios y anomalías geoquímicas de Ni, Cr y Cu, que no tienen interés económico, al contrario de lo que ocurre con las concentraciones de oro en filones de origen hidrotermal.

5.2.2.2 Arco Volcánico Alao

El arco volcánico Alao está constituido por rocas verdes de la subdivisión Alao - Paute, unidad que comprende metalavas, esquistos verdes, esquistos pelíticos y grafiticos, cuarcitas y mármoles. Desde el punto de vista geoquímico, se trata de basaltos de fondo oceánico. La unidad Alao-Paute ha sido interpretada como “un arco de islas oceánico con presencia subordinada de sedimentos de aguas profundas” (PRODEMINCA, 2.000).

Dentro del arco volcánico Alao se documenta la existencia de tres depósitos de **SMV**: Las Pilas, Guarumales y Cruzacta.

De otro lado, ha de mencionarse la existencia del complejo Tampanchi, considerado por Litherland (1.990) como un posible cinturón del tipo “*Alaskan pipes*”, el cual corta la subdivisión Alao-Paute en el sector del río Paute. Se trata de un complejo intrusivo zonado, máfico-ultramáfico, con un núcleo serpentinitico envuelto sucesivamente por piroxenitas, hornblenditas y gabros, cuyas características petrológicas remiten al tipo citado. Se conocen otros cuerpos de rocas ultramáficas en el mismo sector, que sugieren la posibilidad de una cadena de *Alaskan pipes* de edad cretácica tardía. La presencia de este cinturón de rocas ultrabásicas abre la posibilidad de encontrar EGP en esta zona.



CAPÍTULO VI

PRINCIPALES FALLAS Y ZONAS FALLADAS DE LOS ANDES ECUATORIANOS

En la estructura de los Andes ecuatorianos, así como en la de todo el cinturón orogénico de los Andes, las fallas de diferente rango y tipo, juegan un papel muy importante. Por esencia todo el cinturón se presenta atravesado por fallas y sistemas de fallas que se desarrollaron a lo largo de la frontera entre la plataforma sudamericana y el océano Pacífico desde la segunda mitad del Proterozoico tardío hasta el Terciario inclusive.

En relación a la orientación de las principales estructuras andinas, las fallas se dividen en longitudinales, transversales y diagonales. De otro lado estas fallas, sistemas de fallas, o zonas de sutura, constituyen los límites de las zonas estructuro-formacionales (ZEF) y de los segmentos aislados del cinturón Andino, que se caracterizan por tener una historia geológica diferente. (Fig. No. 22)

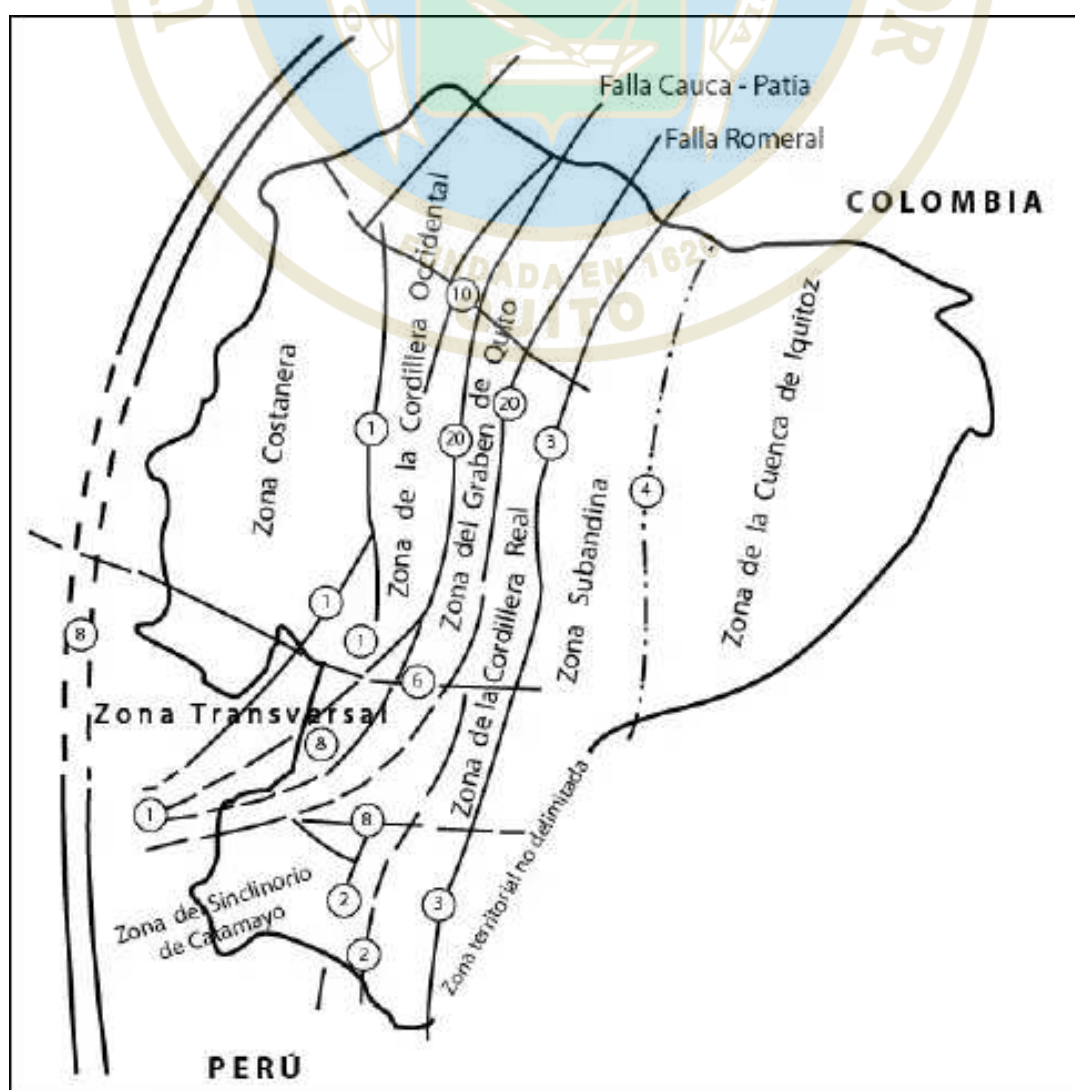


Fig. No. 22.- Principales fallas y zonas falladas del Ecuador.
(Con utilización de materiales del mapa de: Aspden y Litherland, 1.992)

- 1.- Falla oriental
- 2.- Falla precordillera
- 3.- Falla Peltetec – frente Baños
- 4.- Falla Calacalí – Pallatanga – Palenque
- 5.- Falla de la cordillera Occidental
- 6.- Falla Cañar – Carnegie
- 7.- Falla las Palmas – Arenillas – Portovelo
- 8.- Fallas de la zona Grijalva
- 9.- Fosa marginal
- 10.- Falla Esmeraldas – Quito
- 11.- Zona Transversal Puná – Méndez

6.1 FALLAS LONGITUDINALES

Las fallas longitudinales, definen la posición de la estructura montañosa plegada de los Andes, se extienden a lo largo de cientos de kilómetros, atraviesan el territorio del

Ecuador en dirección noreste y limitan las principales zonas estructuro-formacionales (ZEF). Las fallas más grandes que a continuación se describen son: falla Oriental, falla Precordillera, fallas del graben de Quito (falla Calacalí-Pallatanga-Palenque; sistema Peltetec-frente Baños-las Aradas), y la falla de la cordillera Occidental (Fig. No. 22).

6.1.1 FALLA ORIENTAL

Se localiza en el límite entre la zona Subandina con la cuenca de Iquitos. En la actualidad esta falla, se manifiesta como una enorme falla inversa, más exactamente, como un sistema de fallas inversas paralelas y cercanas entre sí, que buzan fuertemente al oeste. A lo largo de este sistema de fallas las rocas jurásicas y cretácicas de la zona Subandina están sobrecorridas y en contacto con las formaciones de rocas de edad Eoceno-pliocénicas de la cuenca de Iquitos (Fig. No. 23)

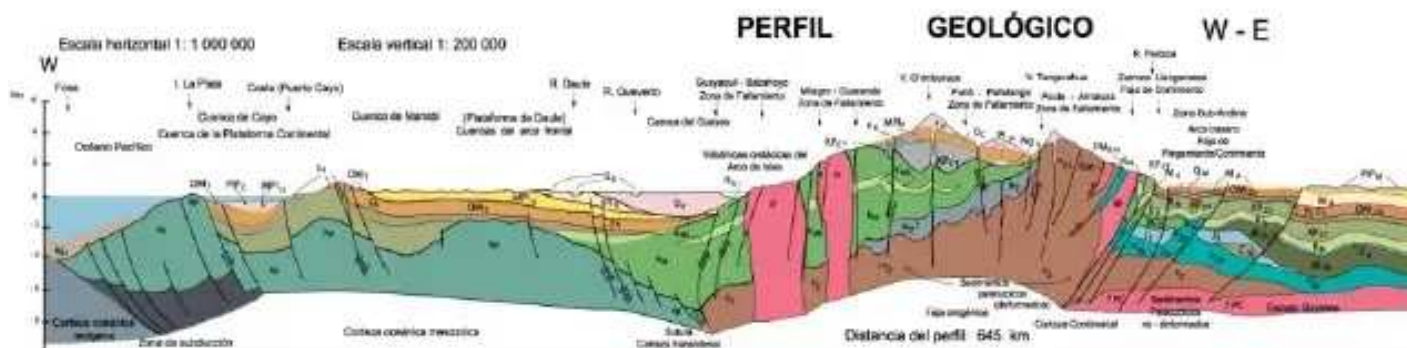


Fig. No. 23.- Corte geológico de los Andes Ecuatorianos, Baldock, año 1982

En la faja de influencia de la falla se acuñan las rocas metamórficas paleozoicas, ampliamente difundidas más al oeste, en la cordillera Real, así como las formaciones

del Paleozoico-superior: Pumbuiza y Macuma; y, las rocas de la formación Santiago, pertenecientes al Jurásico-inferior.

Las rocas de las formaciones Chapiza, Hollín y Napo, que yacen en ambos lados de la falla, tienen una potencia que se caracteriza por ser mayor en la zona Subandina y menor en la cuenca de Iquitos.

Por consiguiente, desde el Devónico temprano hasta el Maestrichtiano, los movimientos por la falla Oriental se han reflejado preponderantemente en el hundimiento del bloque occidental.

El levantamiento activo que llevó a la formación de la falla inversa, empezó al final del Mioceno, comienzos del Plioceno y continúa en la actualidad.

De esta manera, la falla Oriental durante largo tiempo ha realizado el papel de frontera estable entre la plataforma brasileña (escudo brasileño- guayanés) y el cinturón móvil de los Andes. La posición de esta falla se ha conservado invariable pese a los cambios reiterados del régimen de desarrollo tectónico, tanto de todo el cinturón andino, como de sus ZEF separadas, y pese al ensanchamiento del segmento ecuatorial del cinturón Andino como resultado de la adición de bloques al Continente.

De este modo, la falla Oriental constituye una de las más importantes fallas longitudinales del cinturón Andino, la cual permanentemente sirvió de límite “pantalla” para los procesos profundos que han venido desarrollándose.

6.1.2 FALLA PRE-CORDILLERA (ZONA DE ESCAMAS)

Este sistema de fallas, está claramente expresada en el actual relieve, el cual forma un escalón hacia el oriente, el mismo que se observa a lo largo de los Andes nórdicos y centrales. Se trata de un sistema de fallas que constituyen el límite entre la cordillera Real y la zona Subandina.

En la actualidad, esta estructura está representada por un sistema de fallas inversas y paralelas, que forman un sistema de escamas, con buzamientos hacia el oeste, los mismos que cortan a los estratos adyacentes a la falla, los cuales están constituidos por rocas jurásicas, cretácicas y terciarias, dispuestas en pliegues lineales con vergencia al este. El ancho de la zona fallada alcanza 20 k. a juzgar por su labio principal (bloque oeste). A lo largo de la zona de escamas, las rocas metamórficas que conforman la cordillera Real están sobrecorridas sobre las formaciones de rocas sedimentarias de la zona Subandina de edad Devónico-terciaria.

Esta falla constituye el límite oeste de la zona de difusión de las rocas de edad

Devónico-carbonífera de las formaciones Pumbuiza y Macuma; controla además el volcanismo del Terciario superior y jurásico inicial. DURANTE el Jurásico a lo largo de esta falla se produjo la intrusión de tres enormes batolitos (de sur a norte): de

Zamora, Abitagua y La Bonita, el conjunto de rocas magmáticas tanto intrusivas como efusivas constituyen el arco volcánico continental de edad jurásica, con el cual se encuentran relacionados los yacimientos de cobre-molibdeno y de oro-plata, más importantes del Ecuador.

En el Neocomiano, a través de esta falla la actividad magmática continua y se manifiesta con el derramamiento de lavas, que constituyen el miembro superior de la formación Chapiza (miembro Misahuallí).

La formación de fallas inversas y de pliegues inclinados, con vergencia hacia el este, tuvieron lugar durante el Mioceno. Poco más tarde, a través de este sistema de fallas, se produjo la extrusión de lavas de composición alcalina y basáltica. La actividad volcánica continúa hasta el presente a través de tres volcanes activos dispuestos a lo largo de la zona fallada. De sur a norte estos volcanes son: El Sangay, El Sumaco y El Reventador.

Los fuertes terremotos, como el ocurrido en marzo de 1987, que alcanzó una intensidad cercana a los 8 grados en la escala de Richter, son testimonio de actuales movimientos, activos por cierto, en la zona de la falla.

De este modo, la falla Precordillera, al igual que la falla Oriental, constituye una estructura de largo desarrollo geológico, se originó en el Devónico (formación Pumbuiza) o probablemente mucho antes. En la actualidad esta falla continua activa y su posición coincide con la del frente volcánico activo, los movimientos que ocurren a lo largo de ella son del tipo transcurrente dextral.

6.1.3 FALLAS DEL GRABEN DE QUITO

La falla Calacalí-Pallatanga-Palenque (**FCPP**) se presenta como el extremo occidental del graben de Quito, así mismo la zona constituida por la falla Peltetec y el frente Baños se presenta como el límite oriental del graben. De este modo las fallas del graben de Quito se concentran en una franja de 40-60 k. de ancho, en cuyos límites están localizados (de norte a sur) el graben de Quito (Neógeno-Cuaternario), la cuenca de Biblián-Azogues (Mioceno-Cuaternario) y el graben de Catamayo-Cariamanga-Huancabamba (Paleógeno).

La **FCPP** pasa por el límite entre las **ZEF** del terreno Chaucha y de la cordillera Occidental. El plano de la falla buza fuertemente al este y separa las formaciones de rocas mesozoicas que constituyen el arco volcánico Macuchi, de las rocas metamórficas del terreno Chaucha y de las rocas que cubren a este ultimo formando los grabens anteriormente indicados de edad Paleogénico-cuaternaria.

Las rocas metamórficas del Paleozoico, contiguas a la falla, están comprimidas (dislocadas) en pliegues lineales isoclinales. En la cordillera Occidental los pliegues

pre-falla de las rocas mesozoicas conservan una vergencia al oeste y sus planos axiales buzan al este.

De esta manera, en la estructura actual, esta falla se presenta como normal con componente transcurrente dextral, a lo largo de la cual se encuentra hundido el bloque oriental.

La falla controla el magmatismo granitoide y andesítico de edad terciaria (sobre la falla se sitúa la cadena de volcanes Plioceno -cuaternarios de composición andesito-dacítica). En la parte central y norte del Ecuador (Andes nórdicos) con la falla coincide el límite de dos grandes bloques, de los cuales el oriental, según datos geofísicos, está constituido por corteza de tipo continental (granítica) y el occidental, por corteza de tipo oceánico (basáltica) (Fig. No. 23).

La **FCPP**, constituyó una zona de sutura, durante el Paleoceno-Eoceno superior, a lo largo de ella se produjo la colisión del arco volcánico Macuchi contra el continente. Como se anotó antes, entre las rocas que constituyen esta faja, encontramos rocas ultrabásicas serpentinizadas (peridotitas y dunitas con indicios de cromitas) y basaltos. Los afloramientos de hiperbasitos han sido encontrados y descritos de norte a sur: en Calacal Saloya (Tuteau et al, 1.977), Pujilí (Baldock, 1.982), Pallatanga (Lebrat et al, 1.985; Duque y Santos, 1.985).

La zona constituida por la falla Peltetec y el frente Baños (**FPFB**) constituye el límite oriental del graben de Quito, esta zona de sutura continúa en Colombia, con el nombre de Romeral. El plano de las fallas buza fuertemente al occidente y a veces es vertical. Las rocas metamórficas de la cordillera Real dispuestas al este, se encuentran arrugadas en pliegues lineales fuertemente comprimidos con vergencia al este. La esquistocidad y el bandeo metamórfico caen fuertemente (70-80° W).

Las formaciones Neógeno-cuaternarias que conforman el graben de Quito yacen casi horizontalmente en el interior de este último y solamente cerca de la falla buzan en dirección Oeste. Con la falla están relacionadas las rocas volcánicas de edad Neógeno-Cuaternaria de composición andesito-basáltica. Además a lo largo de la misma se extiende la cadena de grandes estratovolcanes de edad Plio-pleistocénica.

De esta manera, en la actual estructura, la **FPFB** constituye un sistema de fallas normales, a través de las cuales, muchas veces en forma escalonada, el bloque (labio) occidental está hundido. El graben de Quito por todas sus características, constituye una cuenca intermontañosa tipo Rift-trough limitada por fallas normales.

Muchos cuerpos ultrabásicos (serpentinitas) también están relacionados con esta zona de sutura. Tales cuerpos son supuestamente de edad jurásica y forman el cinturón ofiolítico Romeral en Colombia, el mismo que se extiende hacia el Ecuador en la

FPFB a lo largo del flanco occidental de la cordillera Central de Real. Los fragmentos ofiolíticos de este cinturón denominados Peltetec y Río Blanco fueron delimitados por Aspden y otros (1.986).

A la zona de sutura Peltetec, está relacionado el proceso de acreción Peltetec-Palenque, periodo en el cual los terrenos Chaucha acresionaron a la cordillera Real. Este evento ocurrió durante el Jurásico superior- Cretácico inferior y es considerado el principal evento tectónico-metamórfico, que afectó a las formaciones de rocas de edad Jurásico-cretácica de la cordillera Real.

Según la literatura (cf. Aspden y Litherland, 1.992 y sus fuentes) la sutura Peltetec (subdivisión Peltetec) comprende una serie de estrechos afloramientos, que están constituidos por cherts y filitas, sedimentos y volcanitas silíceas finas, pizarras negras, picritas, ortocuarcitas, basaltos espiliticos, doleritas, serpentinitas, gabros y peridotitas; comprende también bloques lenticulares menores, tectónicamente imbricados con las litologías citadas, de granito del tipo Tres Lagunas, perteneciente a la división Loja. Las muestras analizadas de rocas ultrabásicas son del tipo **MORB** (PRODEMINCA 2.000).

Dentro del modelo de la nueva tectónica global las dos zonas de sutura descritas **FCPP** y **FPFB** se interpretan como paleozonas de subducción. Como se anotó antes por la sutura **FPFB** se produjo la acreción de los terrenos Chaucha a la corteza continental en el período Jurásico superior- Cretácico inferior (Aspden y McCourt, 1.986) y por la sutura **FCPP**, se produjo, la acreción del arco volcánico Macuchi al continente en el intervalo de tiempo que va desde el Paleoceno al Eoceno medio (Aspden y McCourt, 1.984; Feininger y Bristow, 1.980).

6.1.4 FALLA DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL

Se inicia en el golfo de Guayaquil hasta la frontera norte y continúa por Colombia. En territorio del Ecuador, esta falla constituye el límite entre la zona Costanera y la cordillera Occidental. En la parte sur, en un tramo significativo, la falla se encuentra cubierta por los sedimentos Plioceno-cuaternarios de la cuenca meridional y alargada de Quevedo, localizada en el labio occidental de la falla. Solamente en el norte, donde la falla toma un rumbo noreste, se observa que ella separa la cuenca de Borbón, conformada por sedimentos de edad eocénica y más jóvenes de las rocas volcánicas, que constituyen el arco Macuchi y posiblemente las volcanitas Piñón que constituyen la corteza oceánica (basamento del arco volcánico Macuchi).

Las rocas más antiguas en ambos lados de la falla, están constituidas por las rocas volcánicas de la formación Piñón. En el labio occidental, hundido de la falla, las rocas volcánicas están cubiertas por formaciones de rocas más jóvenes, en el labio oriental levantado en cambio afloran las rocas volcánicas más antiguas que constituyen la cordillera Occidental.

Examinando la posición de las rocas magmáticas en la zona de la falla y en las superficies adyacentes, se puede constatar que para esta falla es característica una

gran actividad magmática. Esta actividad empieza en el Cretácico temprano con los afloramientos de basaltos telúricos, los cuales son reemplazados por volcánicos calco-alcalinos de edad cretácica tardía-paleogénica, cuya composición varía desde

basaltos andesíticos hasta riolitas y andesitas. Esta falla ocupa la posición actual, a partir del Eoceno-superior, tiempo en el cual se produce la acreción del arco volcánico de islas (Macuchi) al continente.

6.2 ESTRUCTURAS Y FALLAS TRANSVERSALES

En la estructura tectónica del cinturón montañoso de los Andes ecuatorianos, un gran rol han jugado las fallas orientadas en sentido transversal (cercano al E-O), las cuales sirven de límite a algunos segmentos del cinturón Andino y del cinturón de los Andes ecuatorianos, segmentos que se caracterizan por tener una construcción geológica y una evolución histórica diferente. Las fallas y zonas de fallas transversales se representan morfológicamente por elementos de la topografía: cadenas montañosas transversales, valles de los ríos, bruscos cambios en la orientación de las cadenas montañosas y estructuras de primer orden, etc. etc. y también por la construcción geológica de estos segmentos, por cuanto en los límites de los mismos, se concentran formaciones específicas de rocas sedimentarias y magmáticas.

En el territorio del Ecuador a la principal zona de estructuras y fallas transversales, la ~~denominada~~ **zona transversal Puna-Méndez (Paladines, A. 1989)**. Esta zona localizada entre los 2°15' y 4° de latitud Sur atraviesa todas las zonas estructurales de los Andes ecuatorianos, descritas anteriormente, además esta zona representa el límite entre los Andes nórdicos y los Andes centrales del cinturón Andino. La zona transversal Puna-Méndez (**ZTPM**), forma ha su vez parte de la deflexión de Huancabamba y de una estructura transcontinental paralela a la línea Ecuador. Su continuación inmediata hacia el este está representada por el lineamiento que se extiende a lo largo del eje del río Amazonas, hacia el oeste en el océano Pacífico tiene su expresión en la estructura transversal de la cordillera submarina de Carnegie y la dorsal Galápagos.

La **ZTPM** está limitada al norte por la cordillera de Chongón Colonche (cuyo núcleo está constituido de corteza oceánica) y al sur por la cordillera de Tahuín (cuyo núcleo está constituido de corteza continental), además dentro de esta zona se localizan las fallas: Cañar-Carnegie al norte, Jubones en la parte central y Las Palmas-Arenillas-Portovelo al sur.

Al sur de la **ZTPM**, a lo largo de la falla Las Palmas-Arenillas-Portovelo esquistos cristalinos y gneises de edad precámbrica, esquistos micaceos de edad paleozoica, ultrabasitas y esquistos verdes a ellas asociadas, así como las rocas sedimentarias de las formaciones Cazaderos, Zapotillo, Zambí y otras de edad cretácica se encuentran orientados en sentido transversal. Al norte a lo largo de la falla Cañar-Carnegie se han fijado rumbos transversales (antiandinos) en los pliegues formados en los basaltos toleíticos de edad cretácica inferior, en las calizas de edad eocénica, en los olitostromas de edad eocénica superior del complejo Santa Elena, así como en las

formaciones sedimentarias marinas de edad terciaria superior. Toda las estructuras de plegues, fallas y capas de la cuenca Progreso, situada al sur de la cordillera de

Chongón-Colonche, se desarrollan, desde el Cretácico inferior hasta la actualidad, conservando una dirección cercana a la transversal.

Desde el punto de vista regional, hacia la **ZTPM** convergen dos cinturones volcano-plutónicos: el cinturón Araucano-Calipuy-Saraguro, característico de los Andes centrales y el cinturón Ofiolítico, característico de los Andes nórdicos, los cuales tienen una evolución diferente y, en conjunto, constituyen la cordillera Occidental de los Andes sudamericanos.

Para los Andes centrales (arco Célica-Casma) la fase principal de plegamiento se produce a fines del Campaniano (fase peruana), mientras que en los Andes nórdicos, la fase principal de acreción y plegamiento (arco Macuchi) tiene lugar en el Eoceno superior (fase incaica). Para la región nórdica es característico el plegamiento lineal en los complejos mesozoicos, mientras que en el sur el plegamiento de las rocas de edad similar es de tipo braquiforme. De igual manera, el batolito de Tangua, de edad Cretácica superior, al sur del Ecuador representa la última manifestación del batolito de la costa del Perú, mientras que los batolitos intruidos en la cordillera Occidental al norte, son de edad Oligoceno-miocénica. Para los Andes nórdicos la migración del magmatismo durante el Mesozoico ocurrió de Este a Oeste, mientras que para los Andes centrales en este mismo período, la migración del magmatismo ocurrió en sentido contrario.

En la etapa orogénica de evolución de estos dos segmentos del cinturón Andino, para los Andes centrales es característico la formación de cuencas sedimentarias lacustres con lignito y yeso de edad miocénica, mientras que en los Andes nórdicos se desarrollan estructuras de grabens en forma de rampa, rellenos de formaciones de rocas volcánicas de edad Plio-pleistocénica, los cuales a lo largo de las dos cordilleras están coronados por grandes estratovolcanes.

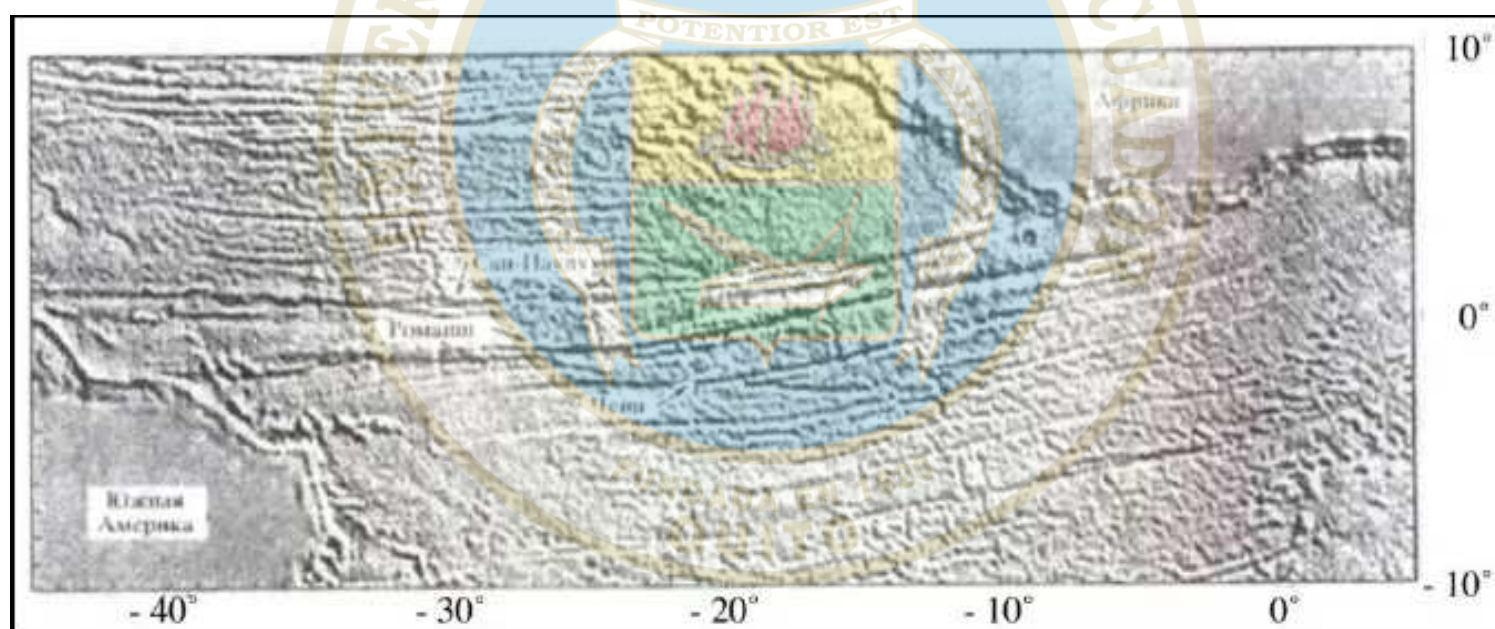
Por todo lo señalado, las regiones norte y sur del margen occidental de los Andes ecuatorianos representan la transición entre los Andes nórdicos y los Andes centrales de América del Sur, teniendo un basamento ensimático (corteza oceánica) los Andes nórdicos, mientras que el basamento de los Andes centrales es ensialítico (corteza continental). Así mismo, es característico para los Andes nórdicos la acreción de terrenos a lo largo de su borde occidental activo, mientras que para los Andes centrales lo característico es la erosión de terrenos a lo largo de este borde, ambos cinturones se terminan en los límites o dentro de la **ZTPM**.

En la zona oriental del cinturón Andino, la presencia de estructuras transversales dentro de la **ZTPM**, se evidencia en la orientación transversal del eje de los pliegues de la formación Pumbuiza de edad devónica, además en los mapas de hipocentros sísmicos se observa que los hipocentros de los micro sismos se orientan a lo largo de estructuras E-O, esto se confirma además con datos de levantamiento geológico y

observaciones geomorfológicas (Almeida, J.P. comunicación personal). En la hoja geológica de Macas a escala 1:100.000, en los bloques levantados, se observa las

rocas metamórficas precámbricas; en las cuales el eje de los pliegues tiene una orientación E-O.

En el continente Sudamericano, con la orientación del lineamiento transcontinental paralelo a la línea Ecuador, coincide el **eje amazónico**, una estructura única por su extensión e historia de desarrollo geológico. El Rift amazónico tiene una extensión mayor a los 1.100 k. y en la morfoestructura actual del continente se presenta como una depresión a lo largo de la cual corre (atraviesa) el río Amazonas (Fig. No. 24). En la formación del Rift amazónico se han documentado formaciones y series de rocas de edad paleozoica, jurásica y cretácica, las cuales en gran parte se encuentran cubiertas por sedimentos de edad Plioceno- cuaternaria. Una particularidad del **Rift amazónico** es la de que está constituido de una potente serie de basaltos de edad devónica, su exploración reportó anomalías gravimétricas positivas (Avdonín, A.B, Dolginov, E.A., 2.004).



Zona de fallas transversales entre los continentes sudamericano y África.

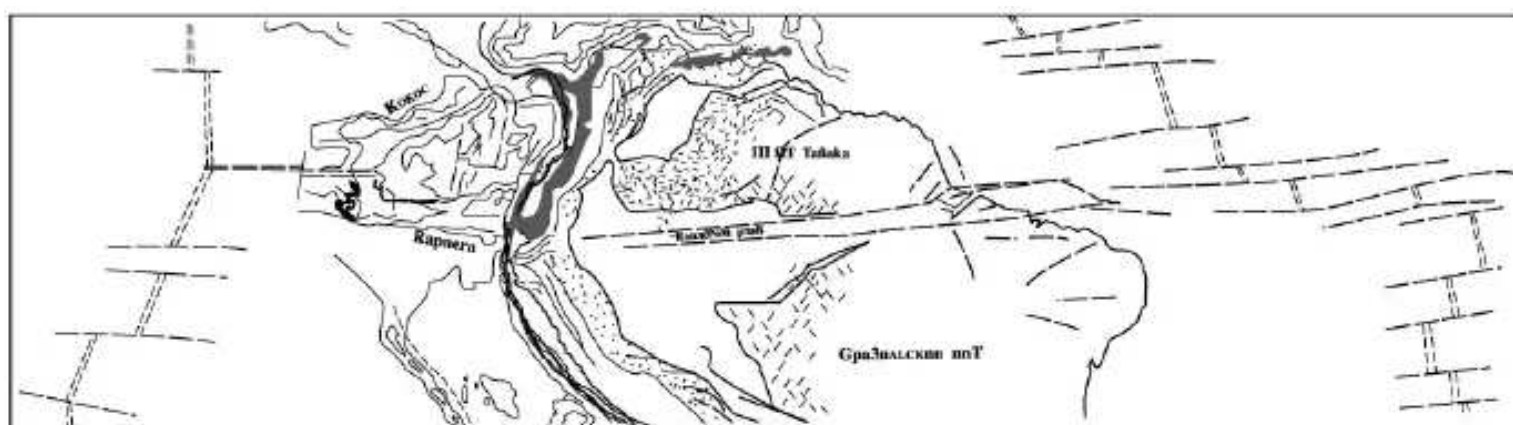


Fig. No. 24.- Esquema de la localización del Rift Amazónico, la cordillera submarina de Carnegie y la dorsal Galápagos.

El lineamiento transcontinental en el continente sudamericano, no solo se expresa como el Rift amazónico, sino que también constituye el límite entre dos provincias tectónicas de diferente edad en este continente. Hacia el norte se sitúa el gran escudo Guayanés, el basamento del cual se consolidó a mediados del Proterozoico inferior, a fines del cual ocurrió la depositación de potentes formaciones de sedimentos terrígenos de color rojo de la serie Roraima, y la intrusión de doleritas de la formación Traps. Posteriormente el cratón se levanto constituyendo el escudo guayanés hasta el Cenoozoico, solo a fines de este periodo el escudo nuevamente experimenta un hundimiento y gran parte de él, es cubierto por sedimentos de edad neogenica.

Al sur del lineamiento, la estructura tectónica del basamento precámbrico, se caracteriza por estar constituida por varios escudos de edad arcaica y proterozoica y por cinturones plegados del proterozoico superior (brasilianos), dispuestos en sentido submeridional: cinturón granulítico del Atlántico, y cinturón supra cristalino brasiliano. Se considera que el origen del Rift amazónico ocurrió como resultado del proceso postbrasiliano (Pan-africano), en el cual se produjo la colisión del continente norte más antiguo con el del sur más joven (Burke, Lytwyn, 1.993). El complejo platafórmico en la provincia tectónica del sur esta constituida por formaciones y series del Precámbrico que cubren al escudo de San Francisco por series y formaciones del Paleozoico y Mesozoico que cubren las depresiones del Parana y Paranaíba; y por basaltos (traps) del Jurásico y Cretácico. Las provincias tectónicas norte y sur, tienen una construcción tectónica diferente, lo que se evidencia en diferentes datos de sus campos gravitacional y compresivo.

La continuación inmediata hacia el occidente de la ZTPM, está representada por la cordillera submarina asísmica de Carnegie, la cual en la actualidad continúa subduciéndose debajo de los Andes ecuatorianos; y más al oeste por la dorsal Galápagos (límite entre las placas de Nazca y Cocos), ambas estructuras están dispuestas en sentido E-O.

La existencia del lineamiento Transcontinental, en los océanos Atlántico y Pacífico, así como en el continente africano, se describe en el libro “Lineamientos globales transversales y su significado en el desarrollo estructural y geodinámico de la Tierra” (Avdonin, A.B., Dolginov, E.A., 2.004).

6.3 FALLAS DIAGONALES

Forman un sistema de fallas con rumbos noroeste y noreste. Su papel en la configuración de los Andes es menos significativo que el de los grupos de fallas arriba descritos.

El grupo de fallas con rumbo noreste está bien definido en la región del golfo de Guayaquil. Aquí; éstas fallas pertenecientes a la zona de las fallas Grijalva, se observan desde el golfo hasta el continente, siendo las más importantes las fallas Puna-Pallatanga, Jambeli-Naranjal y otras (Fig. No. 22).

En el sector de unión de estas fallas con las de la zona transversal Puná-Méndez (falla Cañar-Carnegie) se sitúa la cuenca Progreso.

La fijación de la cuenca Progreso con estas fallas, se explica por la fuerte flexión de su eje. Cerca de extremo sur de la cordillera Chongón-Colonche, el eje de la cuenca tiene un rumbo sureste y en la isla Puná el rumbo de este mismo eje se vuelve noreste paralelo a la zona de fallas Grijalva.

La falla Esmeraldas-Quito, expresada en horts y grabens en la zona Costanera, representa a las fallas diagonales de rumbo noreste.

En su continuación, dentro de los límites del arco de la cordillera Occidental, se localiza el graben de Mindo. La falla constituye, por otro lado, el límite norte de la cuenca Quevedo, rellena de sedimentos cuaternarios continentales, transportados desde la cordillera Occidental. Lo último confirma el levantamiento neotectónico, del bloque nororiental, a lo largo de la falla.

Ciertamente, en la zona estructuro-formacional de la cordillera Occidental del Ecuador y Colombia, no se puede considerar casual e independiente de la falla el intensivo plegamiento prealbiano y el metamorfismo regional de las formaciones de edad cretácea inferior, localizadas hacia el norte de la falla Esmeraldas-Quito. Estas formaciones fueron comprimidas en pliegues volteados al este, en dirección de la cordillera Central y no al oeste, como se observa en las regiones localizadas al sur de la falla.

De esta manera, a lo largo de las fallas diagonales, los movimientos que han tenido lugar, se fijan solamente durante la época Meso-terciaria.

La investigación realizada sobre las fallas de los Andes ecuatorianos, de su distribución, interrelación de unas con otras y con las estructuras plegadas, de su papel en el control de la distribución de las formaciones sedimentarias y magmáticas, ha permitido hacer algunas conclusiones importantes:

1. Como se deduce de la descripción de las fallas y del estudio de los cortes geológicos de los Andes ecuatorianos, las fallas longitudinales en la estructura Andina forman un sistema en forma de abanico, en cuyo núcleo se sitúa la cordillera Real. El abanico que sale del interior de las fallas se destaca por los pliegues que le acompañan; Así pues, las fallas y planos axiales de las rocas mesozoicas y terciarias localizadas al oeste de la cordillera Real, buzan al este, y aquellos localizados al este buzan al oeste (Fig. No. 20).
2. El control claro y expreso de los productos de la actividad magmática mediante

las fallas habla acerca de la migración lateral del proceso magmático. En el segmento sur de los Andes ecuatorianos, y específicamente al sur de la zona fallada Puná-Méndez, el magmatismo desde el Triásico al Jurásico superior ha migrado de oeste a este, es decir como en los Andes centrales. Desde el Jurásico superior hasta el Mioceno medio, la migración del proceso magmático en los Andes ecuatorianos ocurrió de este a oeste y posteriormente, desde el Mioceno tardío hasta la actualidad, de oeste a este.

3. Las fallas transversales de la zona Puná-Méndez al igual que las fallas longitudinales han funcionado desde el Precámbrico tardío y continúan activas en la actualidad. Por consiguiente, la malla de fallas ha existido en todas las estadias de desarrollo del cinturón móvil de los Andes, controlando la distribución de las formaciones magmáticas y sedimentarias.



CAPÍTULO VII

HISTORIA DEL DESARROLLO GEOLÓGICO DEL ECUADOR

Como resultado del análisis efectuado de la información geológica existente, se ha podido procesar una serie de particularidades importantes sobre el desarrollo de los Andes ecuatorianos, que tienen gran significado para la evaluación de la concepción acresional existente acerca de la evolución del cinturón Andino. Entre ellas tenemos:

- Un largo desarrollo en las regiones tectónicas autónomas de las principales zonas estructuro-formacionales.
- Una diferencia marcada en el desarrollo de los segmentos norte (ecuatoriano-colombiano) y central (ecuatoriano-peruano), divididos por la zona transversal Puna-Mendez (**ZTPM**) de origen antiguo.
- Una interrelación tectónica en cuanto se refiere al desarrollo de los bloques estructuro-formacionales occidentales y orientales, en el segmento norte de los Andes ecuatorianos.
- La realización sincronizada de la etapa principal de orogénesis.

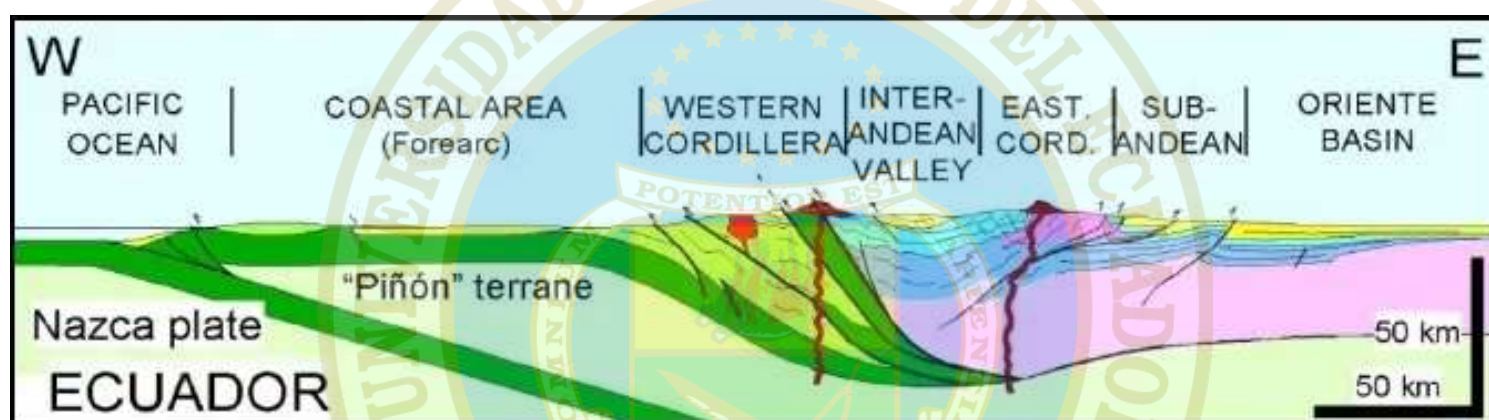
Acerca de la historia precámbrica y paleozoica temprana del desarrollo de los Andes ecuatorianos existen pocos estudios. Se ha demostrado (Kronenberg, 1.982) que los Andes ecuatorianos y colombianos se sobrepusieron y originaron a lo largo del

simulón granítico de Santa Martha Garzón, de edad precámbrica temprana, el cual sufrió en la unidad del Proterozoico tardío una intensa fase termotectogénica.

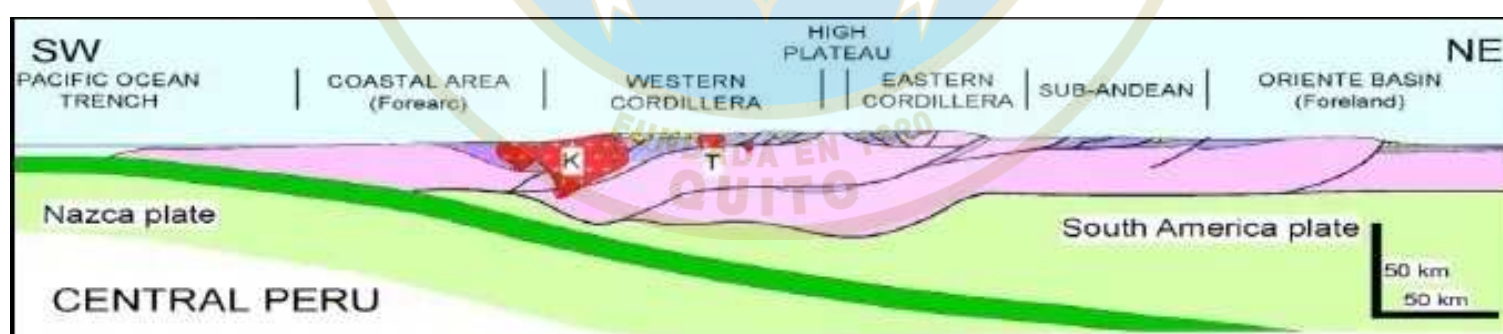
El rumbo transversal en relación a los Andes de las rocas metamórficas del Proterozoico tardío en la zona de la cordillera de Tahuín, es testimonio del aparecimiento muy temprano de la zona transversal Puna Mendez **ZTPM** y junto a ella, probablemente el aparecimiento de la zonación tectónica transversal muy significativa del cinturón de los Andes ecuatorianos. Esta conclusión está muy acorde con el tiempo de origen del lineamiento transcontinental amazónico, del cual forma parte la **ZTPM**. Muestras de rocas metamórficas tomadas cerca de Papallacta en la cordillera Real y de amfibolitas de la unidad Piedras cerca de Portovelo, con el método K/Ar, reportan edades del proterozoico superior. Según Faininger T. (1.975), la unidad Piedras habría sido formada en una dorsal precámbrica y sometida al metamorfismo durante el Precámbrico tardío.

Los Andes, como cinturón móvil se originaron posiblemente en el Precámbrico tardío, durante el episodio termo-tectónico niqueriano ocurrido hace (1.300-1.100 millones de años). Durante este episodio a lo largo del margen occidental de América del Sur su substrato protocontinental (protolito con una edad de 3.000-3.500 millones de años) experimentó un dinamometamorfismo de altas presiones.

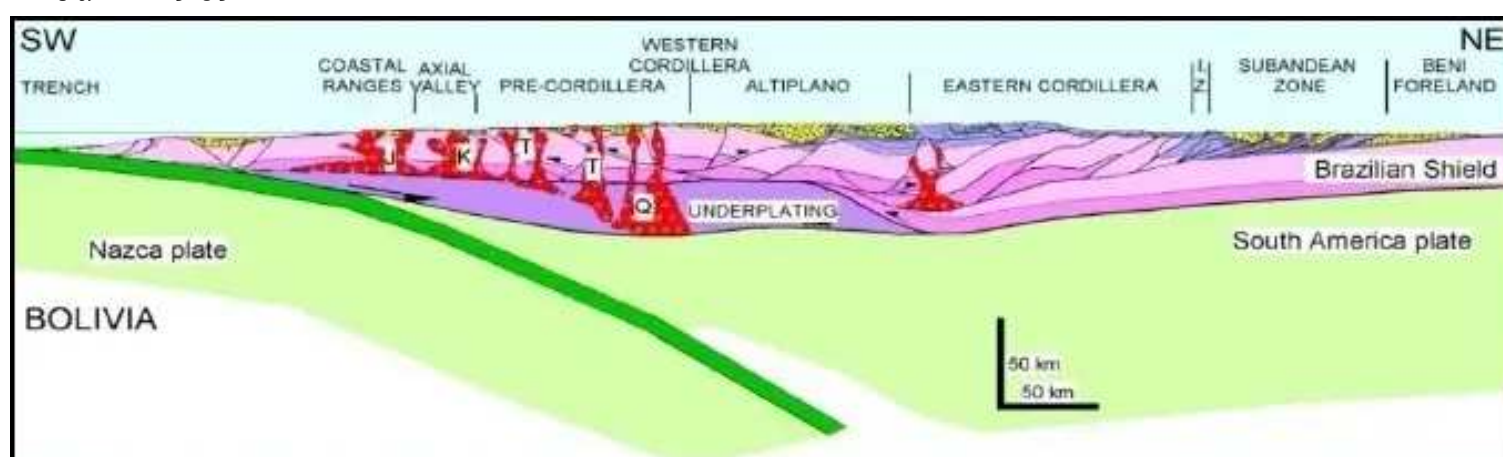
La presencia de relictos de la facies granulítica, entre rocas precámbricas del cinturón en afloramientos encontrados en Chile y Perú da la pauta para sostener que este cinturón granulítico se desarrolló en el episodio señalado a lo largo de todo el margen occidental del Continente. El basamento de las cordilleras: Occidental y de la Costa de Perú y Chile está constituido de rocas metamórficas de edad precámbrica (Fig. No. 25 y 26).



Mégard 1989



Moulin 1989



Rochat 2002

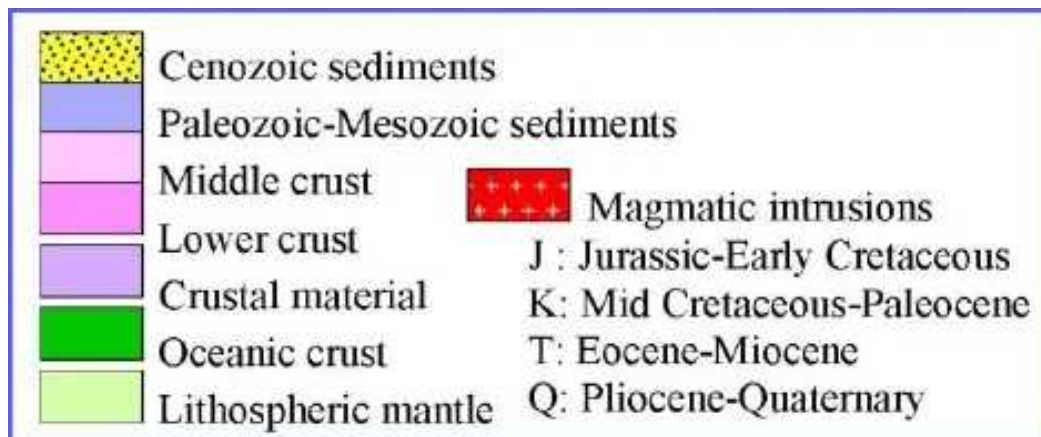


Fig. No. 25.- Cortes geológicos de los Andes Nórdicos (Ecuador) y Centrales (Perú y Bolivia)

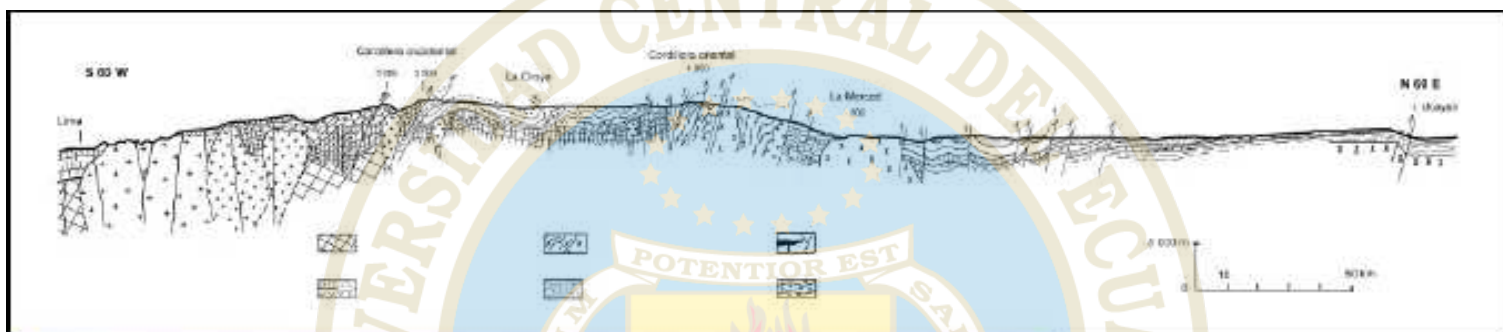


Fig. No. 26.- Corte geológico de los Andes Peruanos (a la latitud de Lima). Los Andes centrales se desarrollan sobre corteza de tipo continental.

Por cuanto el metamorfismo granulítico zonal aparece debido al tectonismo y a fuerzas de stress intensas se puede decir que en el Precámbrico tardío el cinturón Andino ya representaba un sistema geodinámico activo, separado de la parte estable del Continente, localizada más al este.

Con el análisis de toda la evolución secuencial del cinturón Andino se aclara la exclusiva estabilidad de su límite oriental (falla oriental) definido ya en el período del suceso tectónico Niqueriano. Este límite ha permanecido estable, como barrera a pesar de los reiterados cambios del régimen de desarrollo, tanto de todo el cinturón, como de sus zonas separadas en el transcurso de toda la historia geológica (Fig. No. 22).

De esto se deduce que los procesos endógenos, que han controlado la tectónica y magmatismo en el Paleozoico, Mesozoico y Terciario, han sido fuertemente limitados (es decir "programados") por un ancho definido del margen continental activo. La disposición de los sedimentos paleozoicos menos alterados sobre las rocas precámbricas de las facies granulítica dan base para pensar que, antes de la depositación de éstas últimas, los complejos antiguos metamórficos experimentaron un intenso levantamiento y una fuerte erosión.

A juzgar por los cortes pre-mesozoicos de las zonas estrueto-formacionales orientales de los Andes ecuatorianos, es evidente que ellas en el Paleozoico superior

se presentan como zonas de subsidencia. Durante este tiempo se produce la acumulación diferenciada de potentes series areno-arcillosas durante el Devónico (formación Pumbuiza) y carbonato-arcillosas durante el Carbonífero (formación Macuma). El ambiente de depositación de estas dos formaciones corresponde al marino somero de plataforma.

En secuencias turbidíticas del terreno Amotape del Perú, se ha encontrado fauna de edad devónica, estas rocas continúan en el Ecuador; y, están representados por los esquistos verdes y metagrauwacas de las unidades El Tigre y La Victoria de la cordillera de Tahuín.

El hundimiento ocurrido durante el Paleozoico, fue interrumpido en las zonas de las cordilleras Real y de Tahuín; y, en la zona Subandina por un periodo de compresión post-Pumbuiza (eohercynico), el mismo que concluyó con un periodo posterior de compresión post-Macuma (tardiercynico).

El tiempo del diastrofismo hercínico, se expresa en la deformación intensiva y en el metamorfismo zonal de las rocas de la cordillera Real en condiciones de las facies de esquistos verdes y anfibolítica (unidad Chiguinda), la secuencia consiste básicamente de esquistos grafiticos y cloríticos junto con filitas negras, entre los cuales se intercalan lentes de cuarcitas; más al norte ocurren esquistos biotíticos (unidad Agoyan; Litherland y otros, 1.994). Hacia el este, según el criterio de los mismos autores otra unidad o división litotectónica de edad paleozoica es la Sabanilla-Tres Lagunas constituida de granitoides deformados, migmatitas, orto y paragneises. Un cambio similar de facies metamórficas se observa en la cordillera de Tahuín, cuando se realiza un corte desde el río Puyango hacia el norte, el cual va desde esquistos a esquistos verdes, esquistos anfibolíticos, hasta migmatitas orto y paragneises, que constituyen las unidades El Tigre, La Victoria y Moro Moro.

El más alto metamorfismo de las rocas paleozoicas en los bloques de las cordilleras de Tahuín y Real, en comparación con el de la zona Subandina señala ya el desarrollo geoanticlinal de las primeras al final del Paleozoico.

La coincidencia del rumbo de los esquistos paleozoicos con la dirección de las rocas de edad precámbrica en la zona de la cordillera de Tahuín, marca el desarrollo heredado en el transcurso de toda la etapa Pre-mesozoica de la **ZTPM**. La fijación para esta zona de esquistos típicos, destacados en las hojas geológicas en calidad de complejo estratigráfico independiente, podría mirarse como resultado de la influencia de esta estructura transversal en el desarrollo de la cordillera de Tahuín durante el Paleozoico.

La ausencia en los Andes ecuatorianos, así como en otros segmentos del cinturón andino, de las formaciones magmáticas y sedimentarias sinorogénicas del final del ciclo hercínico, aparece como resultado de la no conclusión de este ciclo en los

segmentos señalados. Esta particularidad influyó posiblemente en el desarrollo tectónico activo de las estructuras andinas durante ciclos orogénicos y eventos acrecionales posteriores, ocurridos en el Mesozoico y Terciario.

A comienzos del Mesozoico, la zona de la cordillera Real, originada como ya se indicó, al final del ciclo hercínico, empezó a jugar un papel de barrera estable paleogeográfica y paleotectónica entre la zona de la cuenca pericratónica oriental menos móvil y el borde occidental activo, más móvil de los Andes ecuatorianos.

Al respecto (Baldock, 1982) al referirse a la cordillera Central o Real dice: “durante el Mesozoico, esta cordillera constituyó un eje estructuralmente positivo con núcleos de rocas metamórficas antiguas (anticlinal Maraón) en el centro y norte del Perú, arco Olmos-Zamora Llanganates en Ecuador, y macizo Garzón y cordillera Central ancestral en Colombia. El cambio de rumbo de este eje positivo desde el noroeste al norte del Perú al nor-noreste en el Ecuador y Colombia es interpretado como reflejo del levantamiento en el Paleozoico (o más antiguo) de cinturones móviles arqueados o sublineales que se habían desarrollado alrededor del margen del núcleo cratónico Arcaico”. Con este criterio están de acuerdo los autores, quienes consideran que: **las rocas metamórficas que constituyen las cordilleras Real y de Tahuín se formaron durante el paleozoico y fueron metamorfizadas durante el ciclo orogénico Hercínico (in situ), sobre un basamento Precámbrico** (ver tabla geocronológica).

La ausencia de auténticos sedimentos triásicos y pérmicos en el territorio del Ecuador nos permite pensar que durante este tiempo experimentó un levantamiento al igual que los Andes peruanos. Solo a fines del Triásico se registra el derrame de rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos skarnificados de la formación Piuntza en el sur oriente ecuatoriano, esta formación está constituida de lutitas, calizas, lavas y piroclastos, en la cual se reportan fósiles de bivalvos del Triásico superior (Litherland et al., 1994). La región de hundimiento en este tiempo abarcó la cordillera Oriental de Colombia, donde se depositaron potentes series sedimentarias terrígeno-evaporíticas.

El hundimiento de la cuenca oriental empezó a fines del Triásico y se intensificó en el Liásico. El hundimiento abarcó sólo la parte sur de la zona Subandina, mismo que se encuentra “en el lineamiento” de la **ZTPM.**, aquí en una estrecha depresión se acumularon potentes paquetes de calizas organogénicas silíceas de la formación Santiago.

En este mismo tiempo, a lo largo de la falla Precordillera que representaba el límite entre la cuenca pericratónica Oriental y la cordillera Real, la acumulación de depósitos de naturaleza calcárea fue acompañada con cambios hacia el este a rocas de tipo volcánico, andesitas, basaltos e intrusiones de diques diabásicos. Más al norte en

el pozo Sacha profundo (Rivadeneira y Sánchez, 1989), denominan Sacha a esta formación en base a estudios paleontológicos que dan una edad triásica a capas rojas

(muestras de testigos de perforación), considerándola como equivalente lateral continental de la formación Santiago.

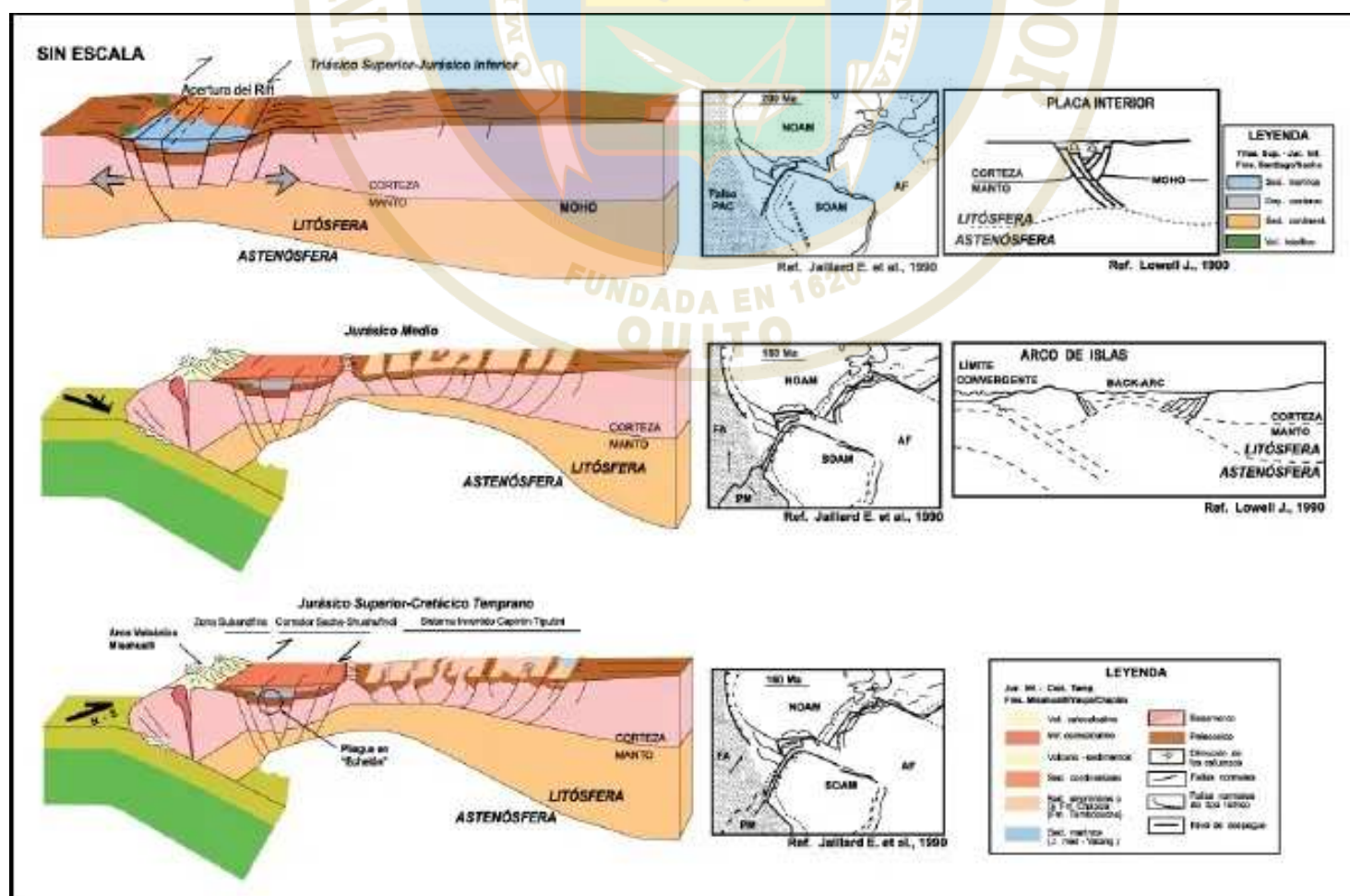
De este modo, existe una base para pensar, que la depresión del Jurásico inicial de la zona Subandina, se desarrolló en los límites de una gran zona levantada, localizada en la frontera entre los dos complejos antiguos:

El complejo oriental del Precámbrico temprano, que constituye el basamento del cratón guayanés-brasileño; y,

El complejo Proterozoico-Hercínico, que constituye la base de las estructuras andinas.

La depresión de la zona Subandina, acontecida en este tiempo, por sus parámetros y condiciones de desarrollo ante todo nos recuerda una estructura tipo Rift, este criterio por primera vez fue expuesto por Paladines A., en el libro “Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador” (1.989), criterio que se llega a comprobar en estudios más detallados realizados posteriormente, por los geólogos de PETROECUADOR

(Fig. No. 27).



g. No. 27.- Esquema de la evolución geodinámica durante el Triásico Superior a Cretácico Temprano

De esta manera tempranamente en el Mesozoico, en una etapa activa de distensión (rifting), ocurrida en el Liásico participó la zona de frontera antigua entre los Andes ecuatorianos y el cratón guayanés, dispuestos a una gran distancia con respecto al extremo occidental del paleo-continente sudamericano.

Según el criterio de otros investigadores, sobre todo en base a los estudios realizados por geólogos de la misión Británica en el proyecto cordillera Real (INEMIN, 1.995), la cordillera Real se originó debido a un proceso de acreción de bloques contra el antiguo continente sudamericano. Las rocas metamórficas de esta cordillera fueron divididas en cinco divisiones litotectónicas asociadas cada una de ellas a rasgos tectónicos y metalogénicos característicos. Las divisiones litotectónicas de oeste a este son: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora.

Hacia el norte y sur de la cuenca Oriente ecuatoriana, los sedimentos del Jurásico inferior se acumularon en grandes depresiones pericratónicas, (lo que esencialmente diferencia a estos segmentos del cinturón Andino de los Andes ecuatorianos). El desarrollo tectónico diferente de la zona Subandina se expresa también en el hecho de que el potente corte de sedimentos acumulados en ella (formación Santiago), fue intensamente deformado en la fase nevadídica temprana de plegamiento (antes del Jurásico tardío).

En síntesis, la distribución de los complejos plegados de diferente edad en la zona Subandina, marcan el desplazamiento de la actividad tectónica a lo largo de su extensión (desde el Paleozoico hasta el Jurásico temprano), de norte a sur, a medida que nos acercamos a la **ZTPM**.

En el Jurásico medio y tardío, en el borde occidental de los Andes ecuatorianos se inicia el proceso de subducción. Durante este tiempo en la amplia depresión oriental (cuenca pericratónica), que como ya se señaló está limitada al oeste por la elevación de la cordillera Real, se acumuló la parte inferior de la formación Chapiza de constitución molaso-evaporítico-continental. Así mismo en forma simultánea durante este tiempo se inicia la extrusión de las rocas volcánicas de la formación Misahuallí, que constituyen parte del “potente arco magmático continental que se extiende: desde el norte del Perú hasta el norte de Colombia (Romeuf et al., 1.995)”. Los sedimentos Chapiza, (deformados en la fase nevadídica tardía), en forma discordante cubren tanto al basamento antiguo del cratón Guayanés, como a los complejos plegados de la zona Subandina, incluida la formación Santiago.

A diferencia de las etapas anteriores de desarrollo, durante el Jurásico tardío, en el borde occidental de la cuenca a lo largo de la falla Precordillera, continua la intrusión de nuevas facies de los enormes batolitos graníticos, que intruyen incluso parte del flanco oriental de la cordillera Real. Se trata de los batolitos de Zamora, Abitagua y La Bonita. El más grande de ellos (batolito de Zamora) intruyó la región de intercepción de la zona Subandina con la **ZTPM** lo que puede considerarse como señal complementaria de la existencia de esta zona en el Mesozoico temprano. El conjunto de rocas volcánicas e intrusivas descritas constituyen **el arco volcánico continental de edad jurásica**, de enorme importancia, pues en este arco en la última

década se han descubierto los yacimientos de los cinturones metálicos de cobre-molibdeno y de oro-plata más importantes del país.

En el Cretácico inferior, se produce un cambio brusco en el desarrollo de los Andes ecuatorianos. En este tiempo, aparecen por primera vez de un modo claro tanto la zonificación tectónica longitudinal como la transversal.

Durante el Cretáceo inferior, en el borde occidental activo de los Andes ecuatorianos, a lo largo de la zona de sutura Peltetec, se produce la acreción de los terrenos Chaucha-Arenillas al continente. El proceso de acreción Peltetec-Palenque ocurrido durante el Cretácico, es considerado el principal evento tectono-metamórfico, que afectó a las rocas de edad Jurásico-cretácica de la cordillera Real (Aspden y Litherland, 1.992).

En la cordillera Real, el complejo de acreción incluye las pizarras y cuarcitas de la división Guamote del Jurásico inferior al Cretácico inferior, con presencia de ammonites (Litherland et al., 1.994) y en el sur occidente los esquistos pelíticos que conforman la matriz de la división de melange Palenque. El complejo acrecionado incluye además inclusiones tectónicas tanto de afinidad continental como oceánica, correlacionables con las rocas de la división Loja de la cordillera Real al este. Esto sugiere que las rocas de la cordillera de Tahuin fueron tectonicamente arrancadas desde el margen occidental de esta cordillera (Eguez y Aspden, 1.993).

Más al occidente, durante el Cretáceo inferior se inicia la formación de la corteza oceánica, constituida de una potente secuencia de basaltos toleíticos, que constituyen la formación Piñón.

Durante el Cretácico inferior en la cuenca Oriente conjuntamente con la depositación de sedimentos, continúa la extrusión de rocas volcánicas de composición básica, características para el miembro superior de la formación Chapiza, a continuación se produce un evento compresivo, como consecuencia del cual las rocas de la formación Chapiza son plegadas, levantadas e intruidas (fase nevadidica tardía). Luego de la intrusión de los macizos graníticos del Jurásico tardío- Cretácico temprano, tanto la zona Subandina, como la zona de la cordillera Real (arco Central), adquirieron gran estabilidad y los procesos de formación de pliegues en ellas no se produjeron más. En procesos posteriores, solamente junto a las fallas de empuje (zona de escamas) se forman pliegues.

En la cuenca Oriente, luego de un hiato en la sedimentación (entre 130-115 m.a.) durante el Aptiano se depositan sedimentos bituminoso-terrágenos de la formación Hollín (dispuesta discordantemente sobre la formación Chapiza) y luego desde el Albiano hasta el Campaniano, la depositación de sedimentos carbonato-terrágenos de tipo marino de aguas someras de la formación Napo.

El material terrígeno transportado, como al principio, ocurrió fundamentalmente desde el este (cratón guayanés), lo que señala la relativa y débil expresión orográfica de la cordillera Real en este tiempo. El eje de la depresión al igual que durante la

depositación de la formación Chapiza, estuvo localizado a lo largo de la zona Subandina, es decir, la depresión pericratónica de la zona Subandina conservó su asimetría transversal.

Durante el Cretáceo inferior, la zonificación tectónica transversal de los Andes ecuatorianos apareció de un modo claro y exclusivo (así como también en todo el cinturón Andino). Si en el norte de la **ZTPM**, existía la cuenca oceánica, entonces al sur de la misma sobre la antigua corteza siálica, durante este tiempo, se desarrolló un sistema de arco de islas, este sistema constituye el arco volcánico Celica, que representa la terminación nórdica del cinturón volcánico ensiálico del Perú (grupo Casma); y, en su conjunto forman el arco volcánico Célica-Casma de edad Cretácica inferior.

“La presencia de rocas básicas (gabros y basaltos afaníticos), sugieren que la unidad Punta de Piedras (basal Celica), representa un arco volcánico toleítico formado en una cuenca desarrollada sobre corteza de tipo continental “adelgazada” por el “abombamiento” (diapirismo) del manto durante el Cretácico inferior tardío. Sin embargo un componente de rifting no se debe descartar dada la naturaleza primitiva del magma” (Proyecto Multinacional Andino: Pilatasig L., Gordón D. 2.005)

El sistema volcánico de arco de islas de la región tectónica austral desde el lado del océano Pacífico limitaba con el talud continental submarino, en el cual se depositaron en un principio, durante el Aptiano-Albiano temprano, los sedimentos calcáreos de la formación Cazaderos y luego, durante el Albiano, los sedimentos areno-arcillosos del grupo Alamor. El desarrollo del sistema de arco de islas y de la depresión inclinada, relacionada con aquel, concluyó a fines del Campaniano durante el ciclo orogénico Peruano, época en la cual ocurren intensas deformaciones de plegamiento; así como, el levantamiento de la zona y la intrusión del batolito de Tangula, que representa la última manifestación nórdica del enorme batolito de la costa peruana.

El esquema de la deformación de los sedimentos coincidió con los rumbos noreste y cercano a los transversales característicos para las rocas metamórficas de edad paleozoica y precámbrica, las cuales yacen a lo largo de la falla transversal Las Palmas-Arenillas-Portovelo, dispuesta paralelamente a la cordillera de Tahuín.

Luego del plegamiento relacionado al ciclo orogénico peruano, las rocas cretácicas deformadas fueron levantadas y sometidas a la denudación. Desde este momento el sistema montañoso del sur de los Andes ecuatorianos entró a la etapa orogénica de desarrollo, al igual que el cinturón de Calipuy del norte del Perú, localizado al sur de aquel.

En la **ZTPM** con la época del Cretáceo inferior, se relaciona la depositación tipo oceánico (Rift-valley) dentro de las estructuras transversales de edad Precámbrico-paleozoica de la cordillera de Tahuín, así como la deformación y el metamorfismo de

alto grado que han sufrido las formaciones ofiolíticas y arcillo-silíceas (de gran profundidad). Las investigaciones realizadas sobre las condiciones de formación de este complejo ofiolítico-sedimentario (formación Raspas) constituyen un problema de excepcional importancia.

La constitución y origen de la cordillera de Tahuín y el complejo de rocas ofiolíticas originado entre los geólogos que la han estudiado. Feininger T. 1987 y Mourier T. y otros investigadores 1988 proponen que el origen de este bloque geotectónico es alóctono; Litherland M., Aspden J., y otros sugieren que se trata de un fragmento desmembrado de la cordillera Central, dominio Loja-Olmos; Walter Sauer 1965 considera que se trata de un ramal de la cordillera Real; los autores del presente trabajo consideran que esta unidad geotectónica se originó in-situ y que durante el Cretácico inferior se desarrolló como una estructura tipo **Rift**...

Al comienzo del **Cretácico superior** nuevamente ocurre un cambio en el desarrollo de los Andes ecuatorianos, sin embargo la zonificación tectónica anterior se conserva. Ante todo esto se relaciona a las dos zonas occidentales de la región, localizada al norte de la **ZTPM**; en dichas zonas sobre el basamento oceánico basáltico (corteza oceánica) se formó un potente sistema de arco de islas. Su cadena (hilera) volcánica axial coincidió con el eje de la cordillera Occidental; en la pendiente submarina orientada hacia el océano Pacífico, a más de las rocas volcánicas se depositaron sedimentos pelágicos silíceos, grauwacas, brechas sedimentarias y otros clastos de la formación Cayo, difundidos en la zona de la depresión costanera. La fuente del material terrígeno pudo ser la zona volcánica de arco de islas, así como los complejos de rocas más antiguos.

La gran potencia (hasta 10 k.) del arco volcánico Macuchi y la formación Cayo demuestra la profunda flexión de la base del sistema de arco de islas durante el proceso de su desarrollo. El magmatismo de arco de islas, relacionado al proceso de subducción, tuvo una tendencia muy clara, expresada en su composición homodrónica (desde basaltos a riolitas), lo que ocurrió debido al debilitamiento normal de la intensidad de los procesos magmáticos y al apareamiento de las condiciones para la formación de focos intermedios en la corteza interior, así como a la diferenciación ocurrida en cámaras internas.

Es importante señalar la similitud en la disposición de los sistemas de arco de islas y sus pendientes submarinas, orientadas hacia el océano Pacífico, tanto de las zonas ensimáticas del Cretáceo superior como de las zonas ensiáticas del Cretáceo inferior, localizadas al norte y sur de la **ZTPM**, respectivamente. De aquí se desprende que la zonificación paleotectónica de los sistemas de arco de islas no dependió del tipo del substrato, sobre el cual aquellos se desarrollaron.

Las diferencias consistieron solamente en el carácter más somero de los sedimentos, acumulados delante del sistema de arco de islas en la pendiente continental (formaciones Cazaderos y Alamor).

El sistema ensimático de arco de islas del Cretáceo superior, desarrollado hasta el fin del Eoceno inferior, tiempo de desarrollo del sur de la región Macuchi (zona del arco volcánico continental Saraguro). Hacia el norte, en cambio el sistema ensimático de arco de islas se extendió a la parte colombiana de la zona de la cordillera Occidental.

Durante el Maestrichtiano, el sistema de arco de islas de la cordillera Occidental experimentó el primer levantamiento significativo. Si su posición espacial inicial (Cenomaniano-Senoniano) con respecto a las estructuras más orientales de los Andes ecuatorianos es discutida (algunos científicos sostienen que este sistema desarrollado sobre corteza de tipo oceánica derivó hacia el continente sudamericano desde regiones alejadas del océano Pacífico), sin embargo, durante el Maestrichtiano, el arco volcánico Macuchi se encontraba ya sin lugar a dudas cerca de la cordillera Real. Esto se comprueba por la composición de los clastos en los conglomerados de la formación marina flysch Yunguilla, depositada durante este tiempo en la depresión intermontañosa localizada entre el sistema de arco de islas Macuchi y la cordillera Real (Paladines, A. 1989). Conjuntamente con el material volcanomigítico transportado desde la zona del volcanismo activo localizada al occidente, una significativa cantidad de clastos entró en ésta depresión desde el oriente, como consecuencia de la erosión de las rocas metamórficas de la cordillera Real (Fig. No. 28).

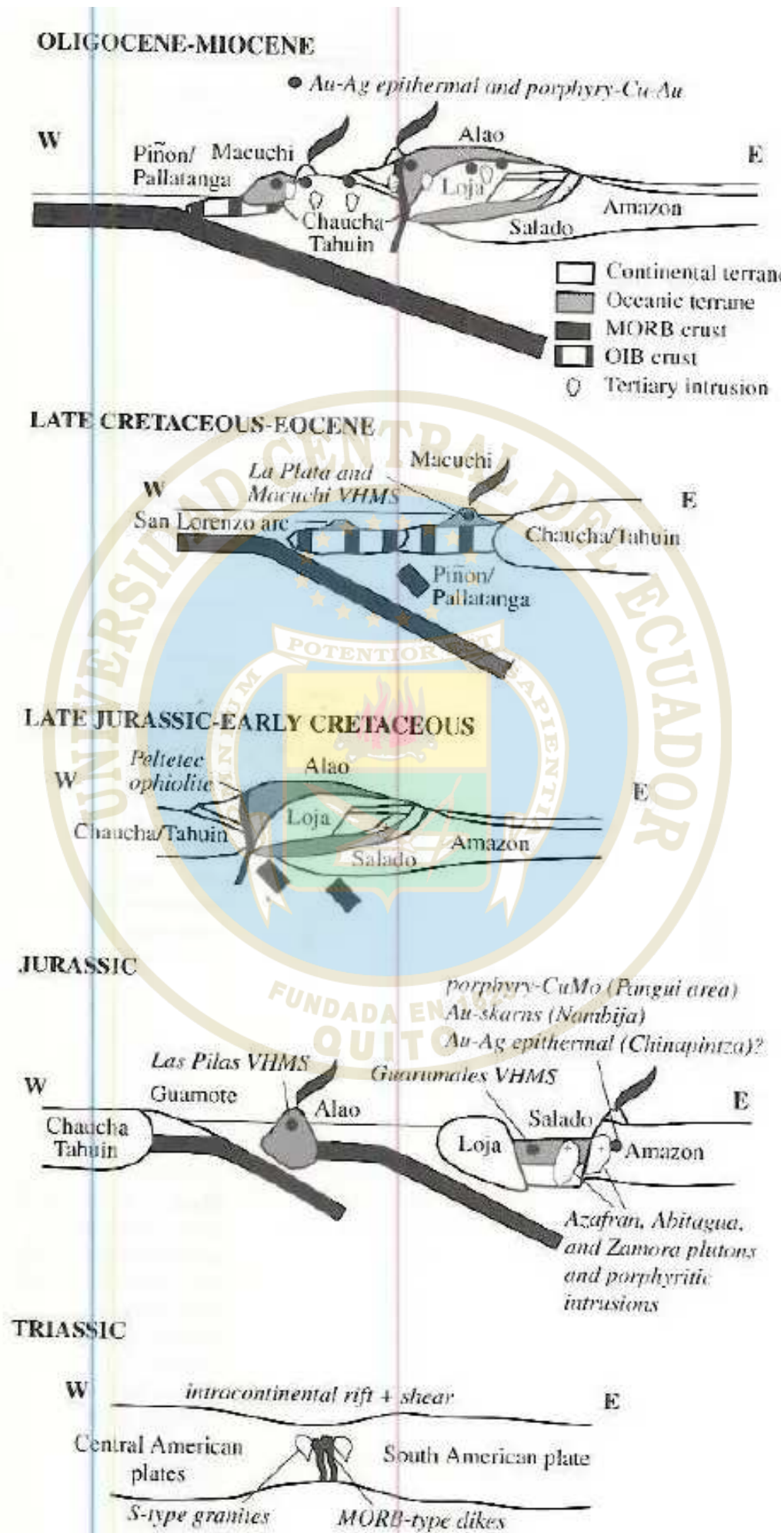


FIG. 2. Schematic representation of the geodynamic evolution of Ecuador (modified after Feininger, 1987; Mourier et al., 1988; Aguirre, 1992; Aspdén and Litherland, 1992; van Thournout et al., 1992; Litherland et al., 1994; Jaillard and Soler, 1996; Jaillard et al., 1997; Chiaradia and Fontboté, 2001).

La actividad volcánica a lo largo del sistema de arco de islas Macuchi concluyó luego de la acreción en el Eoceno medio, con la formación de arrecifes (formación Unacota) sobre los volcanes ya apagados.

Las zonas separadas del sistema de arco de islas Macuchi experimentaron plegamientos y terminaron su desarrollo en diferentes tiempos. Tempranamente, al final del Maestrichtiano, fueron deformados los sedimentos de la zona de la depresión costanera, que constituía hasta entonces la pendiente de aguas profundas de la cadena volcánica submarina, las rocas fueron comprimidas en pliegues de buzamientos suaves (25-30°). Las rocas volcánicas de la zona axial del sistema de arco de islas Macuchi se sometieron a la primera deformación durante el Eoceno medio, periodo en el cual, como ya se anotó se produce la acreción de este arco volcánico al continente. Junto al arco insular se depositan los sedimentos marinos y continentales incluidos en el grupo Angamarca (formaciones: Gallo-Rumi, Pilaló, Apagua, Unacota y Rumicruz) contemporáneo a Macuchi pero formado en una cuenca siliciclástica (Hughes y Bermudez, 1.977).

Durante el Oligoceno-Mioceno, en el arco volcánico Macuchi, se produjo la intrusión de grandes masas de granitoides (batolitos), de composición calco-alkalina (dioritas, granodioritas, granitos), luego de lo cual, la cordillera Occidental como otras zonas de los Andes ecuatorianos entró en la etapa orogénica final de desarrollo. La localización de los macizos granitoides en los núcleos de los anticlinales de la cordillera Occidental juzga acerca de la afinidad de los macizos con el plegamiento. De esto se desprende que la deformación de las rocas del arco volcánico Macuchi continuó por un largo tiempo, hasta la intrusión de los stocks graníticos más jóvenes (postbatolíticos), es decir, hasta el Mioceno, inclusive.

En el **Campaniano superior**, se inicia el levantamiento de la cordillera Real (arco central) y el régimen de desarrollo de la cuenca Oriental cambia significativamente. Ante todo, su límite occidental, que antes alcanzaba hasta la cordillera Real, se desplaza al este como resultado del levantamiento de la zona Subandina.

En segundo lugar, la cuenca experimenta un descenso de sus aguas, en el cual, en reemplazo de los sedimentos marino-someros de la formación Napo, en el transcurso del Maestrichtiano y en condiciones de una gran regresión, se acumularon con preferencia los sedimentos continentales areno-arcillosos de colores preferentemente rojo y gris de la formación Tena. El mar se retiró hacia el sur, en donde cubrió extensas zonas que llegaron hasta el pongo de Retema en el Perú.

En el norte, la cuenca Oriental fue limitada por la gran elevación de Vaupes, que emerge de la depresión periférica de la cordillera Oriental de Colombia. En dicha estructura se levanta el basamento cristalino del cratón Guayanés, representado por el macizo Garzón.

Desde el tiempo de la depositación de la formación Tena, la cuenca sedimentaria Oriental, cambia en su desarrollo de típica depresión pericratónica, a cuenca marginal avanzada (Iquitos). Si antes del Campaniano el material terrígeno entró a la depresión pericratónica desde el oriente, por el contrario, durante el tiempo de depositación de la formación Tena y las formaciones posteriores, el material fue transportado fundamentalmente desde el occidente, como consecuencia de la erosión y deslave de los complejos metamórficos de la cordillera Real y en parte de la zona Subandina.

A fines del Cretácico, en la región ocupada por el arco Central y la cuenca Oriental, se produce un proceso de inversión tectónica (de extensivo a compresivo) en régimen transcurrente dextral. Durante este tiempo a lo largo de fallas normales, que limitaron los principales bloques o corredores estructurales: sistema Subandino, corredor Sacha-Shushufindi y sistema invertido Capirón-Tiputini (Rivadeneira M., Baby P. 1.999), se produce un cambio en la dirección de los movimientos como consecuencia de la (fase orogénica peruana), ocurrida a fines del Cretácico y que afectó mayormente a los Andes centrales. El proceso de inversión tectónica se fija en la columna estratigráfica, mediante la discordancia de la formación Tena sobre la Napo.

En tiempos posteriores, durante el Eoceno medio (fase Inca) que coincide con la acreción del arco Macuchi al borde occidental activo del continente: y, por último a fines del Mioceno (fase Quechua) se producen intensos procesos compresivos, en los cuales se forman los sistemas de fallas inversas (zonas de escamas), así como estructuras clásicas para el entrapamiento de los hidrocarburos.

Durante el Eoceno inferior, cuando el sistema de arco de islas Macuchi, concluye su desarrollo, en la cuenca Oriental se acumularon conglomerados, areniscas y arcillas abigarradas de la formación Tiyuyacu, la acreción del arco Macuchi en el Eoceno superior contra el borde occidental del continente, influyo en el proceso de desarrollo de la cuenca Oriental, lo que se evidencia en la existencia de una “superficie de erosión entre la Tiyuyacu inferior y superior” (Rivadeneira M., Baby P. 1.999). La acreción del arco Macuchi, produce además un nuevo proceso de inversión tectónica. El régimen transcurrente dextral se conserva durante este periodo y continúa hasta la actualidad.

El desarrollo orogénico de la región tectónica austral se inicia durante el Maestrichtiano con la depositación de la formación molásica Río Playas (cubre discordantemente a las rocas del arco Celica) y se complementó durante el Paleoceno con el apareamiento de un potente volcanismo de carácter continental y composición andesítica (formación Sacapalca). La formación Sacapalca regionalmente se correlaciona con la formación Llama (basal Calipuy) al norte del Perú.

Estas formaciones sinorogénicas rellenaron de modo exclusivo estructuras de grabens (graben Catamayo-Cariamanga-Huamcabamba), localizadas en la parte central y oriental de la región Austral, a su vez constituyen la terminación nortica del cinturón

volcánico Calipuy de los Andes centrales. La formación molásica volcánogénica Sacapalca concluyó con la intrusión de stocks granodioríticos de edad eocénica.

En el transcurso comprendido entre el Cretáceo y Eoceno en el desarrollo de los Andes ecuatorianos, la estructura anticlinal más importante fue la cordillera Real, que constituyó el límite entre las regiones occidental y oriental.

La cordillera comenzó a elevarse más activamente a fines del Eoceno y durante el Oligoceno, período en el cual tanto la velocidad relativa como absoluta de su levantamiento creció en forma progresiva. A partir del Oligoceno, se manifiestan con mayor intensidad las zonas adyacentes de los Andes ecuatorianos, las cuales paulatinamente empezaron a adquirir la orografía y morfología actual. Solamente la zona ensimática de la depresión costanera, en la cual hasta este tiempo no aparecieron procesos de formación de granitos, conserva durante el Terciario la tendencia al hundimiento. En ella, luego de la regresión del Paleoceno-Eoceno inferior, durante el Eoceno medio en condiciones arrecífales (shelf) se produce la acumulación de calizas someras tipo flysch de la formación San Eduardo, con una potencia de hasta 300 m. Después de un corto receso, en las cuencas poco profundas de Borbón y Manabí, se produce la acumulación de formaciones marinas de aguas someras, preferentemente arcillosas San Mateo y Punta Blanca de edad post eocénica.

Durante el Paleoceno, en forma contrastante, se desarrollaron la región tectónica Austral y la **ZTPM**. En la región Austral se inicia la formación del volcanismo orogénico, así como los movimientos verticales de bloques al final del Maestrichtiano y principios del Paleoceno (tiempo de constitución de la formación Sacapalca) la cual quedó como región volcánica levantada. En la **ZTPM**, el desarrollo fue más complejo. Durante el Eoceno medio en la cuenca Progreso, en condiciones de un relieve tectónico desmembrado se produce la formación de un potente corte olistostrómico que constituye la formación Santa Elena y a continuación luego de un receso, en el límite del tiempo Eoceno-Oligoceno, se reanudó un intenso hundimiento acompañado de la acumulación de sedimentos marinos de aguas someras de tipo "shelf" constituidos por sedimentos areno-arcillosos de la formación Losagua de edad Oligoceno-miocénica.

Al sur de la **ZTPM**, a partir del Eoceno tardío hasta el Mioceno inferior, inclusive, aparece la fase sinorogénica del magmatismo continental, de composición calco-alcalino, que conlleva a la formación de una meseta volcánica, constituida por andesitas, riolitas, riodacitas y sus tobas que en conjunto forman el grupo Saraguro. Esta región volcánica se presenta como la terminación nórdica del cinturón volcánico Araucano-Calipuy de los Andes centrales. Regionalmente el grupo Saraguro se correlaciona con la formación Porculla (miembro superior del cinturón volcánico Calipuy) en el norte del Perú.

Hace ca. 26 M.a. a inicios del Neógeno, se produce una reorientación en los movimientos relativos de las placas oceánicas y sudamericana (Egüez y Aspden, 1.993), producto del rompimiento de la placa Farallón y la conformación de las placas Nazca y Cocos (Pardo Casas y Molnar, 1.987; Pilger, 1.984).

A inicios del Mioceno, en la depresión intramontañosa de Biblián-Azoguez se inicia la acumulación de sedimentos arenos-arcillosos de la formación Borbón. Durante el Mioceno, teniendo como fondo el levantamiento general de la cordillera de los Andes ecuatorianos, se inicia el desarrollo de las depresiones montañosas: Chota al norte, localizada en el flanco occidental de la cordillera Real; Biblián-Azoguez-Cuenca y Nabón en la **ZTPM**; Loja, Malacatos, Vilcabamba, Gonzanamá y Zumba, en los límites de la región tectónica austral. Estas cuencas son rellenadas por sedimentos de tipo molásico-lagunares con lignitos y evaporitas (carbón y yeso) de edad miocénica-cuaternaria. Según el criterio de Noblet, Ch. (1.988) y otros investigadores, durante el Mioceno se desarrollan cuencas intramontañas siguiendo sistemas de fallas transtensionales en fase de apertura del Mioceno medio, hasta fallas compresionales que clausuran las cuencas en el Mioceno tardío-Plioceno.

Durante el Oligoceno inferior y Mioceno, en la zona de la depresión costanera, luego de un corto receso en la sedimentación, se reanudaron los hundimientos y las transgresiones marinas. Los conglomerados basales de las formaciones calco-areno-arcillosas Tosagua y Viche cubrieron las calizas de la formación San Eduardo. En las cuencas de Borbón y Manabí se acumularon hasta 3.000 m. de estos sedimentos. La cuenca Progreso se desarrolló en un régimen similar dentro de la **ZTPM**.

En el Oriente, luego de un hiato que duró hasta el Oligoceno inferior, a partir del Oligoceno superior en mares residuales se acumularon depósitos someros de areniscas y lutitas gris verdosas con foraminíferos y piritas de la formación Orteguaza; y, luego en un ambiente continental las areniscas conglomeráticas y arcillolitas rojas con huellas de gusanos de la formación Chalcana. Por lo visto, los mares residuales se unieron a través de la depresión amazónica con el mar abierto, que ocupó, hasta el Oligoceno, las regiones oriental y noroccidental del Perú.

En la cuenca Oriental durante el Mioceno continúa la acumulación de sedimentos lagunar-molásicos: conglomerados, areniscas con carbón y yeso de la formación Arajuno y luego areniscas con intercalaciones de arcillas y restos de plantas en la base; y, conglomerados con restos de árboles silicificados, areniscas tobáceas y arcillas en el corte superior de la formación Curaray.

Durante el Mioceno inferior y superior, en la cordillera Occidental se produjo la intrusión de macizos graníticos de composición calco-alcalina de dos generaciones con dataciones en forma respectiva, de 31±1, 19±3 millones de años y 12±0.6, 9.8±0.3 millones de años.

Durante el Plioceno, en condiciones de un ritmo general acelerado de levantamiento de los Andes ecuatorianos, a lo largo de la cordillera Occidental, y parcialmente de la cordillera Real, se produce la extrusión de un potente volcanismo de composición preferentemente andesítico, el cual tuvo relación con la formación de mesetas lávicas cuya potencia alcanza los 2.000 m. (formación Pisayambo). Este volcanismo no alcanzó la **ZTPM** y se concentró únicamente en la región nórdica. Al sur en los límites de la **ZTPM** y de la región austral, durante este tiempo continuó el desarrollo de las cuencas sedimentarias lacustres de Biblian-Azoguez-Cuenca, Nabón, Loja, Malacatos y otras, que fueron rellenadas por material laguno-terrágeno, y en menor escala, por material detrítico grueso con intercalaciones de lignitos y evaporitas.

En la cuenca de Iquitos, durante el Plioceno continúa la acumulación de sedimentos lagunar-molásicos: conglomerados, areniscas, carbón y yeso de la formación Chambira. En la zona de la depresión Costanera, durante el Mioceno superior se produce una regresión marina, mientras que en la cuenca Progreso, situada en la **ZTPM**, se forma el graben de Jambelí, que es rellenado por potentes secuencias de sedimentos de composición mayormente arcillosa. La región tectónica austral durante el Plioceno se mantuvo levantada.

Desde inicios del Plioceno los Andes ecuatorianos experimentan un rápido levantamiento de una amplitud total de 3-4 k., las tres cordilleras se elevan en forma diferencial a través de las fallas y sistemas de fallas que las separan. La cordillera Real se levanta más activamente y continúa como eje axial de los Andes. Se estima que durante el Pleistoceno las cumbres divisorias de aguas no sobrepasaron los 2 k. de altura; mientras que actualmente el zócalo de los volcanes cuaternarios está levantado hasta alturas que alcanzan 4 k. y más.

En el Plioceno, a causa de los movimientos activos de bloques suscitados en la faja limítrofe, localizada entre la cordillera Real y la zona Subandina se produjo la formación de fallas de empuje y se reactivaron los movimientos transcurrentes destrales (última inversión tectónica), a través de las cuales los complejos metamórficos del Paleozoico de la cordillera Real se sobrecorrieron sobre las rocas sedimentarias de la zona Subandina. Estos movimientos compresivos ocurridos en esta última fase de inversión, ocasionaron el dislocamiento, plegamiento y metamorfismo de las series mesozoicas y terciarias solo en las fajas contiguas a los sistemas de fallas, en donde se puede observar un cambio lateral de areniscas a cuarcitas (formación Hollín) y de lutitas bituminosas a esquistos bituminosos (formación Napo).

El levantamiento de los Andes ecuatorianos durante el tiempo Plioceno-Cuaternario estuvo acompañado de un volcanismo intenso, el cual inicialmente condujo a la formación de mesetas constituidas de lavas y tobas; y, luego a la formación de

grandes estratovolcanes. Es importante señalar que este volcanismo apareció fundamentalmente a lo largo de las cordilleras Real y Occidental y no se difundió hacia el sur de la **ZTPM**. El volcanismo del Plioceno inicial tuvo una composición

preferentemente andesítica. En este tiempo, a lo largo del núcleo y del flanco occidental de la cordillera Real se originó el graben de Quito, el cual se relleno de material volcánico y también de depósitos fluvio-lacustres, aluviales y glaciales.

“Hace ca. 2 m.a., la cordillera asísmica de Carnegie localizada sobre la placa de Nazca alcanzó la zona de subducción activa. Esta colisión acarrea la cesación de la actividad volcánica al sur de ca. 2300. Es, mientras que al norte, grandes estratovolcanes andesíticos fueron formados, especialmente a lo largo de estructuras regionales reactivadas” (Egüez y Aspden, 1.993).

Durante el período de desarrollo de los estratovolcanes, debido al proceso de subducción y a la inclinación del ángulo de subducción de la placa oceánica, el volcanismo migró de occidente a oriente cambiando su composición de andesítica a andesito-basáltica y a basáltica-alcalina. Los basaltos alcalinos son característicos para los volcanes activos: Sumaco, Sangay y Reventador, que constituyen el frente volcánico activo y que se sitúa en la zona Subandina (Fig. No. 29).

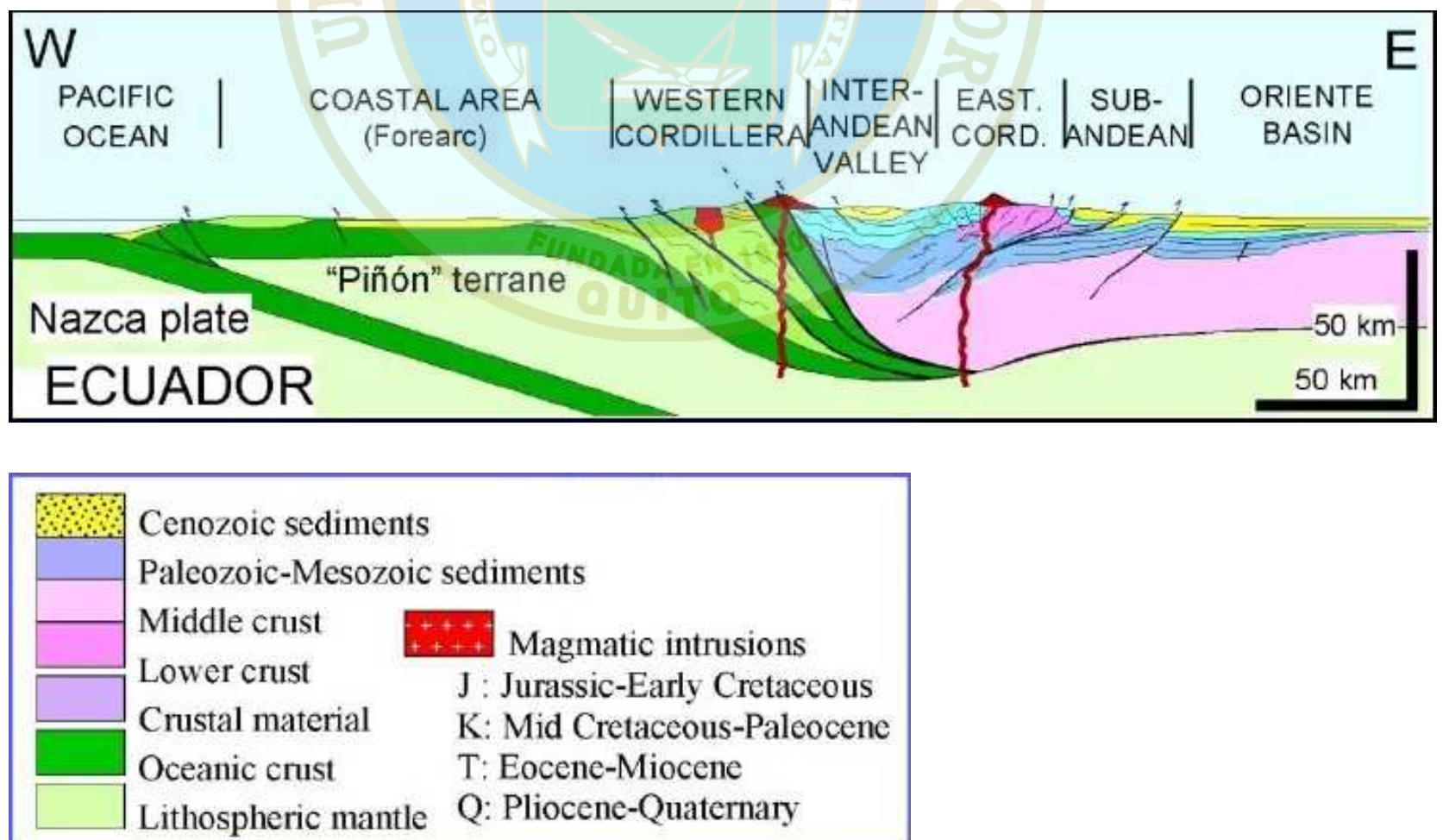


Fig. No. 29.- Migración del volcanismo Plio-pleistocénico de oeste a este, utilizando el esquema de Mégard 1.989.

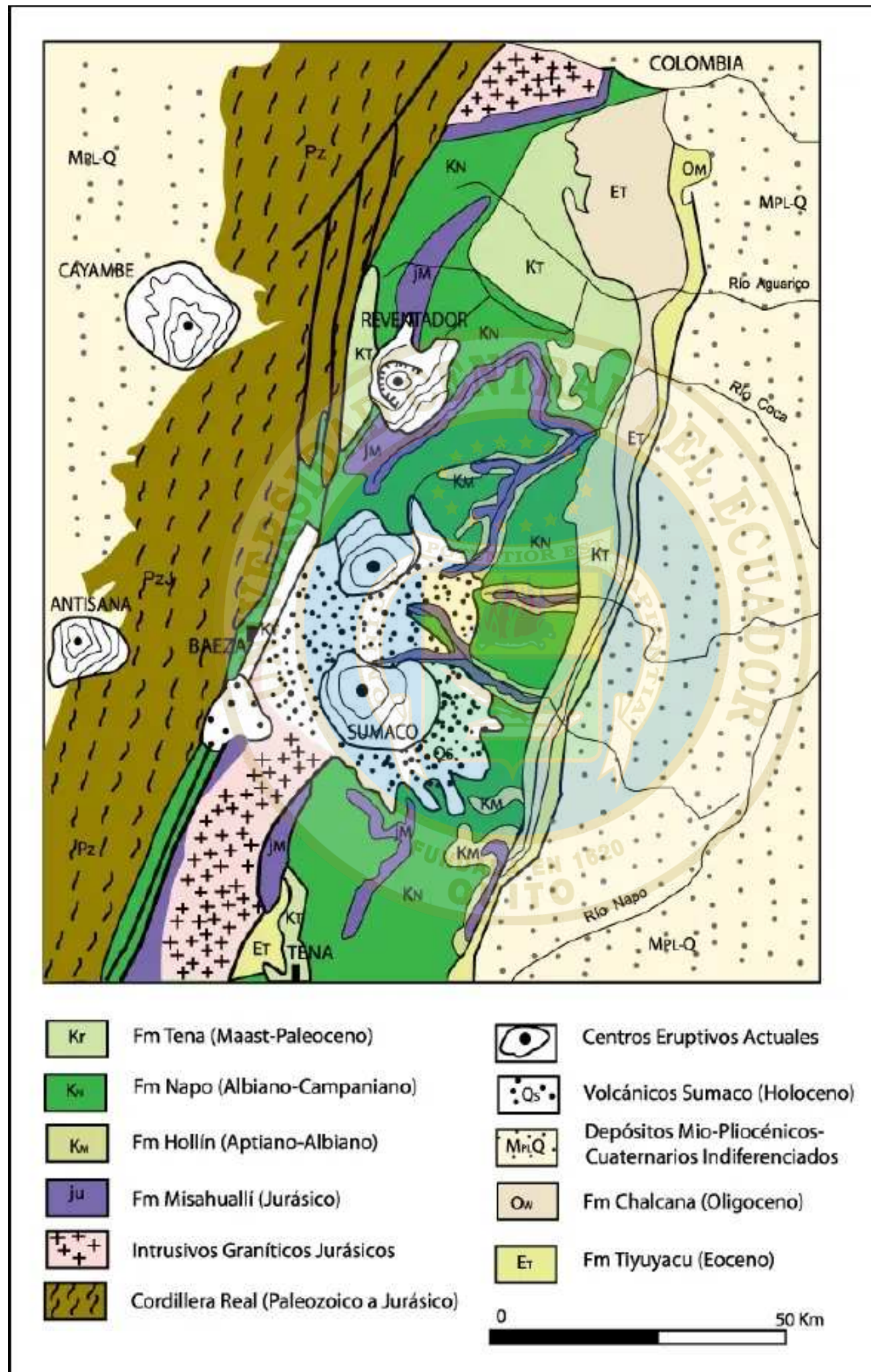


Fig. No. 30.- Frente volcánico activo de la zona Subandina (Revetador, Sumaco, Sangay, Tungurahua).
Fuente: Baby P., Rivadeneira M. y Barragán R.

Un centro importante del volcanismo Plioceno-Cuaternario, estuvo localizado en la **ZTPM**; con la actividad de este centro tuvieron relación las potentes erupciones de lavas dacito-ignimbríticas y lanzamientos de cenizas y tobas de composición ácida que constituyen las formaciones Tarqui y Salapa.

La zona de la depresión costanera permaneció completamente anagmática (solo en el sitio de Pascuales se produjo la intrusión de un stock) durante el Terciario, así como durante todo el Cuaternario, ésta cuenca a diferencia de otras zonas estructuro-formacionales de los Andes ecuatorianos, a partir de la segunda mitad del Paleoceno, experimentó un hundimiento, en el cual se produjo la acumulación preferente de sedimentos marinos de aguas someras. A juzgar por los datos de perforación y geofísica realizados en las regiones costaneras de Colombia: la zona de la depresión costanera se extiende hasta la fosa marginal y tanto en las partes superficiales como en las submarinas su desarrollo estuvo directamente relacionado con los movimientos de bloques diferenciados de las rocas de la corteza oceánica, que constituyen el basamento de la cuenca. Estos movimientos por otra parte, condujeron a la formación del complejo sistema de bloques levantados y hundidos (horsts y grabens) que constituyen la compleja tectónica de la zona costanera. En la faja limítrofe, entre la zona costanera y la cordillera Occidental, en cuencas recientes se acumularon facies detríticas gruesas.

El levantamiento intenso de los Andes ecuatorianos durante el Cuaternario, originó en la cuenca Oriental la acumulación de arcillas y areniscas tobáceas con bloques de granitos y gneisses, que alcanzan algunos metros de diámetro y que aumentan de tamaño en la parte superior de los cortes de las formaciones Mesa y Mera. “En la Sierra, la secuencia del arco volcánico Neogénico culmina con los materiales de los estratovolcanes agrupados en los volcánicos Cotopaxi que corresponden a los estratovolcanes formados por flujos de lava y las facies volcano-detríticas asociadas” (Egüez y Litherland, 1993)

7.1 CONCLUSIONES

En la compleja historia del desarrollo geológico del Ecuador es necesario prestar atención a los periodos de tiempo que a continuación se describen y que se consideran los más importantes:

- ✓ El desarrollo de los Andes ecuatorianos puede seguirse con algún grado de autenticidad a partir del ciclo orogénico Hercínico, en el cual, a juzgar por el cambio lateral del metamorfismo de las rocas de esta edad, se formó la cordillera Real. En lo sucesivo este anticlinorio jugó el papel de la elevación más firme, la cual dividió en el transcurso del Cretáceo y Terciario las dos grandes regiones de hundimiento: la oriental pericratónica y la occidental oceánica.

Los datos obtenidos para la geología precámbrica, permiten a algunos autores confirmar que el límite oriental del cinturón Andino fue definido en el Proterozoico superior, cuando a lo largo del extremo occidental del continente Sudamericano ocurrió un colapso y un profundo proceso tectónico-termal que produjo el rejuvenecimiento isotópico de los complejos granulíticos arcaicos.

La posición del límite oriental (falla Oriental) de las estructuras andinas no cambió en el transcurso de toda la historia geológica posterior, a pesar del cambio y reconstrucciones ocurridas en su desarrollo tectónico. Sí juzgamos por los focos de los terremotos, este límite coincide con el sistema de fallas, que han controlado el desarrollo de la zona Subandina.

- ✓ El rumbo cercano al transversal de las rocas antiguas de la cordillera de Tahuín, da la pauta para pensar que la zona transversal se constituyó en el Proterozoico tardío. Esta conclusión concuerda con el tiempo Precámbrico de fijación del lineamiento amazónico, cuya continuación inmediata hacia el oeste es la zona transversal (**ZTPM**).

La cordillera de Tahuín al igual que la cordillera Real se formó sobre un basamento Precámbrico durante el ciclo orogénico Hercínico. En estas dos cordilleras se observa un cambio de facies del metamorfismo; desde facies de esquistos verdes hasta esquistos anfibolíticos, migmatitas, orto y paragneises. Este cambio se observa en la cordillera de Tahuín de sur a norte, a partir del río Puyango: unidades el Tigre, la Victoria y Moro-Moro, así mismo en la cordillera Real de oeste a este se observa un cambio similar desde la unidad Chiguinda constituida de esquistos verdes, hasta la unidad Sabanilla constituida de migmatitas, orto y paragneises. A fines del Paleozoico estas dos cordilleras formaban dos cinturones plegados, el uno arqueado hacia el occidente (Tahuín) y el otro lineal de orientación norte-sur (arco Central).

- ✓ *En el transcurso de la historia geológica visible y diagnosticada de los Andes ecuatorianos, de manera diferente se desarrollaron sus regiones tectónicas norte y sur, así como la ZTPM que las divide.*

Las regiones dispuestas al norte y sur de la **ZTPM**, experimentaron plegamientos en diferentes tiempos: el arco volcánico de islas Célica, es testigo de la fase más temprana de plegamiento ocurrida en el Campaniano (fase Peruana de plegamiento), luego al final del Maestrichtiano paso a la etapa orogénica de desarrollo. La fase más tardía de plegamiento ocurrida durante el Eoceno (fase Quechua) tuvo lugar en la región nórdica: y, se produjo como producto de la acreción del arco volcánico de islas Macuchi al continente; luego al final del Eoceno y durante el Oligoceno pasó a la etapa orogénica de desarrollo. Las dos regiones plegadas, de edad diferente, constituyeron los dos segmentos del cinturón

Andino: norte (ecuatoriano-colombiano) y sur (ecuatoriano-peruano) que se desarrollaron asincrónicamente.

- ✓ Una de las interrogantes, es la relacionada con el desarrollo de la cordillera Occidental, cuyo magmatismo de composición calco-alcalino al igual que, el existente en el arco volcánico Celica, se presenta ante todo como consecuencia de la contaminación de material de la corteza a las magmas del manto. Esto lo señala la presencia de xenolitos de rocas metamórficas en los granitoides, intruidos en la cordillera Occidental y en la **ZTPM**.

El establecimiento de clastos gnéisicos y esquistos cristalinos (transportados desde la cordillera Real) en la formación Yunguilla y mayormente en la formación Cayo-Rumi, constituyen una demostración indiscutible de la cercanía del sistema de arco de islas emergente de la cordillera Occidental y de la cuenca costanera, o sea de las dos zonas ensimáticas localizadas al borde del Continente, al menos desde el final del Maestrichtiano.

Desde el tiempo Cretácico y de la cuenca sedimentaria oriental ensialica. Cuando se producen los hundimientos más intensos de las zonas Occidentales, en el Cretáceo, la cuenca Oriental también experimenta hundimientos, los cuales se extendían a la zona Subandina. Cuando en la parte occidental se producen los derramamientos de basaltos oceánicos de edad cretácica inferior y luego las etapas tempranas de formación sobre aquellos del sistema de arco de islas, la cuenca Oriental se desarrolla como depresión pericratónica tipo "Shelf". Con la transición del sistema de arco de islas a la etapa preorogénica de desarrollo, a partir del final del Cretáceo, la cuenca Oriental baja su nivel y después de la fase eocénica media de plegamiento en el Occidente y del gran levantamiento de la cordillera Occidental la cuenca Oriental se reduce dimensionalmente y toma el carácter de cuenca avanzada en sus actuales límites. A medida que se intensifica el levantamiento de los Andes, con el comienzo del volcanismo sinorogénico de edad Neógeno-Cuaternario, dicha cuenca se seca y en la misma se acumulan sedimentos lagunares y luego continentales.

Se establece que, no solamente las grandes regiones tectónicas del Ecuador, sino también las zonas estructuro-formacionales aisladas de los Andes ecuatorianos, se han caracterizado por un prolongado desarrollo individual, el cual se fija en relación con la totalidad de los cortes a partir de los siguientes niveles de edad:

- a) La zona Subandina y la zona de la cordillera Real, a partir del Paleozoico medio.
- b) La región tectónica localizada al sur de la **ZTPM**, a partir del Cretáceo inferior

- c) La zona de la cordillera Occidental y la depresión costanera, a partir del Cretáceo superior.
- d) La **ZTPM**, a partir del Precámbrico.

- ✓ Durante toda la historia geológica visible del desarrollo de los Andes ecuatorianos ~~un gran papel jugaron las fallas profundas y zonas de sutura, las cuales sirvieron de frentes de acreción, de límite a las distintas zonas estructuro-formacionales y~~ además controlaron el desarrollo asincrónico y la actividad magmática dentro de éstas. Para el volcanismo sinorogénico de edad terciaria se establece un aumento en el grado de diferenciación y alcalinidad de los magmas fuentes, desde las fallas occidentales a las orientales.

Para el desarrollo de los Andes ecuatorianos durante el período Mesozoico-Terciario, se presenta la orientación general expuesta a continuación: **a)** formación del arco volcánico continental de edad jurásica (Misahuallí), **b)** destrucción de la corteza continental antigua (según el modelo de formación del complejo ofiolítico del Cretáceo inicial en la cordillera de Tahuín). **c)** formación sobre la corteza continental del arco volcánico Célica **d)** etapa de formación de la corteza oceánica (formación Piñón). **e)** etapa de formación del arco volcánico de islas Macuchi. **f)** etapa de orogénesis inicial formación Yunguilla. **g)** etapa de orogénesis general, formación de los arcos volcánicos continentales neogénicos

Por último, para los Andes ecuatorianos claramente se establece el desgaste de movilidad (consolidación) de las zonas estructuro-formacionales luego del aparecimiento en ellas de formaciones graníticas. En este sentido la zona ensimática no granítica de la depresión costanera tiene un carácter “inconcluso” y no puede incluirse, en el número de las estructuras del cinturón de plegamiento orogénico de los Andes ecuatorianos.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J.A. “Rocas ultramáficas-máficas en Colombia y depósitos minerales asociados”. Ingeominas-Medellín, 1983.
- Aspden, J.A. & Litherland, “The Geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador”. Tectonophysics, M. 1992. p. 187-204.
- Aspden, J., Litherland, M., Duque, P. y otros. “Un nuevo cinturón ofiolítico en la cordillera Real, Ecuador y su posible significación regional”. Politecnica, Monografía Geología, 1987. p 81-93.
- Baldock, J., “Geología del Ecuador. Mapa Geológico, escala 1: 1.000 000. Boletín de la Explicación del Mapa Geológico”, Quito, DGGM, 1982.
- Bixby, G. 1959. “Las arenas negras titaníferas en las playas ecuatorianas” D.G.G.M. Quito
- Bristow, R., Hoffsteter, R. “Lexico Estratigrafico Internacional de America Latina” Fas. 5 a 2 Ecuador. París-Francia, 1977. 410 p.
- Chiaradia M., Fontboté L. y Paladines A. “Metal Sources in Mineral Deposits and Crustal Rocks of Ecuador (1° N-4°S): A Lead Isotope Synthesis”. Economic Geology. Vol. 99, p. 1085-1106.
- “Complejos Ofiolíticos en Iberoamérica”. Guías de prospección para Metales Preciosos. Proyecto XIII.1 CYTED Madrid, julio del 2004.
- Éguez A; Maroco R; Perez V. “Mapa Tectónico del Ecuador, Memoria Técnica”. E.P.N.-ORSTOM-IPGH-CLIRSEN, Quito, no publicado, 1991
- Eguez A., Alvarado A., Sanchez A., Vaca E. “Geocronología en los Andes ecuatorianos: principales eventos de metamorfismo, magmatismo y volcanismo”. Bol. Geo. Ecu. , Vol. 4, (1), 1997. p 55-83.
- Feininger T. “Allochthonous terranes in the Andes of Ecuador and Northwestern Perú”. Canadá, V. 24, 1987.
- INEMIN, “Estudios Realizados por la Misión Británica en el Proyecto Cordillera Real”. Informes técnicos, Archivo Instituto Nacional de Minería, Quito. 1995.
- Jain, V., Lomize, M. “Geotectónica con bases de Geodinamica”. Editorial KDY. Moscú, Rusia. 2005.
- Jaillard, E., Soler, P., Carlier, G., Mourier, T. “Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early to middle Mesozoic times: a Tethyan model”. Journal of the Geological Society, London, vol. 147, 1990. P. 1009-1022

- Jemelietta R.A. y Bolaños J. “El Potencial Metalogénico y Mineral de la Cordillera Real del Ecuador”. Memorias del XI Curso Internacional de Metalogenia, Quito, U.C. 1992.
- Kerr A.C, Aspden J.A, Tarney J., and Pilatasig L.F. “The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: Geochemical and tectonic constraints” Journal of the Geological Society, London, (159), 2002. p. 577-594
- Kennerley, J., “Outline of the geology of Ecuador, Overseas Geol. Miner. Resour.”. Inst. Geol. Sci. London, (55), 1980. p. 34
- Litherland, M., “First annual report of the Cordillera Real Geological Research Project”. Ecuador, Quito (en español), 1987. 245 p.
- Litherland M. “Algunos aspectos de la Metalogénesis en la Cordillera Real”. Memorias del IX Curso Internacional de Metalogenia. Quito, U.C. 1990.
- Litherland, M. & Zamora, A. “A terrane configuration for the Northern Andes”. Comunicaciones de la Universidad de Chile, Santiago, (42). 1991.
- Ponsdale, P. “Ecuadorian subduction system”. AAPG Bull., Vol. 62, (12), 1978. p. 21
- Mourier, T., Laj, C., and others. “An accreted continental terrane in northwestern Perú”. Earth and Planet. Sci., letters, (88), 1988. p. 182-192.
- Noblet Ch, Lavenue A, Shneider F., 1988. Etude géodynamique de un bassin intramontaneux tertiaire sur décrochements dans les Andes de sud de l'équateur: le exemple du bassin de Cuenca. Géodynamique, 3(1-2), p. 117-138.
- Ortiz F. “Massive Sulfides in Colombia. En: Stratabound Ore Deposits in the Andes”; Eds. Fontboté, L., Amstutz G.C. et al., Springer-Verlag, Berlin. 1990. P. 379-387,
- Paladines, A. “Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador. Quito, Mañana Editores. 1989.
- Paladines A. & Rosero, G. “Zonificación Mineralogénica del Ecuador”. Quito. 1996. Laser Editores.
- Paladines A. “Zonificación Geotectónica y Metalogénica de los Andes Sudamericanos”. Memorias XXI Curso Internacional de Metalogenia. Universidad Central. 2001.
- Paladines A. “Zonificación Geotectónica y Metalogénica de los Andes Centroamericanos”. Memorias del XXII Curso Internacional de Metalogenia. Universidad Central. 2002.

- Paladines A. “Los Recursos No Renovables del Ecuador Base para la Planificación y Ordenamiento”. Editorial Universitaria. Universidad Central Quito. 2005.
- Pardo Casas F., Molnar P., 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since late Cretaceous time, *Tectonics*, 6,3 P. 233-248.
- Pilger, R. “Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes”. *J. Geol. Soc.*, London, vol.141, 1984. p. 793-802.
- PRODEMINCA, “Evaluación de distritos mineros del Ecuador (colección). Potencial Minero Metálico y Guías de Exploración”. Vol. 1. Impreso en Ecuador, junio del 2000.
- PRODEMINCA, “Sulfuros Masivos alojados en volcanitas”. Vol. 3. Impreso en Ecuador, junio del 2000.
- Reynaud, C., Jaillard, E, Lapierre, H., Mamberti, M., Mascle, G.H. “Oceanic plateau and island arc of southwestern Ecuador; their place in the geodynamic evolution of northwestern South America”. *Tectonophysics*, (307), 1999. p. 35-254
- Ríos A. M., Castroviejo R. y García J. M. “Los sulfuros masivos volcanogénicos de la Cuenca Lancones (Perú)”. *Geogaceta* (44). 2008.
- Sauer, W. “Geología del Ecuador”. Edi. Min. Edu. , Quito, Ecuador, 1965. p. 383.
- Smirnov V. y otros. “Curso de Yacimientos de Minerales”. Moscú, Nedra, 1
- Tarbuck y Lutgens, “Ciencias de la Tierra, Una Introducción a la Geología Física”. Editorial Isabel Capella, Madrid, España 1999.
- Tschopp, H. “Oil explorations in the Oriente Ecuador”. *Bull., AAPG*, (37), (10), 1953. p. 2307-2347.
- Vallejo C., Winkler W. et al. “Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador”. *The Geological Society of America. Memory* (204). 2009.
- Wolf, T. “Geografía y Geología del Ecuador”. Edic. Casa de la Cultura Ecuatoriana, Quito, Ecuador, 1892. p. 797



YACIMIENTOS MINERALES DEL ECUADOR

INTRODUCCIÓN

La exploración del territorio nacional en forma sistemática y planificada se inicia en 1.962, con la creación del Servicio Nacional de Geología. Durante cuatro décadas, los profesionales ecuatorianos con la cooperación inicial de los geólogos de Naciones Unidas y luego de las misiones geológicas de Inglaterra, España, Bélgica, Alemania y Japón, realizamos el levantamiento de más del 75% del mapa geológico nacional a escala 1:100.000, así como la exploración básica y en parte detallada en 26 proyectos mineros distribuidos en diferentes provincias del país. Estos proyectos en la actualidad, forman parte del patrimonio de la Empresa Nacional Minera ENAMI, pues fueron restituidos al Estado ecuatoriano, mediante la aprobación de la actual Ley de Minería.

Así mismo en las dos últimas décadas, algunas compañías extranjeras, principalmente canadienses, han hecho grandes inversiones en la prospección y exploración de yacimientos auríferos, polimetálicos y de cobre-molibdeno en la región Austral del país y en la zona Subandina. Los resultados obtenidos con el descubrimiento de nuevos cinturones de oro-plata y de cobre-molibdeno (genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad jurásica), son conocidos mundialmente. Los yacimientos más importantes se localizan en la región sur oriental del país, en las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago.

Los estudios de exploración realizados hasta ahora, demuestran que el Ecuador cuenta con una importante existencia, cuantificada de materias primas minerales, a saber: *4000 millones de barriles de petróleo liviano y semipesado, 5000 millones de barriles de petróleo pesado y asfalto, 30 millones de onzas de oro, 40 millones de onzas de plata, 35000 millones de libras de cobre, cantidades importantes de molibdeno, 167 manantiales de aguas termales y minerales, 1000 manantiales de agua fresca de montaña, así como gas natural y materias primas para producir diferentes tipos de cemento, cerámica, vidrio plano y derivados, rocas ornamentales y mármol, abonos fosfatados, nitrogenados, zeolitas y aditivos para mejorar los suelos y reales expectativas en metales como plomo y zinc.*

Sobre la base de minerales metálicos existentes en el territorio nacional debe planificarse una política orientada a producir metales hasta la etapa de refinación.

En los contratos de explotación que se firmen, el Estado ecuatoriano debe exigir a las compañías nacionales y extranjeras, que la participación que le corresponda, sea entregada en forma de lingotes de oro, plata, cobre y molibdeno con el objeto de facilitar su empleo en diferentes ramos de la industria y darles un mayor valor agregado.

En el país se inició la explotación de nuestros recursos no renovables en forma irracional y antitécnica. En el territorio nacional hasta ahora, solo se ha explorado y explotado lo que les ha interesado a las compañías extranjeras: nuestro petróleo, oro, plata, cobre, antimonio, piedra pómez, etc., materias primas que se han exportado en forma bruta, sin ningún valor agregado.

Sin embargo, lo más grave es que a pesar de tratarse de recursos no renovables, las compañías extranjeras explotaron esos recursos en forma voraz e irracional, por lo que grandes reservas de minerales e hidrocarburos se perdieron en el subsuelo o fueron arrojadas a los ríos, a la atmósfera y a las escombreras.

El distrito minero de Portovelo-Zaruma, fue durante 53 años 1.900-1.953, el distrito aurífero más importante de Sudamérica (también lo fue durante la Colonia). Inicialmente fue la Great Zaruma Gold Mining y luego la South American Development Company SADC, las dos compañías extranjeras que durante ese tiempo, explotaron en las minas de Portovelo exclusivamente el oro y excepcionalmente la plata, mientras que otros elementos asociados como el cobre, plomo, zinc, cadmio, indio y germanio eran arrojados a las escombreras o a las márgenes del río Amarillo que corre frente a la población.

Así mismo, cuando se revisan los mapas de los trabajos subterráneos, o se recorre las galerías de las minas, se comprueba que las transnacionales explotaron solo el mineral con alto contenido de oro; por este motivo 160 mil toneladas de mineral con altos contenidos de oro se quedaron en el subsuelo. De igual manera dejaron sin explotar todo el mineral oxidado localizado en los niveles superficiales (en la zona de oxidación).

Mucho se critica la calidad de explotación que realizan las sociedades de pequeños mineros y mineros artesanales, calificándola de antitécnica e irracional. Sin embargo, han sido ellos (los mineros artesanales), quienes en los últimos 50 años se han encargado de explotar todo el mineral, que no fue explotado por las compañías extranjeras, a pesar de que ellas sí disponían de tecnología de punta para hacerlo.

En lo referente al petróleo, hay que recalcar, que en la etapa inicial de la explotación de los campos petrolíferos del nororiente ecuatoriano, las compañías Texaco y Gulf, iniciaron la explotación de nuestro petróleo en forma irracional, sin observar las tasas de producción que dicta la técnica, sobre todo en los campos de Lago Agrio y Sacha.

Como consecuencia de esta explotación, algunos pozos de estos campos se conificaron, el agua desplazo al petróleo, en un proceso irreversible, perdiéndose grandes cantidades de petróleo en el subsuelo. Este problema fue denunciado al país en la Primera Convención Nacional del Petróleo (1.974), por lo que se obligó a las empresas operadoras ha realizar la explotación observando las tasas técnicas de producción.

Hoy cabe preguntarse, que le quedo al país de la explotación de su oro; y, que le esta quedando de la explotación del petróleo.

En Portovelo la SADCÓ reportó haber explotado cerca de 200 toneladas de oro (cifra que nunca se sabrá con exactitud, pues jamás se realizo el control y fiscalización de esta compañía por parte del Estado). Sin embargo lo que al país le quedo fueron las minas casi agotadas (solo en los últimos años se han descubierto nuevas reservas), un medio ambiente contaminado y cientos de trabajadores tuberculosos y con silicosis.

La situación del nororiente ecuatoriano es más triste todavía. Durante los 20 años que operó la Texaco en el país, explotó más de 1.000 millones de barriles de petróleo.

Durante ese tiempo una cantidad superior de agua de formación contaminada con sal, químicos y metales pesados fue arrojada al medio ambiente, a lo que hay que sumar el agua que luego de las lluvias rebasa las piscinas con petróleo localizadas junto a los pozos. Esta agua cargada de petróleo llegaba a los riachuelos y quebradas de la zona y contaminaba todo el ambiente.

Las consecuencias de esta barbarie la están sufriendo muchas de las etnias, tribus y colonos que habitan junto a los campos petrolíferos como los Cofanes, Tetetes, Secoyas, Yumbos. Todos los ríos y riachuelos de la zona están contaminados al igual que el medio ambiente, se quema el gas etc., etc. Como es conocido por todos debido a estas atrocidades cometidas la Texaco ha sido enjuiciada internacionalmente.

Así mismo es paradójico, que los pueblos de Shushufindi y Sacha, que están situados sobre los campos petrolíferos más importantes que hemos tenido por la cantidad de reservas y producción de petróleo, no cuenten con agua potable, alcantarillado y que al igual que todos los pueblos del nororiente hayan surgido a la vera de las carreteras y crecido sin ninguna planificación y ordenamiento.

Si el actual gobierno, invita al capital extranjero a invertir en el campo de los hidrocarburos y la minería, previamente debe fortalecer a las Agencias de Control y Regulación de los hidrocarburos y la minería; y, especialmente a los departamentos de Control y Fiscalización con personal técnico nuevo y especializado, para que realicen el control y fiscalización de la actividad de las compañías nacionales y extranjeras en salvaguarda de nuestros recursos no renovables y de la soberanía del país.

RELACION RESERVAS PRODUCCIÓN.- Es la relación que se observa al realizar la explotación de un yacimiento de minerales durante todo el proceso de

producción (hasta agotar las reservas). Por tratarse de recursos no renovables (finitos), la explotación de los yacimientos tiene que realizarse observando severas técnicas de producción, pues como se anotó antes, cuando se realiza una explotación voraz e irracional, generalmente grandes reservas de minerales se quedan en el subsuelo, siendo después muy difícil recuperarlas, o si esto se logra es a un alto costo.

El proceso de prospección, exploración y evaluación de yacimientos de minerales, es un proceso que requiere generalmente de muchos años de investigación y de grandes inversiones, sobre todo cuando se trata de yacimientos de hidrocarburos y metálicos.

En el territorio nacional la prospección y exploración de petróleo en la cuenca Oriental, se inició a principios del siglo XX, por geólogos de la Compañía Shell. Luego de 40 años de investigación, los resultados obtenidos por la Shell fueron negativos. Es tan solo en abril de 1.967 que las Compañías Texaco y Gulf, descubren petróleo en el nororiente ecuatoriano, en el pozo Lago Agrio 1. En las campañas de exploración realizadas por las empresas señaladas, las inversiones hechas fueron del orden de algunas centenas de millones de dólares. Así mismo en las últimas dos décadas, algunas compañías mineras han hecho enormes inversiones en la prospección y exploración de yacimientos auríferos, sobre todo en depósitos epitermales de alta sulfuración asociados a pórfidos de alto nivel (hipoabisales); así como, yacimientos de Cu-Mo con resultados positivos. Los depósitos descubiertos de oro-plata y cobre-molibdeno en el sur oriente, como se señaló son de importancia mundial.

En el proceso de exploración, el Geólogo orienta la búsqueda a yacimientos industriales, o sea aquellos yacimientos que en las condiciones técnico-económicas actuales, son económicamente explotables. Para que un yacimiento sea industrial, a su vez tiene que reunir algunas condiciones y cumplir con algunos parámetros:

- **Cantidad:** para yacimientos de hidrocarburos y metálicos es el parámetro más importante. Está relacionado al volumen de las reservas, mientras mayor superficie y espesor tiene un depósito, mayor es la cantidad de reservas recuperables. En base a las reservas cuantificadas se calcula el tiempo de explotación o vida de un yacimiento.
- **Calidad:** está relacionada a la riqueza de las menas o densidad del petróleo. Para yacimientos metálicos, la calidad generalmente se expresa en porcentajes (4% de Cu), o en gramos por tonelada o metro cúbico (8 g/t). Para yacimientos de petróleo, la calidad se expresa en unidades API, internacionalmente los petróleos se clasifican en: (livianos 30-45 API, semilivianos 23-30 API, pesados 23-14 API, extrapesados 14), mientras mas liviano es el crudo mejor es su calidad.
- **Condiciones Técnico-mineras:** están constituidas por aquellos parámetros que inciden en el precio de producción de una tonelada de materia prima mineral puesta en cancha mina, o de un barril de petróleo puesto en superficie. Entre los principales parámetros tenemos: la sobrecarga, la forma y disposición de los cuerpos

mineralizados o campos petrolíferos en el espacio, el comportamiento físico-mecánico de las rocas encajantes, la existencia de aguas subterráneas etc. Para yacimientos de petróleo son importantes además: el coeficiente de porosidad efectiva de las rocas reservorio, la permeabilidad, la densidad del petróleo, el coeficiente de saturación de agua, el volumen de arcilla, etc.

- **Condiciones Económicas:** son aquellos parámetros, que tienen que ver con la infraestructura de la zona: existencia o no de vías de comunicación, energía, agua, mano de obra, madera y otras.

Es evidente que cualquiera de los parámetros señalados, puede hacer que un yacimiento de minerales se vuelva antieconómico. Sin embargo también es cierto que mientras más grandes son las reservas y más alta la calidad de la materia prima mineral, la explotación de un yacimiento se justificará en condiciones técnicas mineras y económicas adversas.

De lo anotado se deduce, que el concepto de yacimiento de minerales es relativo, pues además de los parámetros señalados depende de la oferta y la demanda que exista para un tipo de materia prima en el mercado, aspecto que muchas veces está relacionado o puede ser creado por crisis económicas y políticas. Lo que ocurre con el petróleo, es un claro ejemplo. Durante los últimos tres años, el precio del barril de petróleo ha sido del orden de 100 dólares, alza que se produjo debido a algunos problemas: la crisis de Irak provocada por la guerra, la inestabilidad en Venezuela, los problemas legales de la petrolera rusa OAO Yukos, a lo que se suma la creciente demanda de petróleo por parte de China, que además, en los últimos trimestres de cada año, se hace extensivo a todos los países del hemisferio norte, por el invierno.

CREACIÓN DE CIUDADES ECOLÓGICO- MINERAS.- Los ejemplos citados, deben hacernos recapacitar a todos los ecuatorianos y especialmente a los organismos encargados de la planificación y ordenamiento del país como son la Senplades, Consejos Provinciales, Municipios y algunos Ministerios. En el Ecuador no puede repetirse lo ocurrido en las minas de Nambija, Ponce Enríquez, Chinapintza y otras, sitios en donde en la etapa inicial sin ninguna planificación se construyeron tiendas de plástico sobre los yacimientos; y, luego pequeños pueblos que hasta ahora, carecen de los servicios más indispensables.

La planificación minera debe hacerse en base a las reservas de minerales existentes en el subsuelo. El monto de las reservas técnicamente determina la producción diaria y anual de uno o varios minerales, así como la vida del yacimiento.

La riqueza en minerales metálicos y no-metálicos existentes en la región sur oriental, permiten planificar la construcción de una o varias ciudades modernas, ecológicas y sustentables en las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago. En esta

región existen enormes planicies, ubicadas cerca de los cinturones de yacimientos de minerales de cobre-molibdeno y de oro-plata localizados en el flanco occidental de la cordillera de El Cóndor. Las ciudades en la selva, al igual que las unidades

administrativas y de vivienda deben planificarse de manera que estén rodeadas de parques nacionales y zonas de reserva, ubicadas a lo largo de los ríos Zamora, Nangaritza, Quimi, Manchinatza, Bomboiza y otros, así como de bosques naturales localizados en el flanco oriental de la cordillera Real y en la cordillera del Cóndor.

Los campesinos y habitantes de estas comunidades deberán ser colonos de las zonas primeras, en ser beneficiados con la explotación minera también deben ser ellos, como lo contempla la actual Ley de Minería.

Las reservas de minerales metálicos del sur oriente, a los cuales se sumaran los concentrados de minerales metálicos explotados en el resto del país, permiten planificar la instalación de una fábrica metalúrgica, biohidrometalurgia para producir mil toneladas diarias de cobre refinado durante 70 años o más; y, otra para producir 500 mil onzas de oro y 1 millón de onzas de plata anuales durante 60 años. Además en la región, se debe construir fábricas de cemento, hormigones especiales y tubos de alcantarillado en el sitio de Izimanchi, dos fábricas para producir vidrio plano y derivados en los sitios de Huayzimi y Limón Indanza y varias fábricas de cerámica y de rocas ornamentales repartidas en toda la región.

El monto inicial de las reservas de recursos no renovables del sur oriente, tiene un equivalente del orden de 150 mil millones de dólares (monto que se incrementará a medida que se realice la exploración detallada de los dos cinturones metalíferos: de cobre-molibdeno y oro-plata), lo que permitirá dotar a las ciudades que se planifique, de una moderna red de carreteras, que hagan realidad los ejes viales Puerto Bolívar-Loja-Zamora-Zaramiritza(Perú) y Zamora-Zumba-Jaén (Perú); de un aeropuerto internacional, una presa y una planta hidroeléctrica para dotar de agua potable y energía a las instalaciones mineras y a las ciudades, así como de modernos hospitales, escuelas, colegios, un instituto de investigaciones geológico-minero-metalúrgico, etc.

Este Macro Proyecto, al cual geográficamente se vinculan las provincias antes señaladas, creará miles de plazas de trabajo en la etapa extractiva, decenas de miles de plazas de trabajo en la etapa transformativa y cientos de miles de puestos de trabajo en la comercialización, distribución y empleo de los insumos mineros y otras actividades afines al desarrollo de la región y del país. La explotación e industrialización de estos recursos debe planificarse en forma global, considerando a esta zona del sur oriente, como un nuevo polo de desarrollo. Los proyectos deben desarrollarse en forma planificada y sostenida, bajo la dirección centralizada de una institución (SENPLADES).

CAPÍTULO VIII

METALES PRECIOSOS

Al grupo de los metales preciosos pertenecen el oro, la plata y el platino. Estos metales se llaman preciosos por la propiedad que tienen de conservar su composición y belleza en condiciones ambientales, pues no se oxidan ni corroen al aire libre, en contacto con el agua y bajo la acción de la mayoría de las sustancias químicas activas. Debido a estas características todos los metales preciosos, tienen la propiedad de formar yacimientos secundarios o de placeres.

8.1 EL ORO

El oro fue el primer metal que conoció el hombre. Utensilios de oro se han encontrado en capas culturales de la época neolítica (5.000 – 4.000 años antes de nuestra era). En territorios de Egipto, Asiría y el sur de Europa el oro se explotaba desde hace 5.000 – 4.000 años. En América el trabajo en metales y particularmente en oro, se inicia hace 3.500 años en los Andes Centrales (Perú). En el Ecuador, los objetos más antiguos, elaborados de oro y platino, se produjeron por el año 1.400 A. C.

El oro refinado en forma de lingotes y monedas, se conserva como fondo de reserva en los Bancos nacionales y su monto en los países capitalistas es del orden de 50.000 Ton. El resto del oro explotado hasta ahora se ha empleado en joyería (55%), electrónica y química (35%) y en Medicina (10%).

El oro en la naturaleza nunca se encuentra puro y puede contener mezclas de hasta 40 diferentes elementos, es por esto que al refinar el oro, además se obtiene plata, platino y los elementos de su grupo (paladio, iridio, rodio, osmio y rutenio), uranio, cobre, bismuto, bismuto y telurio entre los elementos principales. Así mismo un 5-7% del oro se obtiene al explotar y luego refinar las menas de yacimientos polimetálicos de

cobre, plomo, zinc, níquel, antimonio, y otros. El precio del oro se incrementó significativamente en la década de 1980, en 1984 alcanzó el precio más alto US \$ 20

el gramo, en los últimos dos años el precio del oro se eleva nuevamente, en la actualidad (7 de mayo del 2.010) la onza de oro alcanzó 1.207 dólares.

En el mundo hasta el siglo XV incluido, se explotó 12.000 toneladas de oro, en el siglo XVI 760 toneladas, en el XVII – 900 toneladas, en el XVIII – 1.900 toneladas,

en el XIX hasta 1.600 toneladas y en el XX 80.000 toneladas. La suma total de oro han sido extraídas desde 1950; así mismo, para el presente año el pronóstico es que 1gr., de oro de 24 kilates llegue a costar 45 dólares. En la actualidad oro se explota en más de 50 países, ocupan los primeros puestos: China, Sudáfrica, Australia, Estados Unidos, Rusia y Canadá. En Sudamérica los primeros puestos los ocupan Perú, Brasil y Colombia.

Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), durante el año 2009, la producción mundial de oro fue de 2.385 t ocupó el primer puesto China con 288 toneladas, seguida de Estados Unidos 234, Sudáfrica con 232 t, le siguen Australia Rusia y Perú. Las reservas mundiales probadas de oro son de 43.100 toneladas y las reservas probables y posibles de 90.000 toneladas.

A nivel mundial los yacimientos de oro más grandes que se conoce son los de Witwatersrand localizados en Sudáfrica, cuyas reservas son de 25.000 toneladas; estos yacimientos en las últimas décadas han producido hasta el 75% del oro explotado en los países occidentales. En Sudamérica en los últimos años destacan los yacimientos de la zona de Yanacocha en el Perú, con reservas de 900 toneladas y una producción de 55.05 toneladas en el año 2.000. En el Ecuador el distrito aurífero de Portovelo-Zaruma-Minas Nuevas ha sido y sigue siendo el más importante, tanto por las reservas como por la producción de oro. Durante la primera mitad del siglo XX, estos yacimientos fueron los más importantes de Sudamérica. La South American Development Company SADCO que opero hasta 1.953 en Portovelo, reportó haber explotado 200 toneladas de oro, en los últimos 50 años la compañía nacional CIMA, las sociedades de pequeños mineros y los mineros artesanales han explotado unas 100 toneladas, las reservas remanentes existentes en la actualidad son del orden de 100 toneladas. En los últimos años se descubre el yacimiento de FRUTA DEL NORTE ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe, las reservas reportadas de este yacimiento son de 14 millones de onzas; Quimsacocha ubicado en la provincia del Azuay con reservas de 3.5 millones de onzas y otros.

El contenido de oro en menas de yacimientos primarios de tipo filoniano y de skarn, puede variar entre algunos gramos hasta algunos kilogramos por tonelada, en yacimientos del tipo pórfido el contenido es pequeño 1-2 gramos por tonelada, en yacimientos secundarios de placeres, el contenido puede variar desde 0.3 gramos, hasta algunos cientos de gramos por m³.

Estudios de GEOQUÍMICA han determinado la existencia de 14 isótopos de oro con masas de 192 – 206, sin embargo solo uno es estable el Au – 197. El Clark (contenido medio de un elemento en la corteza terrestre) del oro es de $4,5 \times 10^{-7} \%$. El coeficiente

de concentración (cantidad que multiplicada por el Clark, da como resultado una mena económicamente explotable) del oro es muy alto, en promedio es de 2.000.

En condiciones endógenas el oro se relaciona mayormente con rocas de composición básica (basaltos), las cuales constituyen la corteza oceánica y forman el lecho de los

profundo, pero al estar asociado con los basaltos, la tierra. Sin embargo, tanto en los basaltos como en los granitos, el oro no forma yacimientos industriales (económicamente explotables). El oro se aísla en soluciones complejas de origen postmagmático, mayormente en forma de tiosulfatos y cloruros, los cuales forman diferentes tipos de yacimientos de origen hidrotermal (Petrobskaya N., 1973). En condiciones exógenas el oro, debido a los procesos de meteorización y erosión, en gran medida se libera de los elementos asociados que entran en su red cristalina, y origina depósitos secundarios genéticamente asociados a los sombreros de hierro y los placeres.

La MINERALOGÍA del oro es pobre, se conocen solamente 20 minerales de este metal. El mineral más importante que constituye los yacimientos auríferos es el oro nativo, el cual, como se señaló antes, contiene mezclas de hasta 40 elementos, entre los cuales los más importantes son: la plata, los platinoides, el cobre, el hierro, el plomo, el bismuto y el antimonio; otro mineral importante es el electrum (Au, Ag), presente casi siempre en los yacimientos epitermales.

La calidad del oro esta dada por su fineza (pureza), la cual se determina en base a una prueba de oro puro, equivalente a 1.000 (24 kilates). El oro de gran pureza equivale a una prueba mayor a 900 (el oro de los yacimientos de Nambija, está entre los 10 más puros del Mundo, tiene una fineza de 980), el oro de baja fineza, equivale a una prueba menor a 700.

La fineza del oro en los yacimientos depende de las condiciones geológicas y de parámetros físico-químicos de su formación; generalmente la pureza del metal aumenta de yacimientos jóvenes a antiguos, de baja temperatura a alta temperatura, de poca profundidad a profundos y de primarios no alterados a secundarios removilizados. (Petrobskaya N., 1973).

El oro en las menas se presenta en forma de granos, películas, hilos, dendritas, etc., muy rara vez forma cristales y agregados. Por el tamaño el oro se presenta en forma dispersa- microscópica, fino (hasta 0.1 mm), medio (hasta 1 mm), grueso (hasta 5 mm) y pepas (más de 5mm o más de 10 gramos en peso).

El peso de pepas encontradas en yacimientos primarios y en placeres varía mucho. Son famosas la pepa del gran triangulo (36.2 kg) encontrada en Rusia, la lápida de Xolterman (285 kg) encontrada en Australia. En el Oriente ecuatoriano, en la zona de

Zamora, en el siglo XVI, se encontró la pepa más grande de América, la lagrima del sol (9 kg), la cual fue obsequiada por el Adelantado Don Juan de Salinas al Rey Felipe II de España. El oro tanto en yacimientos primarios como secundarios,

generalmente está distribuido en forma muy dispersa, o formando concentraciones en forma de bonanzas, clavos, hilos y chorros.

La METALOGENIA (estudia el origen y distribución de los yacimientos de minerales en el espacio y en el tiempo) del oro es muy variada; durante la historia geológica se

destacan cuatro grandes épocas de formación de yacimientos de oro (de millones de años). En la época más antigua, Era Arcaica de 3.500-2.500 millones de años, se formaron grandes yacimientos de oro, genéticamente relacionados a cinturones de rocas verdes intensamente metamorfizados, estos yacimientos característicos para las Plataformas de la corteza terrestre y sus Escudos se conocen en Canadá, Brasil, Sudáfrica y Australia. En la época Proterozoica (2.200-1.800 millones de años), se formaron enormes yacimientos estratiformes, entre los cuales se destacan los fenomenales conglomerados auríferos de Witwatersrand en Sudáfrica. En el Paleozoico Superior (300-200 millones de años) que coincide con el fin de la época Hercínica, se formaron decenas de yacimientos de oro, mayormente de tipo plutogénico-hidrotermal. Por último, en la época Mezo-Cainozóica, que corresponde al ciclo andínico, se formaron cientos de yacimientos hidrotermales de alta y baja sulfuración, genéticamente asociados a pequeños intrusivos de alto nivel y al volcanismo. En este grupo destacan los yacimientos del cinturón andino como los de Yanacocha y Pierina en el Perú; Portovelo, Fruta del Norte, Quimsacocha y otros en el Ecuador.

8.1.1 DISTRITOS AURÍFEROS DEL ECUADOR

En el siguiente cuadro se resumen las características tipológicas, así como algunos parámetros y la distribución de los principales distritos auríferos del país (Tabla No. 3).

Distrito Minero	Tipo de Yacimientos	Reservas explotadas + Existentes Ton.	Leyes en g/t.	Localización
Portovelo-Zaruma	Mezo-epitermales de baja sulfuración. Filonianos.	Oro: 400 t Plata: 800 t	Au= 12 g Zn= 10% Cu= 5% Ag= 63 g	Arco volcánico Saraguro
Ponce-Enríquez	Hipo-mesotermiales, filonianos relacionados a porfidos.	Oro: 70 t Ag: Cu, As, Pb, Zn	Au: 26-80 g Ag: 24 g	Cordillera Occidental
Nambija	Skarn- epitermales.	Oro: 150 t	Au 22 g/t hasta 1000 g/t en clavos	Arco volcánico Jurásico

Chinapintza	Epitermales de brecha y veta, de baja sulfuración	Oro: 12 t Ag: 180 t (Zn, Pb, Cu)	Au 50 g Ag 126 g Zn 4.6% Pb 0.55%	Arco volcánico Jurásico
Fruta del Norte	Epitermal de meso-alta sulfuración	Oro: 14 M.onz. Plata: 30 M.onz.	Au 7.3 g/t Ag 15 g/t	Arco volcánico Jurásico
Molleturo	Vetas Meso-epitermales de baja sulfuración	Oro: 20 t Plata: 50 t	Au 27 g Ag 392 g Pb 0.3%	Arco volcánico Saraguro
Azuay	Epitermales de alta y baja sulfuración	Oro > 100 t	Au 1-1.5 g H.S. 5.50 gr L.S.	Arco volcánico Saraguro
Placeres-Auríferos	Secundarios de Placeres	Au > 100 t, Pt, Pd	Au 0,3-18 g Pt 0,11 g	Cuencas transarco y antearco

Tabla No. 3.- Parámetros de los yacimientos auríferos del Ecuador

DISTRITOS AURIFEROS

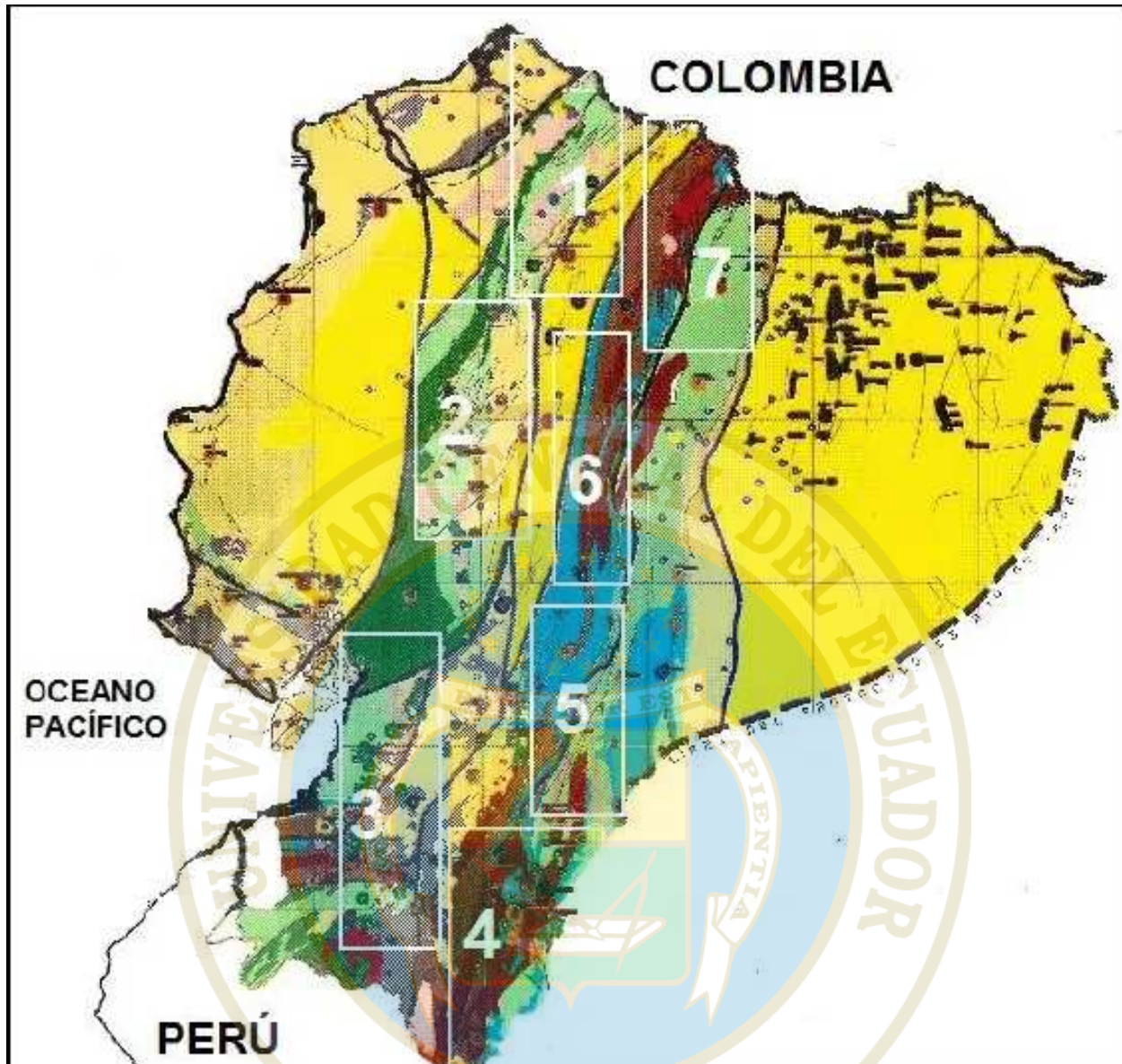


Fig. No. 31.- Distribución de los principales distritos auríferos del Ecuador

- 1.- Pacto – Lita – Chical
- 2.- Macuchi – La Plata
- 3.- Portovelo – Zaruma - Ponce Enríquez
- 4.- Nambija – Zumba
- 5.- Macas – Gualaquiza
- 6.- Chalupas – Alao
- 7.- La Bonita

8.1.1.1 Distrito de Portovelo-Zaruma-Minas Nuevas

El Distrito aurífero de Portovelo está localizado en el arco volcánico continental Saraguro y comprende los yacimientos de: Portovelo, Zaruma, Minas Nuevas y Ayapamba. Son yacimientos auríferos de tipo argentífero polimetálico, vetiformes, de tipo epitermal de baja sulfuración, constituidos de metales base de cobre, plomo y zinc y de metales preciosos oro y plata. Según el criterio de algunos especialistas estos yacimientos son del subtipo adularia-sericita.



Fotos No. 1 y 2.- Panorámica del distrito minero Portovelo-Zaruma, y planta de tratamiento del mineral.

Dentro de su género este distrito posee un tamaño excepcionalmente grande con vetas que se extienden casi continuamente 15 k. en sentido N-S, 4 k. en dirección E-W y 1.6 k. en sentido vertical (Misión Belga, 1.989).

Las vetas se relacionan con procesos de relleno, tienen los contactos bien definidos y una clara estructura zonada. Las rocas encajantes están representadas por andesitas masivas de la serie Saraguro, son de grano fino a medio, están intruidas por macizos de granodioritas, monzonitas cuarzosas y riolitas. Al sur las andesitas Saraguro limitan con las rocas metamórficas del grupo Tahuín (Pz) a lo largo de fallas de rumbo noroeste, las cuales además controlan posiblemente los procesos de mineralización.

La mineralización de las vetas del yacimiento es variable tanto en extensión como en profundidad (Fig. No. 32). Las vetas de la zona norte de Zaruma, están constituidas de cuarzo con abundante pirita y en menor cantidad calcopirita. En la zona entre Zaruma y Portovelo los sulfuros se incrementan y diversifican encontrando vetas en las cuales predomina la calcopirita como sucede en las vetas Bomba y Agua Dulce, en otras la esfalerita está en buena cantidad pero además pirita, galena y calcopirita como en las vetas Tamayo, Cantábrica, Jorupe y Soroche. Al sur de esta última empieza a aparecer la calcita y en el Tablón al sur del río Amarillo; las vetas están constituidas de calcita, óxidos de manganeso, galena, esfalerita y cuarzo.

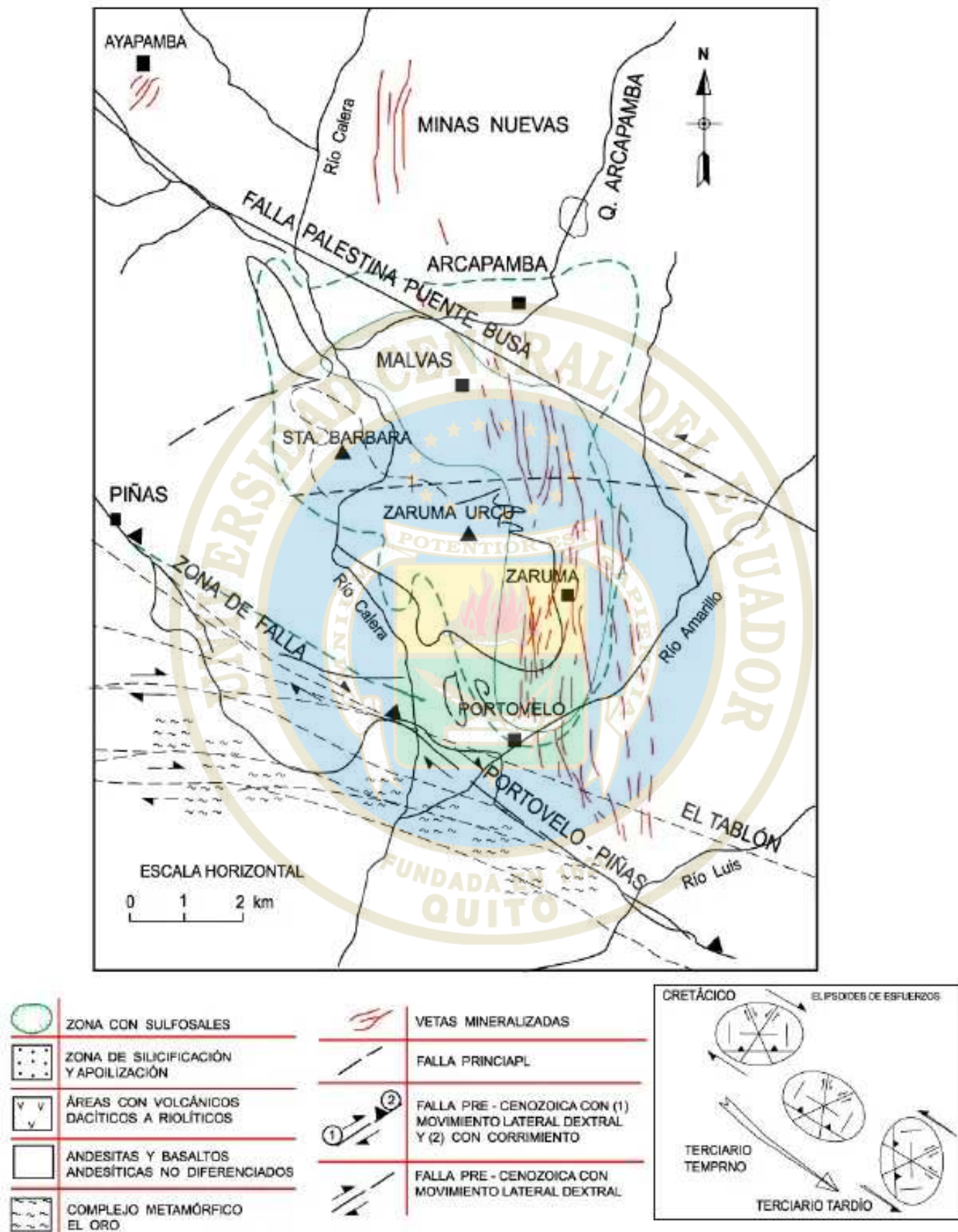


Fig. No. 32.- Geología del distrito Portovelo – Zaruma. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos epitermales en la cordillera Andina (Vol. 2 PRODEMINCA, junio 2000)

La SADC (compañía americana), determinó, que la zona más rica en sentido vertical, dentro de las vetas del distrito de Portovelo, estaba localizada entre los niveles F y S en un intervalo de 300 m, el contenido medio de oro en las vetas es de 10-12 g/t mas de 10% de zinc, 4-5% de plomo y 4-5% de cobre.

Los yacimientos del distrito de Portovelo se formaron en cuatro estadias de mineralización. Los minerales primarios de mena son: pirita, calcopirita, esfalerita,

galena, bornita, tetrahedrita, tenantita, oro, plata. Como producto del enriquecimiento secundario se formaron la calcosina y la covelina; los minerales de ganga son el cuarzo y la calcita (Tabla No. 4).

El oro nativo se relaciona con el cuarzo poroso, heterogéneo y manchado de limonita; con el cuarzo compacto, denso masivo con pepas sulfurosas y oxidaciones el oro generalmente no se relaciona, o lo hace en muy bajas concentraciones.

ESTADIAS DE LA MINERALIZACIÓN

MINERAL	1	2	3	4	ES.
CUARZO	*****	*****	*****	*****	
PIRITA	*****	****	**		
CALCOPIRITA		****			
ESFALERITA		****			
GALENA		****		***	
BORNITA		**			
TETRAHEDRITA					
TENANTITA					
ORO		**			
PLATA		***		**	
CALCOCINA					****
COBELINA					***

Tabla No. 4.- Estadias de mineralización del yacimiento de Portovelo

El ascenso del oro se produjo conjuntamente con los sulfuros, siendo el principal vehículo del oro en las soluciones mineralizantes la pirita y calcopirita (Valencia 1.980); como lo prueba el hecho de que en la región sulfurada se nota una íntima relación entre la proporción de oro y la de cobre, aumentando o disminuyendo la ley de oro a medida que aumenta o disminuye la proporción de cobre en el mineral. En observaciones al microscopio se ve, que los microcristales de oro se encuentran incluidos en la red cristalina de la pirita y calcopirita.

Sin embargo en 1.959 Schneider según sus estudios afirmó, que el oro se encuentra casi exclusivamente libre como electrum. Con respecto a las temperaturas de formación, Litherland de la Misión Británica en 1987 determinó, que éstas se sitúan entre 320 y 380°C Posteriormente la Misión Belga (1989) mencionó, que las soluciones mineralizantes ascendieron a temperaturas que oscilaron entre 300-250° hasta 200°C.

En la zona de oxidación los metales se encuentran en estado blando y oxidado al haber sido alterado pasando del estado de sulfuros a óxidos, carbonatos etc., aspecto que caracteriza a esta zona al presentar depósitos terrosos de color rojizo, ocre y negruzco. En este material es común encontrar hojillas de oro, otras veces aparece un cuarzo escoriáceo mezclado con arcilla amarilla o rojiza, donde igualmente se pueden

hallar partículas de oro.

En estudios realizados en Portovelo (Paladines A., Cropachof S., Yépez B. 1.992) con el método de microanálisis de Rayos X se llegó a descubrir nuevos minerales en las muestras analizadas. Se trata de sulfotelururos de plata: Berleonardita $\text{Ag}_8(\text{Sb}, \text{As})\text{Te}_2\text{S}_3$, Kervelleita $(\text{Ag}; \text{Cu})_4\text{TeS}$ y un nuevo mineral de formula $\text{Ag}_9\text{Sb}, \text{Te}_2\text{S}_4$ descrito también en la revista American Miner 1.991, N° 5-6; Pág. 670 al cual todavía no se le ha asignado nombre. Además de encontrarse otros minerales por primera vez en el depósito en vetas de cuarzo y mediante análisis de microsonda, telururos de Au, Ag y Bi; Petzite, Hessite, y Tetradymite (*Richard Banda, Ilya Vikentyev, y otros 2.004*)

Así mismo se confirmó, que el yacimiento de Portovelo pertenece a una típica formación de menas oro-argentíferas y a la subformación oro-plata-polimetálica. Estas menas son típicas para zonas volcánicas, hipoabisales (formadas a profundidades menores a 2 k.), de temperatura baja (temperatura de formación de soluciones coloidales menor a 250°C). Para ellas es característico el oro de 14-18 quilates (electrum) y cuerpos mineralizados de gran longitud con una composición mineralógica estable. En el distrito de Portovelo hasta ahora se han explotado unas 300 toneladas de oro; unas 100 toneladas quedan aún en el subsuelo.

8.1.1.2 Distrito de Ponce Enríquez

Comprende los yacimientos de Bella Rica y Gaby relacionados con porfidos; y, chimeneas de brecha Au-polimetálicas con turmalina como La Tigra, Cerro Pelado y otros.

BELLA RICA.- Es un yacimiento del tipo aurífero-polimetálico, de origen hipotermal, localizado al sur de la cordillera Occidental (Foto No. 3). Es de tipo filoniano, las vetas están localizadas en lavas andesíticas y microbrechas del arco volcánico Macuchi. La andesita es fino granular, compuesta de plagioclasas y máficos, cuando no está silicificada se presenta fuertemente meteorizada. La micro brecha está constituida por fragmentos de lava menores a 1 c. en una matriz afanítica.



Foto No. 3.- Vista panorámica de Bella Rica

Pequeños cuerpos intrusivos, compuestos de cuarzo-diorita fino granular, constituyen una fase ígnea relacionada con la mineralización y alteración de la roca en el área (Fig. No. 33).

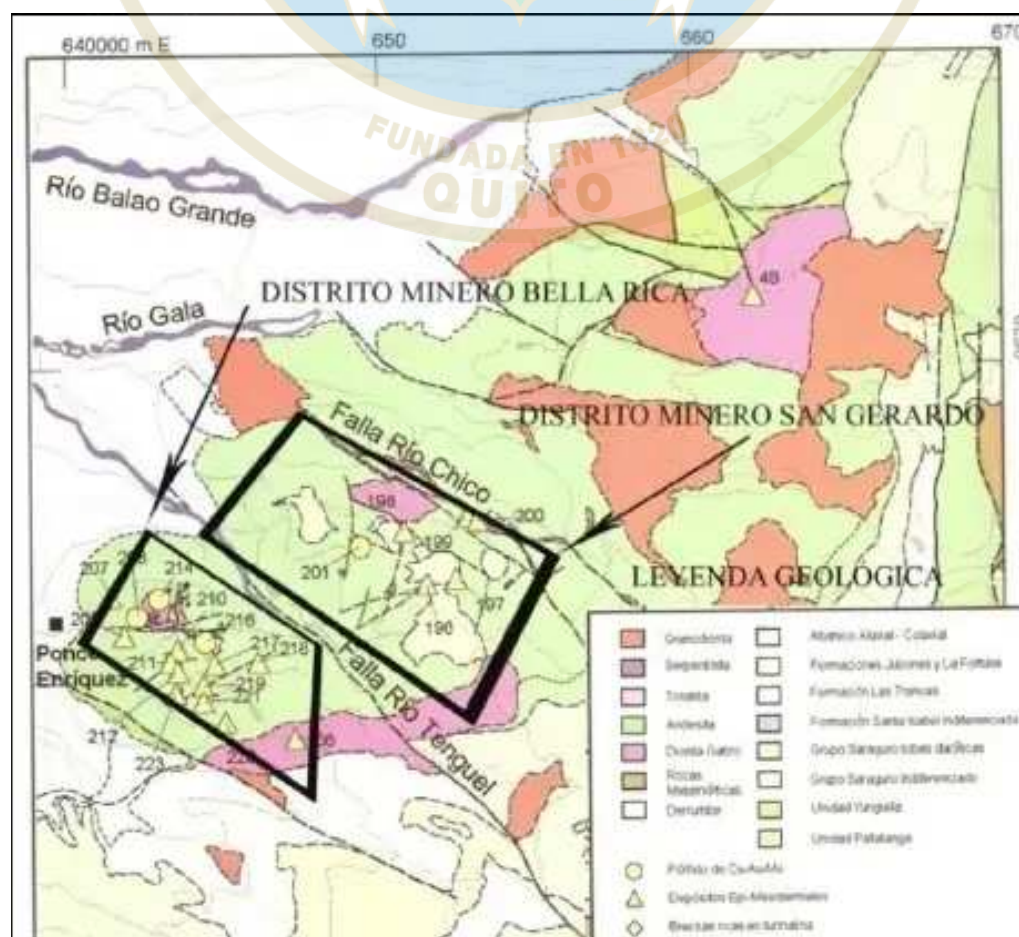


Fig. No. 33.- Geología local del Distrito Minero Bella Rica y San Gerardo (Fuente: mapa modificado, Tomo IV de ProdeMinca) Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera del Cóndor (Vol. 5 PRODEMINCA, junio 2000)

Las vetas y vetillas de un modo general, se pueden agrupar en dos fajas estructurales, de dirección este-oeste N75° E y N 15-20° W, con buzamientos al Este. Un sistema de fallas orientado en sentido N15-20 W controla la mineralización.

La alteración más notable en el área es una silicificación intensa, acompañada frecuentemente de clorita y epidota; parcialmente y conjuntamente con la silicificación, la roca presenta una fina disseminación de pirita en cristales idiomórficos y en vetillas cortas.

De los estudios efectuados en briquetas pulidas (Paladines M. 1.993) fundamentalmente se han reconocido las siguientes asociaciones paragenéticas:

- Cuarzo-Pirita
- Cuarzo-Pirrotina-Calcopirita-Oro
- Cuarzo-Marcasita. Hematita

Estas paragénesis más usuales pueden variar según la posición de las vetas y los minerales accesorios presentes (arsenopirita, esfalerita, tetrahedrita, clorita, epidota, etc). Para definir la temperatura de formación del yacimiento, se utilizaron los “minerales termómetros”, como la fase mineralógica de calcopirita – esfalerita, en su textura de descomposición de soluciones sólidas en forma de emulsiones, donde la esfalerita forma finas gotas, estrellas (esfalerita-stars) y retículas. La formación de dicha fase ocurre a 500°C.

Al ser analizada la esfalerita en microsonda, se constató un alto contenido de hierro y cadmio (hasta 1%) en su composición química, lo cual corrobora su formación en altas temperaturas.

Así los criterios de paragénesis (Tabla No. 5), texturales y químicos estudiados indican claramente la presencia de un yacimiento hidrotermal de alta temperatura. El

oro se presenta en cristales frecuentemente irregulares, dentados, así como en forma hexagonal y octaédrica (en menor cantidad). Su localización tiende a los sulfuros, especialmente a la calcopirita, en menor cantidad a la pirrotina y pirita.

ESTADIAS DE LA MINERALIZACIÓN

MINERALES	1ª ESTADIA	2ª ESTADIA	3ª ESTADIA
CUARZO	●●●●●●	●●●●●●	●●●●●●●●
PIRITA	●●●●●●	●●●●●●●●	
PIRROTINA		●●●●●●	
CALCOPIRITA		●●●●●●●●	

ORO			
HEMATITA		●●●●●	
ARSENOPIRITA			●●●●●
MARCASITA			
TETRAHEDRITA		- - - - -	
ESFALERITA		- - - - -	
ELECTRUM		- - - - -	
TELURO DE BI		- - - - -	
HOSSITA		- - - - -	
BISMUTO NATIVO			●●●●●
EPIDOTA			●●●●●
CLORITA			●●●●●
CALCITA			●●●●●
ANQUERITA			●●●●●

Tabla No. 5.- Estadias de mineralización del yacimiento de Ponce Enriquez, Paladines M., 1993

Los tamaños de los granos de oro tienen un amplio rango, pero en base del estudio de 25 gramos de oro, encontrados en las láminas pulidas, se puede hacer la siguiente clasificación: el 76% del oro de Bella Rica es de grano medio (2000-50 um), y el 24% restante es de grano fino (50-5um). En la clasificación del grupo “grano medio” por tamaños tenemos:

50	-	100um= 47.3%
101	-	200um= 26.3%
201	-	300um= 5.3%
301	-	400um= 5.3%
401	-	500um= 5.3%
500	-	600um= -
601	-	700um= 10.5%

Así se puede apreciar, que un buen porcentaje del oro oscila entre 50-100um, lo que equivale a una molienda entre 150-270 mallas. Esta fracción sería recuperada en beneficio por gravimetría.

La contextura de los granos de oro es variada. Se tiene la presencia del oro de carácter poroso, homogéneo, cubierto con una fina capa de óxidos de hierro, así como oro en unión intermedia compleja de plata, bismuto y teluro. Todas estas características tendrían una gran incidencia para el tratamiento del oro y, específicamente, para los

procesos de amalgamación y cianuración. El tratamiento metalúrgico estaría condicionado a fenómenos químicos (teluros de oro insolubles), como a fenómenos

físicos (oro recubierto de una capa de óxidos de hierro). Estos problemas podrían ser eliminados con un tratamiento previo a la cianuración.

Los estudios texturales-estructurales permiten notar, en las muestras, una amplia variedad de texturas de cristalización (especialmente idiomorfo e hipidiomorfo granular), texturas de descomposición de las soluciones sólidas (texturas de emulsiones), así como texturas de fragmentación (o brechación) y texturas de sustitución.

El contenido de oro en las vetas del yacimiento de Bella Rica es del orden de 80 g/t las reservas del distrito son de 70 toneladas de Oro.

LA TIGRERA.- El campo metalífero cuarzo-turmalino-aurífero La Tigrera se localiza 20 k. al sureste de Gaby. Está compuesto por tres cuerpos con concentraciones industriales de oro, además existen ocho anomalías de interés, ubicadas dentro de rocas intrusivas hipoabisales y efusivas mesosíliceas, de edad cretácico-terciaria. La mineralización está controlada por dos sistemas de fallas: uno orientado NE-SW y, el otro ortogonal.

El yacimiento de LA SOLEDAD, en la parte central del campo es el mejor investigado: la mena aurífera está constituida por cuerpos brechosos, irregulares, tipo bolsonadas, lentes, pseudo vetas y otros, mediana a altamente oxidados, y medianamente frescos a descompuestos.

La composición mineralógica de las menas está constituida principalmente de oligisto (especularita), feldespatos, cuarzo, turmalina (la variedad verde es la más abundante), sulfuros de Fe, Cu, Zn, y Bi y oro nativo. El oro tiene dimensiones entre 50 micrones y 1 cm², hilos de 3 cm de largo y 2 mm de diámetro, a formas no geométricas entre 9 mm² hasta 2 cm², con una finura de 85 a 89%.

El cuerpo mineralizado se presenta como un tubo de brecha oxidado de 300m de ancho, constituido por fragmentos angulares y redondeados de un pórfido diorítico hornblendico en una matriz arcillo ferruginosa. La oxidación a la que el cuerpo mineral ha sido sometido, ha permitido liberar el oro, el cual es fácil de recuperar por métodos gravimétricos. La profundidad de la capa oxidada llega hasta los 150 m, las reservas son del orden de 5.30 millones de toneladas, con una ley media de 3.35 g/t de Au, los valores altos de oro están en la matriz; una sección de 36 m. combinada de fragmentos y cemento dió un valor de 5.48 g/t de Au.

Hacia el oeste de La Tigrera se localiza el prospecto de LA PLAYA, el cual está constituido por un tubo de brecha de origen pneumatolítico-hidrotermal. El cuerpo mineralizado está constituido de fragmentos de diorita cementados en una matriz con turmalina, sílice y hematita, localmente se observa oro macroscópico.

Hacia el sur de La Playa, se localiza el depósito de CERRO PELADO, el cual está constituido de tobas silicificadas, brechas con fragmentos riolíticos en un cemento en el que se observa pirita, marcasita, arsenopirita, pirrotina, calcopirita y oro libre. Muestras de los sectores más oxidados dan valores de 0.5 – 14.2 g/t de oro.

8.1.1.3 Distrito de Nambija

Está localizado en la zona Subandina, en el flanco occidental de la cordillera de Nanguipa. Comprende los yacimientos y depósitos de Nambija, Guayzimi, Sultana del Cóndor, Cambana y Fortuna, se trata de mineralizaciones de skarn relacionados a una estructura tipo Graben de orientación Andina.



Fotos No. 4 y 5.- Vista panorámica del distrito aurífero de Nambija.

NAMBIJA.- En el área del yacimiento la geología está representada por una secuencia de rocas del Jurásico inferior, constituida de argilitas, areniscas y arcillas con intercalaciones de mantos potentes de rocas andesíticas (Fig. No. 34). La potencia de este paquete alcanza 500 m sobre el cual descansa un paquete de cuarcitas (150 m) que hace contacto (en partes tectónico) con la zona mineralizada de skarn, que tiene una potencia de 100-120 m sobre la cual discordantemente descansan arcillas de color rojo, las cuales rematan el corte.

Las rocas de skarn tienen estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo-verdoso, algunas veces con tonalidades ladrillo por la presencia de granates. Se localizan en la zona de contacto entre los volcánicos Piuntza con el batolito de Zamora y pórfidos postbatolíticos del Jurásico superior. En el área del yacimiento el intrusito, está representado por una monzo-diorita de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespatico.

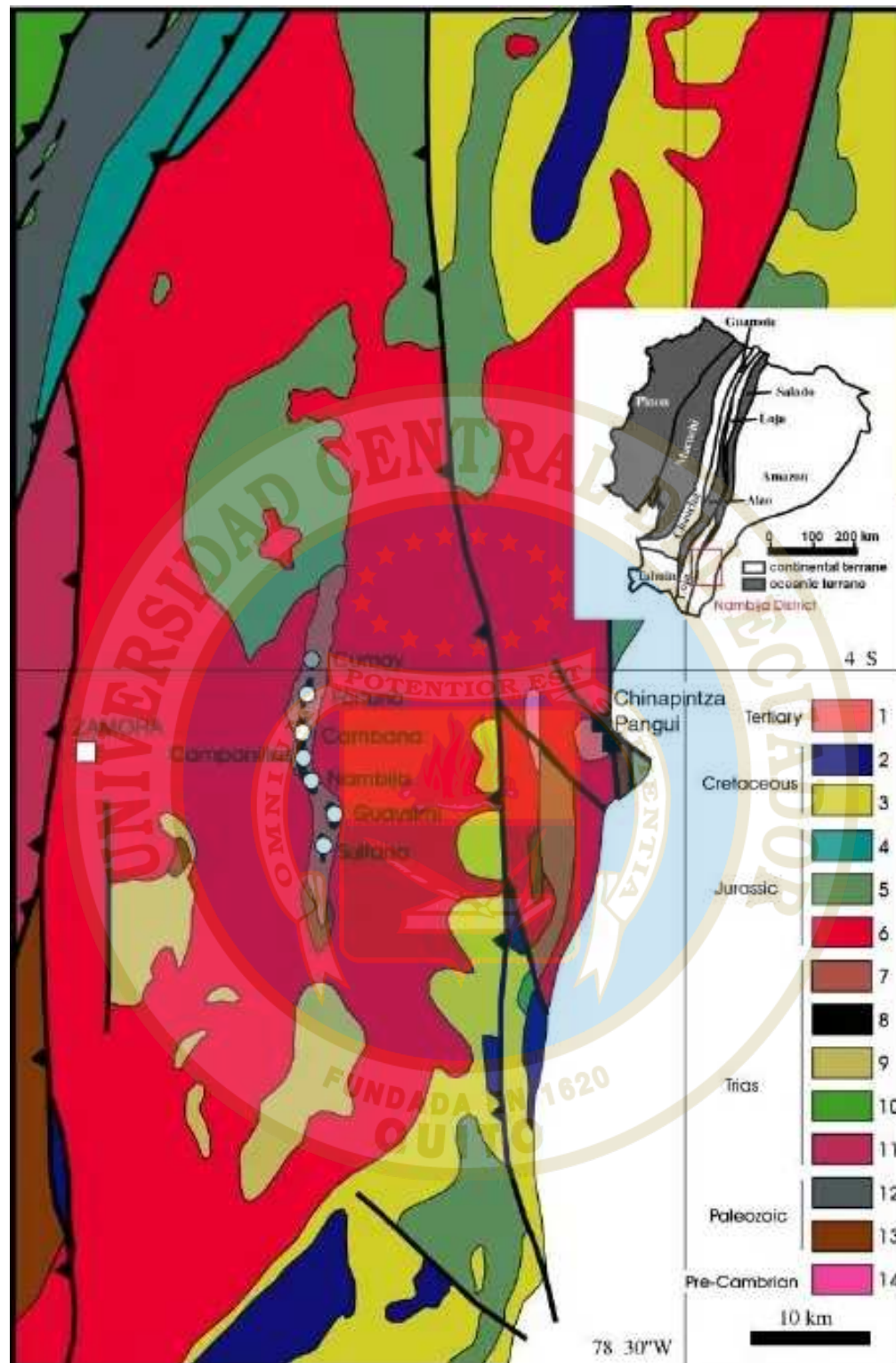


Fig. No. 34.- Geología regional del distrito aurífero de Nambija (slightly modified from Litherland et al., 1.994).

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1, Intrusivos | 2, Formación Napo |
| 3, Formación Hollín | 4, Unidad Alao-Paute |
| 5, Unidad Misahualli | 6, Batolito de Zamora |
| 7, Unidad metamorfizada Piuntza | 8, Skarn (schematic) |
| 9, Unidad Piuntza | 10, metagranite (Tres Lagunas) |
| 11, Unidad Sabanilla | 12, Unidad Chiguinda |
| 13, Unidad Isimanchi | |
| 14, gneis migmatite; white circles: skarn-related Au ore; black squares=epithermal Au-Ag-Cu-Pb-Zn ore; gray circle: Cu-Mo porphyre ore | |

Al microscopio en las rocas de skarn se observan las siguientes asociaciones de minerales (Paladines M. 1.988) (Tabla No. 6).

- a) Piroxeno-granática
- b) Cuarzo-sulfuro-clorítica
- c) Cuarzo-carbonática

ETAPA	HIDROTHERMAL		
ESTADIA	DE SKARN		
	Piroxeno granítica	Cuarzo-aurífera	Cuarzo-calcítica
Granates			
Grosularita			
Espesartita			
Diopsido			
Apatita	-----		
Esfena	-----		
Cuarzo		=====	-----
Feldespato		—	
Clorita		—	
Pirita		=====	
Calcopirita		-----	
Esfalerita		-----	
Galenita		-----	
Oro		=====	
Calcita			=====

Tabla. No. 6.- Estadias de mineralización (Paladines, M.)

El oro en un gran porcentaje de las muestras se observa macroscópicamente, en forma de nidos, de vetillas, rellenando pequeñas fisuras y cementando el espacio entre los granos de granates. El tamaño de las pepitas varía de 1 a 8 mm alcanzando a veces 10-15 mm, el tamaño más difundido de las pepitas es de 2-4 mm, las texturas más difundidas son diseminadas, vetillas-diseminadas y en forma de nidos; al microscopio las microtexturas características son diseminadas, vetillas de cemento (cementando a los granates).

Los granos de oro presentan diferentes formas: granos isométricos, vetillas muy finitas, granos separados alotriomórficos. En el microscopio electrónico se observa como el oro rellena los espacios libres entre los granates, las laminillas de oro se localizan también sobre los granates. El oro, que se deposita en la segunda etapa de mineralización es de origen hidrotermal, asciende junto con los sulfuros y se deposita en último lugar.

En base a las últimas investigaciones realizadas, la edad reportada de la mineralización aurífera de Nambija, es de 145 m.a., (Jurásico superior).

El oro contiene mezclas de mercurio (Hg) de 0.62 – 0.88% y plata (Ag) de 1.72-1.79%. La piritita contiene una mezcla promedio de 0.002% de cobalto (Co) y 0.002% de cobre (Cu). La calcopirita contiene una mezcla promedio de 0.01% de níquel (Ni), trazas de plomo (Pb) y 0.3% de molibdeno (Mo). De los análisis se deduce que el oro se presenta en forma nativa, ninguno de los minerales de mena investigados contiene oro en su red cristalina (Tablas No. 7 y 8).

RESULTADO DE MICROANÁLISIS RENGENO ESPECTRAL PARA ORO

Muestras N°	Contenido Au%	MEZCLAS							CALIDAD		
		Hg	Ag	Cu	Se	Te	Sb	Bi	SUMA	Prueba	Quillataje
1	97.34	0.66	1.79	-	-	-	-	-	99.79	981.6	23.56
2	97.88	0.70	1.75	-	-	-	-	-	100.33	982.4	23.57
3	97.35	0.71	1.72	-	-	-	-	-	99.76	982.6	23.58
4	97.40	0.62	1.73	-	-	-	-	-	99.75	982.5	23.58
5	97.54	0.67	1.73	-	-	-	-	-	99.94	982.6	23.58
6	97.35	0.88	1.73	-	-	-	-	-	99.96	982.5	23.58
7	98.25	0.71	1.75	-	-	-	-	-	110.71	982.5	23.58
8	97.55	0.70	1.74	-	-	-	-	-	99.99	982.4	23.57

Tabla. No. 7.- Resultados de microanálisis RENGENO ESPECTRAL para oro, Nambija.

RESULTADO DE MICROANÁLISIS LASER ESPECTRAL

MINERAL	Co	Cu	Ni	Pb	Mo
PIRITA	0.001	0.003	-	-	-
PIRITA	0.003	-	-	-	-
CALCOPIRITA	-	-	0.01	TRAZAS	0.3
CALCOPIRITA	-	-	-	-	0.3

Tabla. No. 8.- Resultados de microanálisis LASER ESPECTRAL para oro, Nambija.

Luego de los análisis se determinó, que las dimensiones del oro son mayores a 0.07 mm, este factor determina la forma de enriquecimiento de las menas y la forma de recuperación del oro. El oro mayor de 0.07 mm se obtiene fácilmente por métodos gravimétricos; sin embargo, flota difícilmente y se disuelve lentamente por cianuración. El oro fino (menor a 0.07 mm) flota bien, se disuelve rápidamente por cianuración, pero solo en parte se obtiene con métodos gravimétricos. El contenido medio de oro en el yacimiento es de 6-8 g/t, existen nidos y bonanzas donde el contenido de oro alcanza hasta 800 g/t.

Otros depósitos auríferos tipo Skarn han sido descubiertos en Guayzimi y Sultana hacia el sur y Campanilla y Campana hacia el norte de Nambija.

En CAMPANILLA el oro se encuentra diseminado en vetillas de cuarzo dentro de un Skarn granatífero y brechas volcánicas skarnificadas controladas por estructuras orientadas en sentido N.E.

En GUAYZIMI localizado hacia el sur de Nambija, una zona de Skarn y de brechas es explotada a cielo abierto. Junto al yacimiento se ha instalado una planta para procesar 200 t/día de mineral, con un contenido promedio de oro de 4 g/t. Los últimos trabajos de exploración realizados reportan la existencia de 1 millón de onzas de oro de reservas probadas, con un contenido de 4 g de oro por tonelada. En la actualidad se ha planificado incrementar la planta para procesar 500 t/día (Ing. Adán Guzmán, comunicación personal).

Otras áreas prospectivas en la zona suroriental, se localizan al este de Pachicutza. Se trata de NAPINTZA y MARIA ELENA en donde mineralizaciones auríferas han sido descubiertos, ambos depósitos están localizados en secuencias volcánicas skarnificadas. Las reservas de oro en el distrito de Nambija son del orden de 150 t.

8.1.1.4 Distrito de Chinapintza

Está localizado en la zona Subandina (Foto No. 6), en la cordillera de El Condor junto a la frontera con el Perú. Comprende los depósitos de Chinapintza y Biche.

Al este de Nambija en el distrito de CHINAPINTZA se han descubierto algunos depósitos, relacionados a los volcánicos Misahuallí, en la parte norte del batolito de Zamora. Las volcanitas incluyen riolitas, dacitas, tobas y brechas, brechas intrusivas y esquistos negros, instruidos por pórfidos cuarzo feldespáticos y plutones de granitos hornblendicos de edad desconocida. Estas rocas son parte de un centro volcánico de 9 km² las cuales localmente han sido silicificadas, cericitizadas y argilitizadas.

El depósito de Chinapintza es un stockwork con vetillas de 0.5 m de potencia de cuarzo oxidadas que tiene un contenido de 50 g/t de oro (Gemuts I., López G., M Jiménez F. 1.992), siendo las reservas probables del orden de 12 toneladas de oro. Los mismos autores describen dos importantes prospectos en esta zona: Biche y El Hito.

El prospecto BICHE se localiza a 2.5 k. al sur de Chinapintza; está relacionado a un cinturón de volcanitas orientado en dirección norte; se trata de brechas intrusivas, tobas silicificadas y flujos de riolita ricos en sulfuros. Las rocas mineralizadas afloran en un área de 500 x 500 m. Pequeños tubos (50 m ancho) y diatremas ricas en oro, están presentes así como un tubo irregular y discordante de “brecha negra” con un contenido de 5-10% de pirita diseminada con trazas de esfalerita, calcopirita y calcosina (Fig. No. 35). La coloración negra se debe a la presencia de sulfuros diseminados y a concentraciones locales de carbón. Muestras analizadas dan contenidos anómicos de cobre, plomo, zinc, plata y oro (hasta 10.9 g/t de Au, contenido promedio 1.5-2 g/t de Au.). Las rocas están silicificadas y cericitizadas, vetillas de cuarzo forman stockworks. Las zonas “felsíticas” y los principales reefs de cuarzo tienen un rumbo N60 W y buzan con 40° - 70° al S.



Foto No. 6.- Vista panorámica de Chinapintza

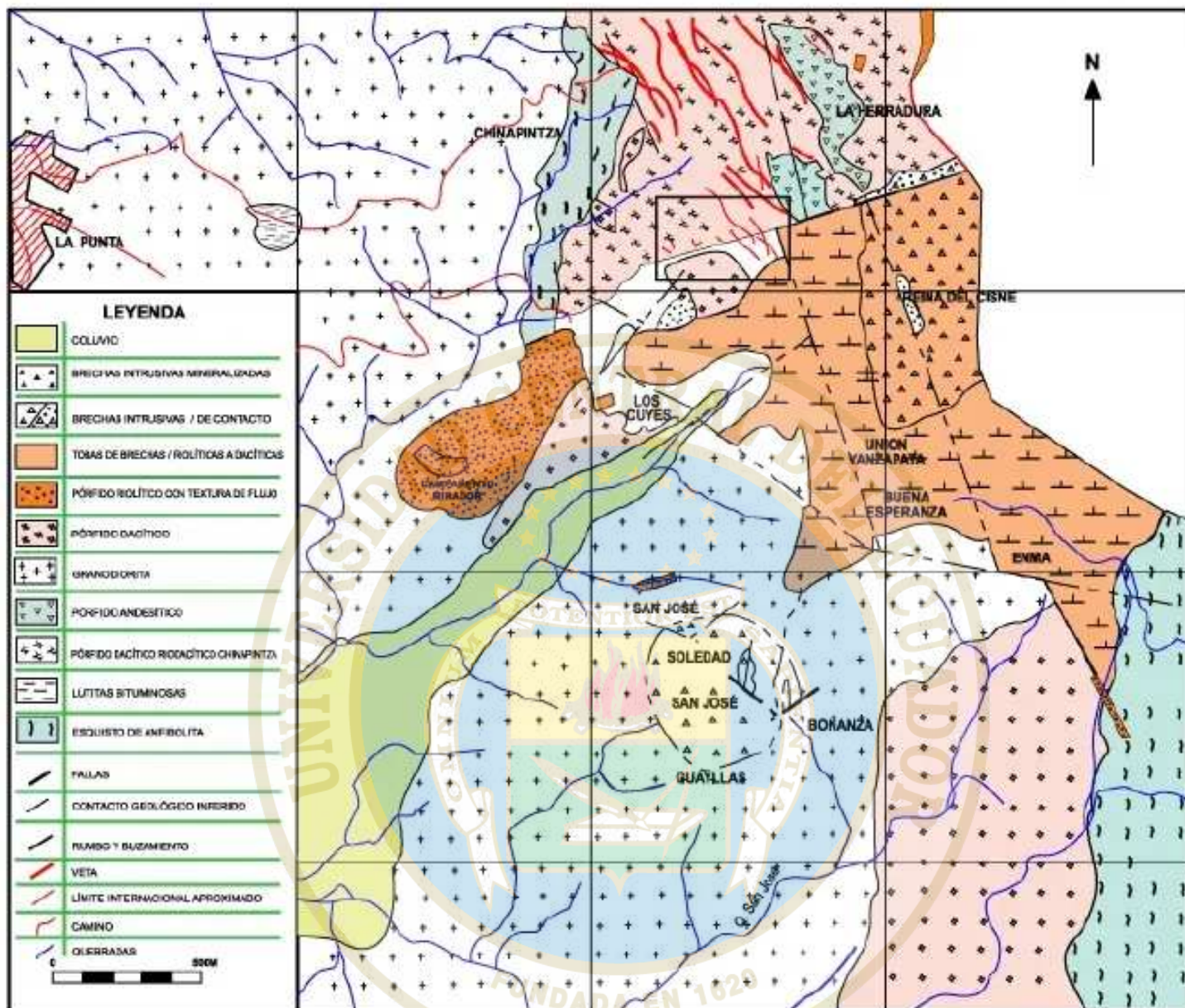


Fig. No. 35.- Mapa geológico del campo minero Chinapintza, basado en los mapas de Condor Mine S.A. – TVX (1.997). Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epimesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera del Cóndor (Vol. 5 PRODEMINCA, junio 2.000)

8.1.1.5 Distrito Minero de Molleturo – San Gerardo

MOLLETURO.- Este yacimiento se localiza en el cinturón volcánico de Mullepungo. Las rocas aflorantes en la zona del depósito son volcanitas estratificadas de color gris verdoso a gris, duras y compactas que varían de porfiríticas de grano fino, hasta variedades gruesas subordinadas o brechas, pertenecientes al arco volcánico insular Macuchi. El rumbo general de las estructuras es E-W, bisectado por otro más reciente N-S.

Trabajos de exploración geoquímicos y geofísicos determinaron la presencia de tres cuerpos de minerales dentro de las rocas volcánicas posiblemente relacionados a un intrusivo diorítico-tonalítico. Las labores mineras tendientes a desarrollar uno de éstos cuerpos, denudaron un sistema de vetas de polisulfuros muy compactas con

potencias, sobre los 2 m en la parte superior, para luego disminuir, en los niveles inferiores, observándose un comportamiento en sentido horizontal, fenómeno que

obedece a un claro “block faulting” El mismo produce el desplazamiento de la mineralización desde centímetros a decenas de metros.

La composición mineralógica de las menas es muy compleja. Análisis realizados determinaron la presencia de minerales ligados a procesos de magmatismo básico

como es el caso del Pt y Pd, hasta minerales típicos de procesos hidrotermales, que van de temperaturas alta a baja, como la pirrotina, pirita, arsenopirita, estalerita, marmatita, calcopirita y galena argentífera, con oro en forma de electrum alojado dentro de la galena y en parte en la calcopirita y la pirrotina.

Los análisis metalúrgicos realizados determinan los siguientes tenores:

Plomo 2.30%	Zinc 4.24%	Cobre 0.69%
Oro 3.40 g/t	Plata 392 g/t	Platino 0.3 g/t

Los trabajos de minas en el depósito alcanzan 800 m de túneles y galerías, las reservas probables de mineral son del orden de 30.000 toneladas.

A éste depósito se lo puede considerar como punto de partida para una exploración agresiva buscando depósitos estratiformes y estrato ligados a lo largo de la cordillera de Mullepungo. Por esta razón se podría hablar de la existencia de un posible distrito minero dentro de una cuenca volcano sedimentaria levantada. La extensión de este distrito de acuerdo a trabajos de campo preliminares sería hasta San Gerardo (Rosero, G. 1.996).

SAN GERARDO.- En la zona de Gaby-Bella Rica, un tanto más periférico se localiza el prospecto de SAN GERARDO (Foto No. 7), que comprende las áreas de Pinglio y Pinglio I; en las cuales afloran rocas volcánicas y volcano sedimentarias pertenecientes al arco volcánico insular Macuchi (Fig. No. 36).



Foto No. 7.- Vista del sector de San Gerardo

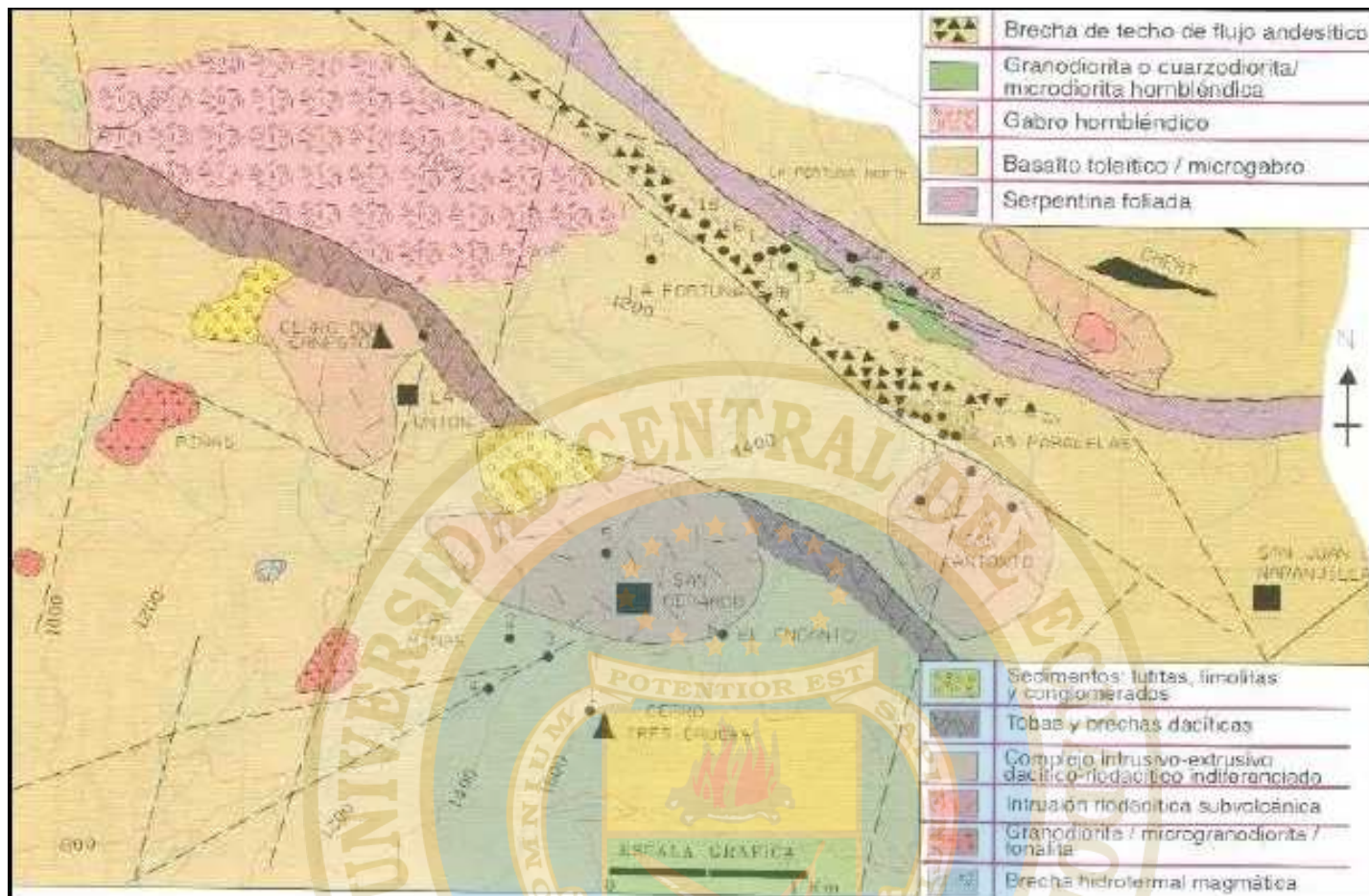


Fig. No. 36.- Geología Local del Distrito Minero San Gerardo. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera Occidental y Real (Vol. 4 PRODEMINCA, junio 2.000)

Dentro del campo minero de San Gerardo las tres áreas de mayor importancia son: La Unión, Las Minas y Las Tres Cruces, otras áreas secundarias pero puntuales son: El Encanto, San Gerardo, San Antonio I, II, III y IV, Las Paralelas, Loma Tio Julio, Loma Durán. En ellas se observa procesos de alteración hidrotermal producida principalmente debido a la acción de cuerpos intrusivos.

Del estudio paragenético realizado por A. Flores (1994) se desprende, que la mineralización de este distrito es compleja, pues en ella existen minerales característicos para temperaturas altas, moderadas y bajas, mismos que se originaron en cuatro fases de mineralización:

Primera Fase: Asociada a la propilitización regional; contiene pirita diseminada en poca cantidad, magnetita en agregados de grano fino y pirrotina también diseminada.

Segunda Fase: Asociada al aporte de fluidos mineralizantes, que se produjeron durante la actividad magmática y tectónica, depositándose pirita, calcopirita y molibdenita.

Tercera Fase: Relacionada a una actividad tectónica de máxima intensidad y magmática de baja intensidad, que se produjeron bajo un régimen de esfuerzos comprensivos durante el Mioceno superior a Plioceno inferior. En esta fase se

produce un estado anterior a la deformación máxima que dio lugar a la carbonatación de las rocas encajantes y la depositación de piritita diseminada; un segundo estado durante la máxima intensidad de la actividad tectónica que depositó piritita, arsenopiritita y oro; y, finalmente un estado posterior a la deformación que da lugar a la cristalización de cantidades muy pequeñas de piritita, esfalerita, calcopiritita y galena.

Cuarta Fase: Relacionada al período de oxidación e intemperización, que produjo minerales como gohetita en la piritita e ilmenita, covelina en la calcopiritita, hematita en la magnetita y limonita de las pirititas e ilmenitas en los estados más avanzados; además de caolinita, siderita y yeso”

A pesar de que en este estudio A. Flores indica que no existe oro libre, en la actualidad pequeñas sociedades de mineros que trabajan en la zona, están explotando y recuperando oro por métodos gravimétricos. El oro seguramente se liberó debido al proceso de oxidación.

8.1.1.6 Distrito aurífero del Azuay

Luego del descubrimiento de los enormes yacimientos epitermales de alta sulfuración (H.S.) (Fig. No. 37) de Yanacocha y Pierina, localizados en la zona de Huaraz, 300 k. al norte de Lima en la República del Perú, diez de las empresas mineras más grandes del mundo se volcaron a buscar este tipo de depósito al sur del Ecuador.

El cinturón volcanogénico de Calipuy, que atraviesa todo el territorio del Perú, continúa al sur del Ecuador en donde conforma el arco volcánico Saraguro. Este enorme cinturón está constituido de rocas volcánicas de composición ácida, las cuales se encuentran discordantes sobre terrenos metamórficos precretácicos, que constituyen la corteza continental.

El cinturón volcanogénico de Calipuy - Saraguro está constituido por dos grupos de rocas: la formación Llama (basal Calipuy), que se correlaciona con la formación Sacapalca de edad Paleocénica; y la formación Porculla, que se relaciona con el grupo Saraguro de edad Oligoceno-miocénica al sur del Ecuador.

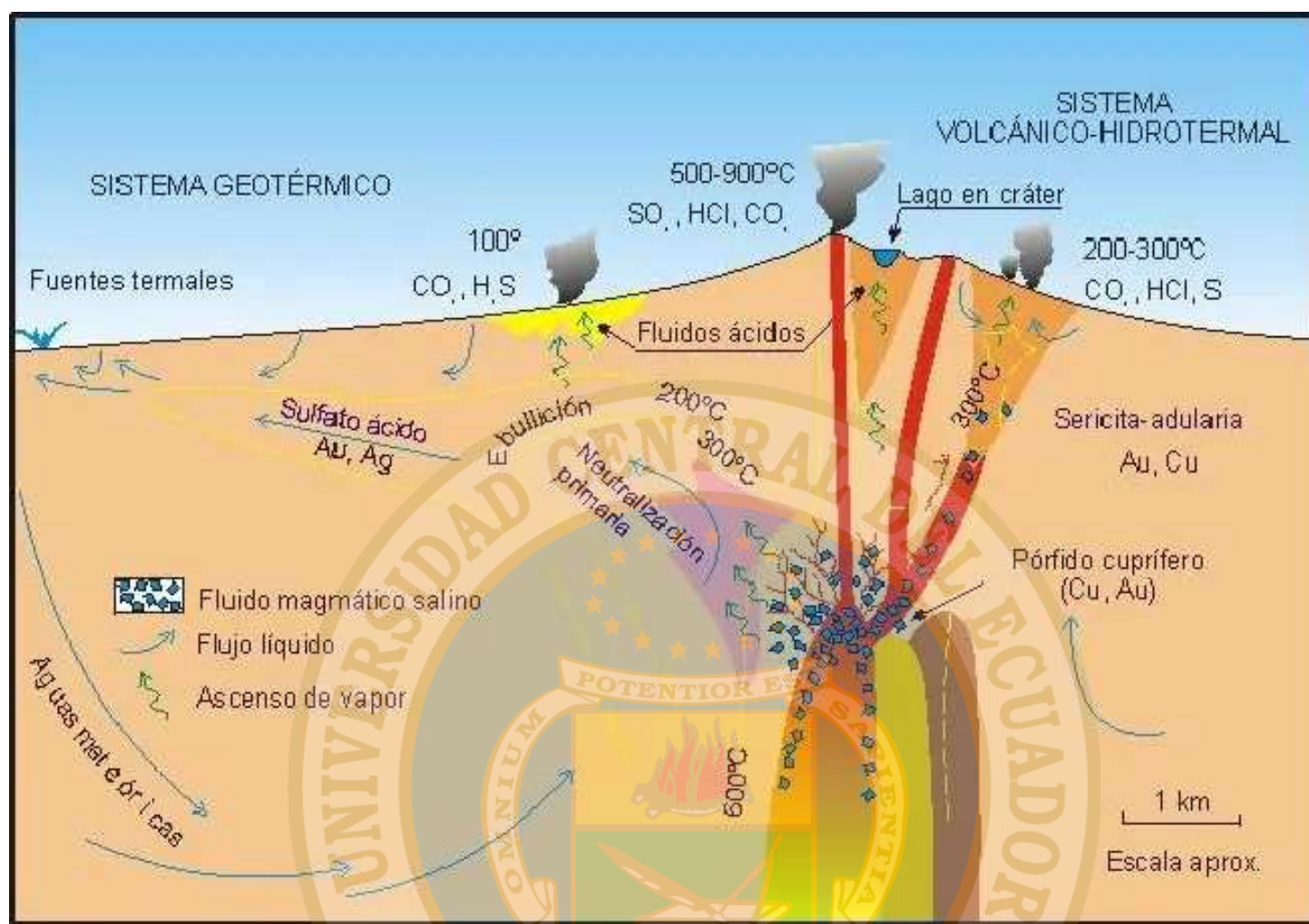


Fig. No. 37.- Modelo de formación de yacimientos epitermales de oro de alta y baja sulfuración.
J.W. Hedenquist, *Epithermal Gold deposits*, 1.996 (The Society of Resources Geology)

Los yacimientos epitermales de alta y baja sulfuración regionalmente se localizan en el grupo Saraguro-Porculla y genéticamente están relacionados con intrusivos de alto nivel de edad mayormente Miocénica.

En el distrito del Azuay al sur del Ecuador hasta ahora se han localizado más de cuarenta manifestaciones de mineralización epitermal entre depósitos e indicios. Ellos se localizan a lo largo de corredores estructurales, dentro de dos cinturones volcánicos pertenecientes al grupo Saraguro: cinturón de Gañarín y cinturón de Collay-Shingata.

Dentro del cinturón de Gañarín se localizan los yacimientos de Gañarín, Cañaribamba y Beroen (L.S.) y los de Quimsacocha y San Francisco (H.S.); dentro del cinturón de Shingata-Collay se localizan el yacimiento de El Mozo (H.S.) y los depósitos de El Chorro, Gima-Cerro Colorado; Sigsig y otros (Fig. No. 38 y 39).

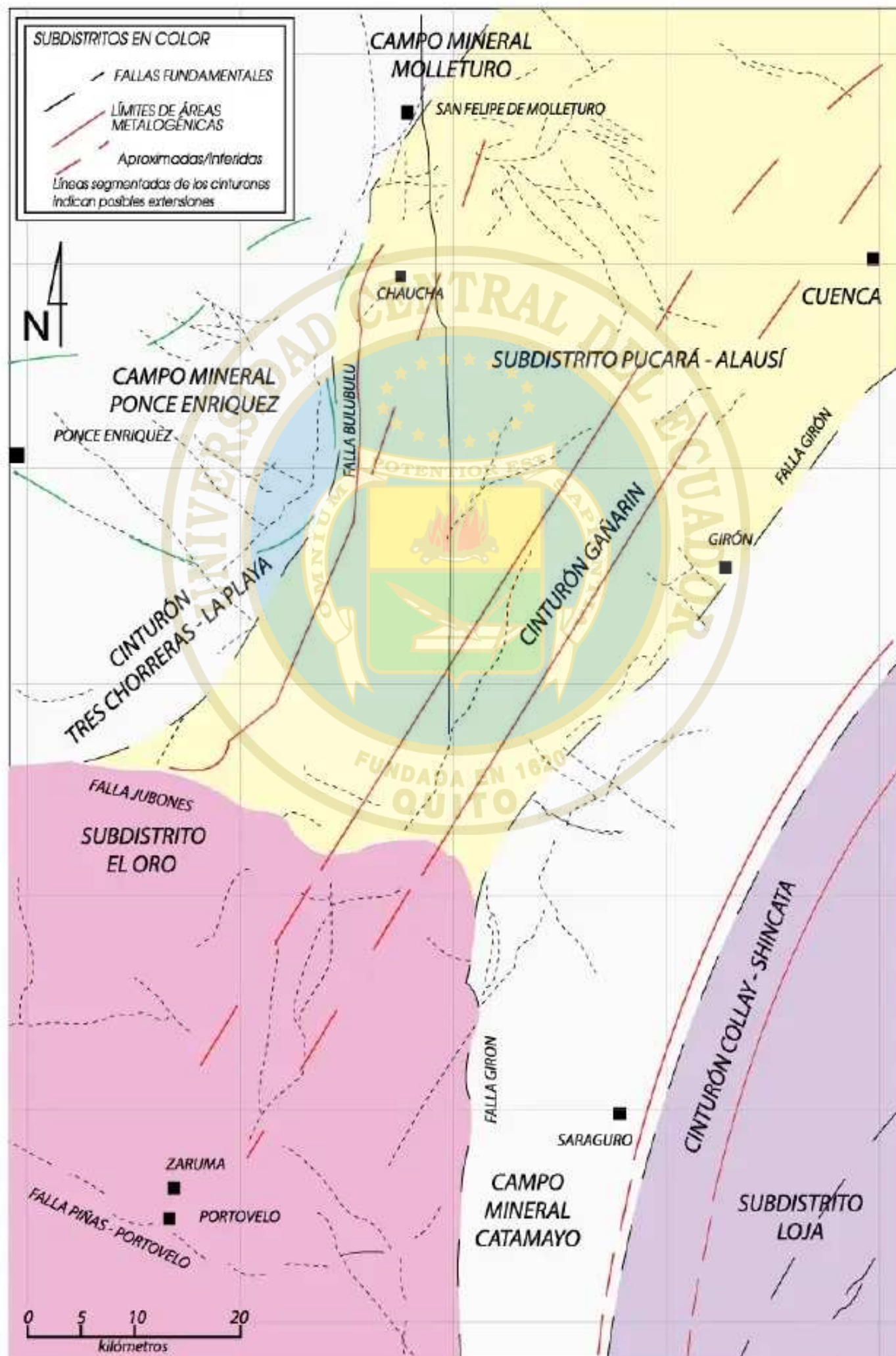


Fig. No. 38.- Localización de sub-distritos, campos de minas y cinturones minerales en el distrito Azuay, al sur del Ecuador. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, "Depositos epitermales en la cordillera Andina (Vol. 2 PRODEMINCA, junio 2.000)

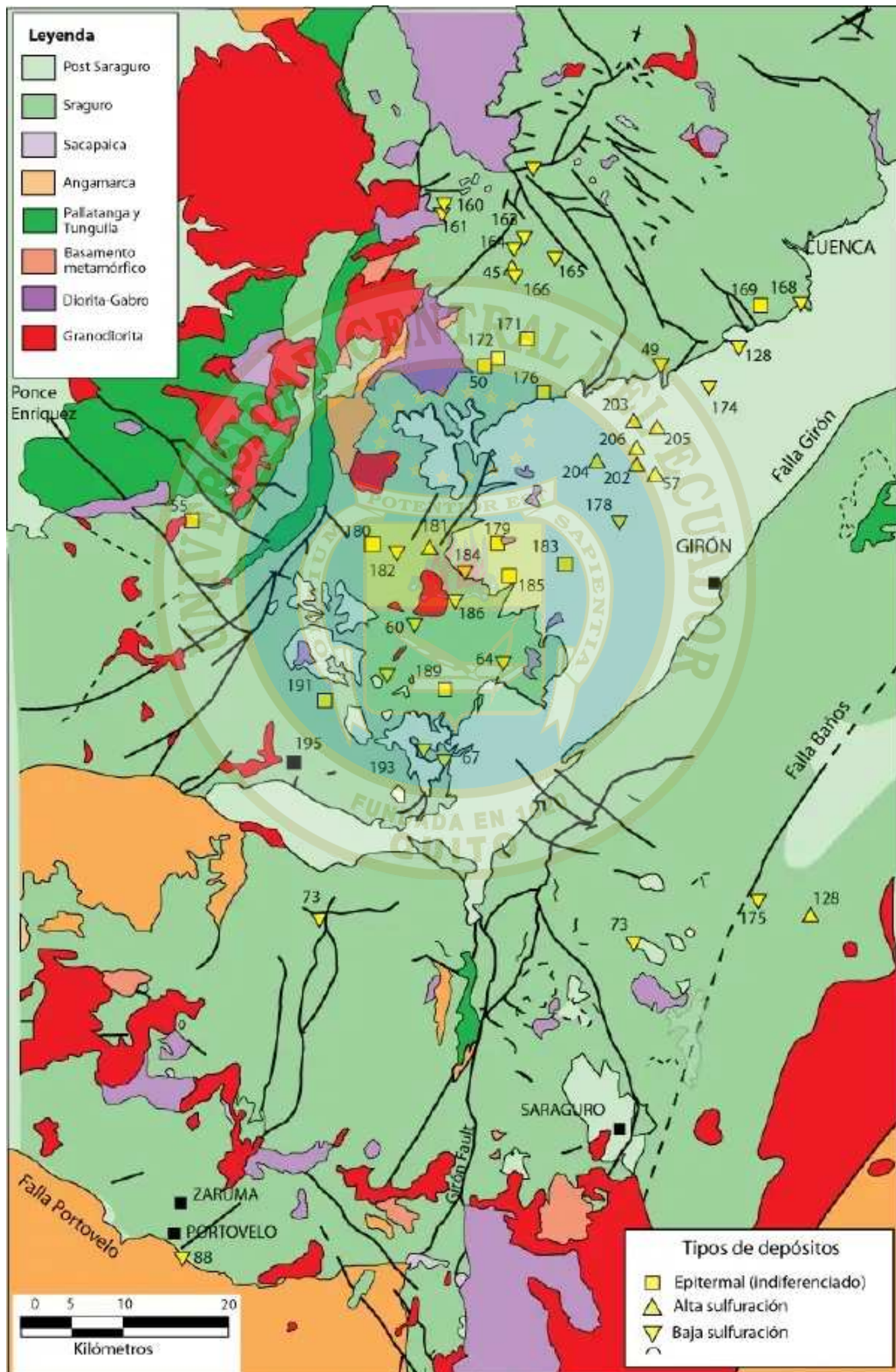


Fig. No. 39.- La localización de mineralización epitermal conocida de metales preciosos en el distrito Azuay, al sur del Ecuador. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos epitermales en la cordillera Andina (Vol. 2 PRODEMICA, junio 2.000)

En la zona noroccidental del cinturón de Mullepungo se localiza además el subdistrito argentífero polimetálico de San Bartolomé-Pilzhum (L.S.) con mineralización de Ag-Pb-Zn Au). En San Bartolomé las reservas reportadas fueron del orden de 200000 toneladas con leyes de: 20 oz/t de Ag, 2.9% Zn, 1.15% Pb con trazas de oro. En Pilzhum se conocen alrededor de 20 pequeñas vetas, algunas de las cuales han sido explotadas; las leyes reportadas son: 1500 g/t de Ag, 3.2 g/t de Au, 2% Cu.

Información detallada sobre este tipo de depósitos ha sido publicada en junio/2.000: Depósitos Epitermales en la cordillera Andina Vol. 2: UCP PRODEMINCA, Proyecto MEM BIRF 36-55 EC.

QUIMSACOA.- El yacimiento de Quimsacocha está localizado 35 k. al sur oeste de la ciudad de Cuenca, a alturas comprendidas entre 3.700-3.800 m en ambiente de páramo. La mineralización de oro en esta zona fue por primera vez reportada por los geólogos de la UNDP en la década de 1.960, ellos descubrieron “mineralización de sulfuros de metales base y enriquecimiento asociado de oro en brechas volcánicas silicificadas en el zona de San Fernando” (UNDP, 1.969).

Desde el punto de vista regional el yacimiento de Quimsacocha se encuentra dentro del arco volcánico continental Saraguro, en un corredor estructural de orientación andina. El yacimiento se localiza dentro del corredor aurífero de Gañarín, es de tipo epitermal de alta sulfuración H.S.

La descripción del yacimiento de Quimsacocha se hace en base a la publicación “Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Vol.2, PRODEMINCA 2.000”. La geología del área esta constituida por rocas volcánicas y volcanoclásticas asignadas a la formación Quimsacocha de probable edad miocénica tardía, que discordantemente cubre a rocas del grupo Saraguro. Las lavas andesíticas y depósitos de flujos de bloques y cenizas fueron interpretados por geólogos de la compañía Newmont como productos proximales de un estrato volcán cuya antigua localización está indicada por una depresión de cráter casi circular de unos 4 k. de diámetro. Estructuras regionales prominentes, con rumbo norte-sur y noreste-suroeste, ejercen un importante control sobre la distribución, estilo e intensidad de la alteración, mientras otras fallas, dispuestas radialmente alrededor del cráter, pueden también ser controles significativos de localización. (PRODEMINCA, Vol. 2, 2.000) (Fig. No. 40 y 41).

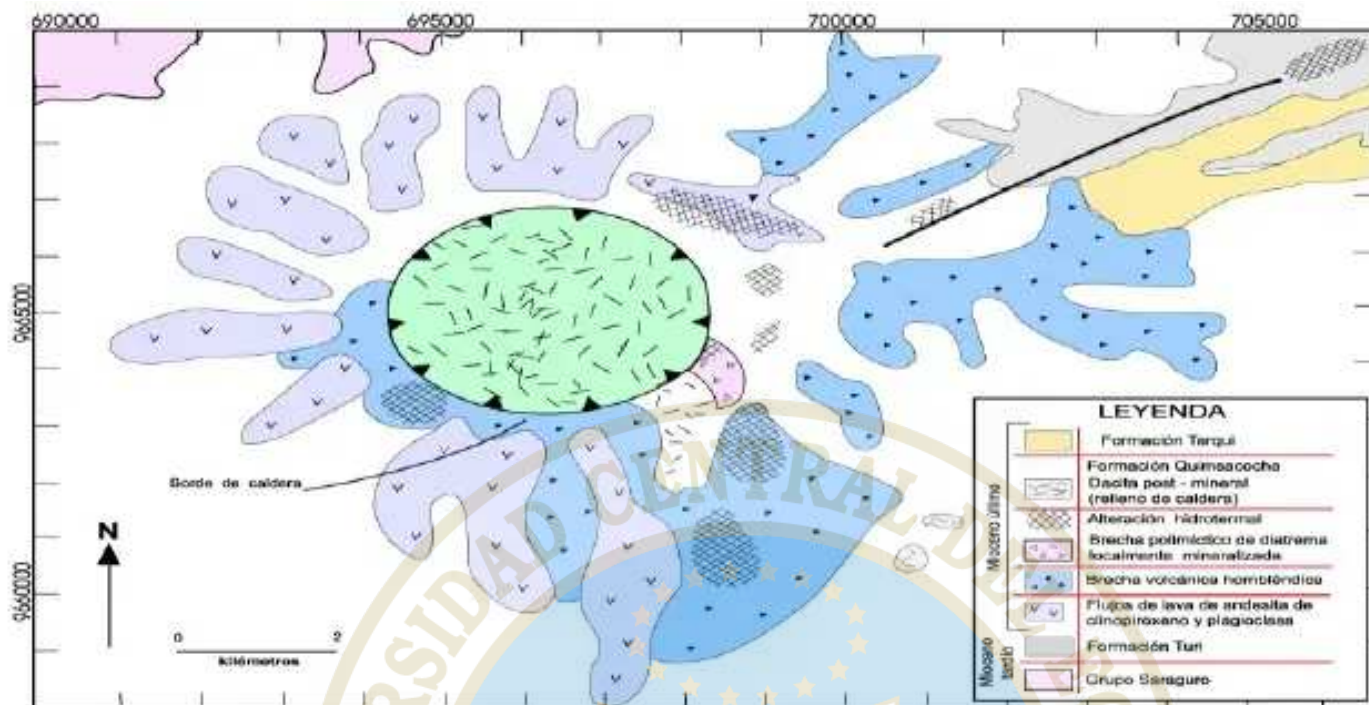


Fig. No. 40.- Geología de Quimsacocha. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos Epitermales en la cordillera Andina (Vol. 2 PRODEMINCA)

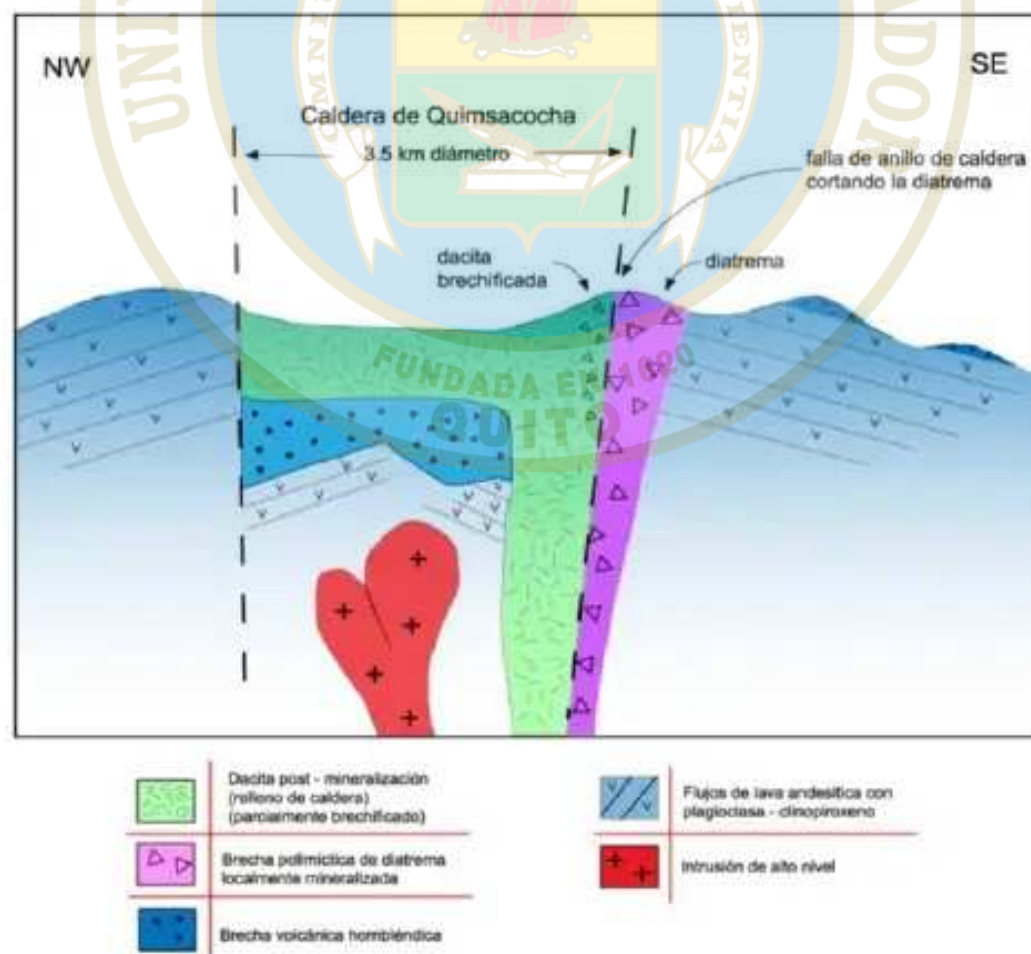


Fig. No. 41.- Corte de la Caldera de Quimsacocha. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos Epitermales en la cordillera Andina (Vol. 2 PRODEMINCA)

Los estilos de alteración observados en afloramientos y testigos de perforación incluyen el desarrollo de sílica masiva, drusal y sacaroidal, típica de depósitos epitermales de este tipo. En algunas zonas la mineralización de oro está asociada con estos tipos de alteración de sílica, especialmente del tipo drusal, mientras que con

asociaciones argílicas y argílicas avanzadas (cuarzo-calcinita-ahmita) se asocian concentraciones bajas en oro. Estas asociaciones sugieren derivación de un flujo de alta sulfuración, bajo pH y relativamente alta temperatura (PRODEMINCA, 2 000)

Las más altas concentraciones de oro en el sistema epitermal Quimsacocha, están asociadas con mineralización de enargita y pirita en litologías silicificadas y brechadas, la plata probablemente está más relacionada con oro en la mayoría de las zonas de alteración, aunque localmente ocurren enriquecimientos en plata, sin que se

observe lo mismo con el oro. El estudio petrográfico de 22 muestras de rocas y testigos de perforación de Quimsacocha, reportan una mineralogía simple, dominada por cuarzo y pirita con alunita; aparte de varias fases de óxidos de hierro, se reconocen pocos minerales opacos. En las muestras con más altos valores de oro, no se reporta la observación de granos de oro, esto puede deberse al efecto pepita de oro, o al hecho de que el oro sea refractario y localizado dentro de la pirita.

En los últimos años la exploración detallada del yacimiento de Quimsacocha, se ha llevado a cabo por parte de la compañía I am Gold, la cual en base a la realización de algunas decenas de miles de metros de perforación, reportan la existencia de 3.5 millones de onzas de oro en el yacimiento.

8.1.1.7 Distrito aurífero oriental

A partir de 1980, luego del descubrimiento de los yacimientos gigantes de Yanacocha y Pierina, localizados en la zona de Huaraz al norte del Perú, 10 de las compañías más grandes del mundo se volcaron a buscar este tipo de yacimientos en la región austral del Ecuador y en la zona Subandina oriental. La búsqueda se orientó fundamentalmente a yacimientos de oro-plata del tipo epitermal de alta y baja sulfuración (**H.S.** y **L.S.**), a yacimientos del tipo cobre-porfídico de Cu-Mo y polimetálicos.

Los éxitos alcanzados principalmente por las compañías Junior canadienses Aurelian y Corrientes, son conocidos mundialmente. Aurelian descubrió un cinturón de yacimientos epitermales de mediana a alta sulfuración (**M.S.** y **H.S.**) cuyas reservas iniciales de oro son del orden de 14 millones de onzas (solo de un yacimiento Fruta del Norte **FDN**); así mismo, Corrientes descubrió el cinturón cuprífero Corrientes con reservas iniciales de cobre del orden de 30 mil millones de libras, estos descubrimientos están considerados entre los 10 más importantes realizados en la última década a nivel mundial. Los dos cinturones señalados, genéticamente están relacionados a un arco volcánico continental de edad Jurásica, la edad de la mineralización de estos dos cinturones es del Jurásico superior.

Además relacionado a este arco volcánico dentro de la provincia de Zamora Chinchipe en el suroriente, desde la década de 1980 se conocen dos distritos de yacimientos de oro: el de Chinapintza, localizado 30 k. al sur de **FDN**, constituido por

depósitos de vetillas y zonas de stockwork, mineralización de oro-plata de tipo 4 millones de onzas de plata): el segundo distrito es el de Nambija localizado 15 k. al

oeste de Chinapintza, este distrito se localiza a lo largo de un corredor (graben) de dirección andina, está constituido por algunos yacimientos y depósitos, la mineralización está relacionada a cuerpos de skarn (las reservas reportadas de oro son de 3 millones de onzas), la edad de la mineralización de Nambija es del Jurásico superior.

FRUTA DEL NORTE

El yacimiento de Fruta del Norte (FDN), se encuentra ubicado en el sureste del Ecuador, en la provincia de Zamora Chinchipe, 80 k. al noreste de la ciudad de Loja. El área del yacimiento forma parte del proyecto Condor, que abarca una superficie de 95 mil hectáreas (35 concesiones) (Fig. No. 42). El yacimiento de FDN fue vendido por la Cia. Aurelian Resources a la Cia. Kinross, ambas de origen canadiense.

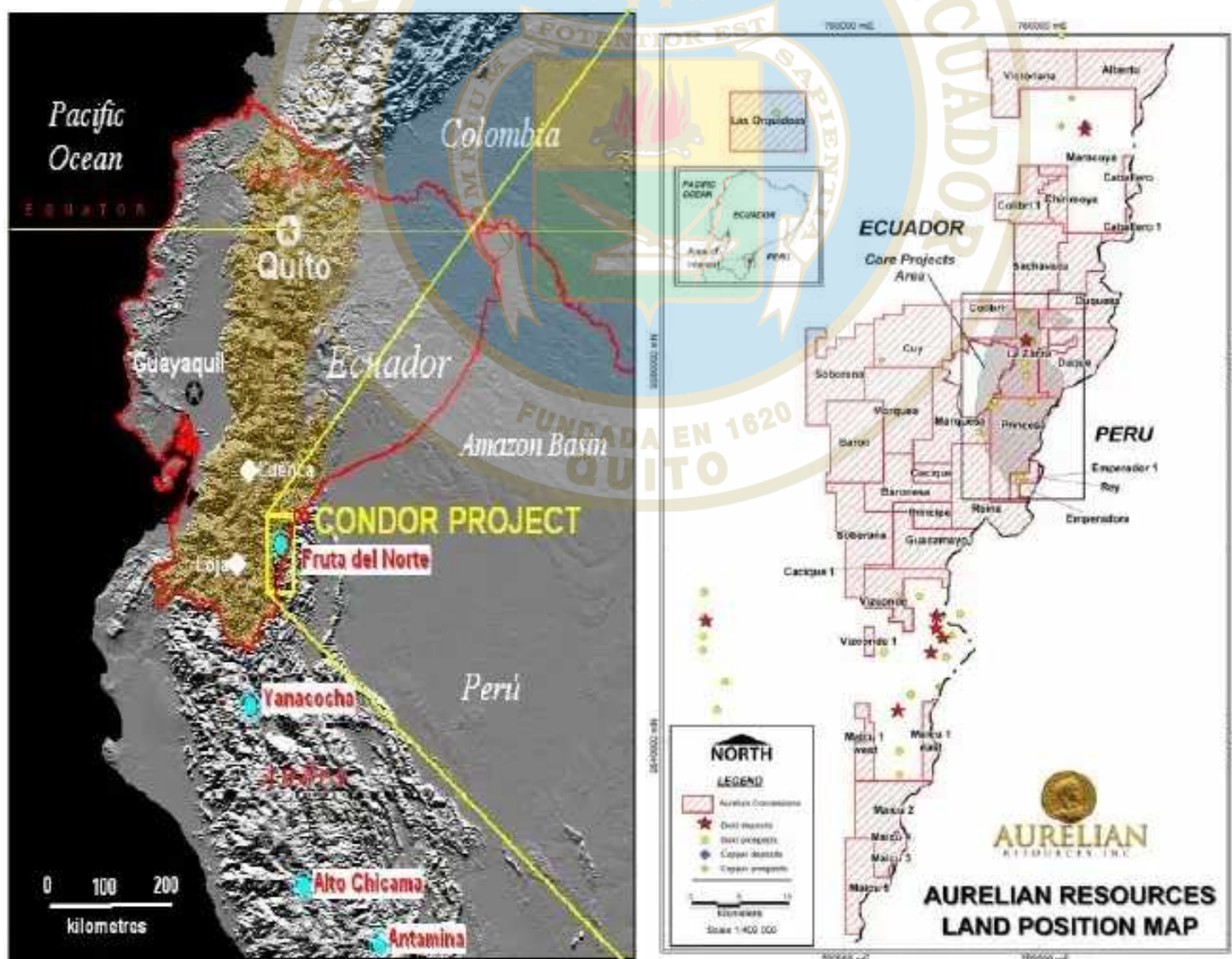


Fig. No. 42.- Mapa de ubicación de la concesión minera del yacimiento Fruta del Norte.

El yacimiento de FDN, es del tipo epitermal de oro-plata de mediana a alta sulfuración (M.H.S.), geológicamente está relacionado a un arco volcánico continental de edad jurásica, localizado a lo largo del flanco occidental intruido de la zona Subandina, el arco volcánico atraviesa todo el Ecuador y continúa en Colombia. Localmente en la zona del yacimiento se reportan cinco unidades litológicas: (Fig. No. 43).

- Formación Hollín
- Andesita Fruta
- Formación Suárez
- Sinter
- Formación Misahualli

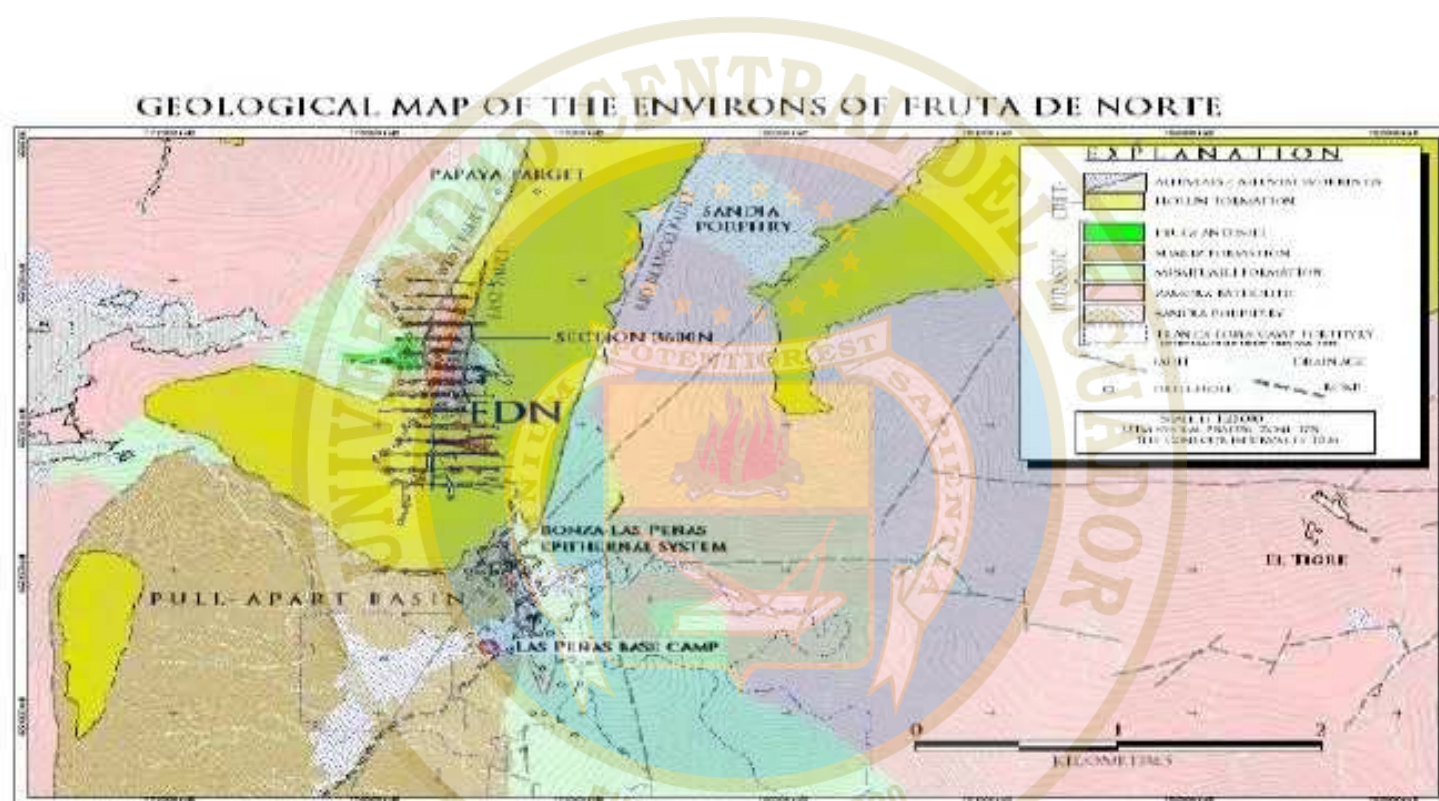


Fig. No. 43.- Mapa geológico del yacimiento Fruta del Norte.

El cuerpo mineralizado se localiza bajo 400 metros de conglomerados y otros tipos de rocas epiclasticas de las formaciones Suárez y Hollín, cerca de la terminación norte de la cuenca pull-apart Suárez (Leary, 2005^a) ubicada en el flanco occidental de la cordillera del Condor.

El cuerpo mineralizado tiene cerca de 1.5 kilómetros de largo y se extiende en dirección N-NW, la mineralización está controlada por dos fallas subparalelas: falla este y falla oeste, una tercera falla denominada central, corta la mineralización y forma parte de la zona fallada las Penias (Fig. No. 44). Las andesitas fruta localmente cubren a la formación Suárez, lo que demuestra que el volcanismo tuvo lugar antes y después que la formación de la cuenca Suárez. El miembro Misahualli (andesítico), la formación Suárez y la andesita Fruta tienen una edad jurásica, la formación Hollín es de edad cretácica inferior.

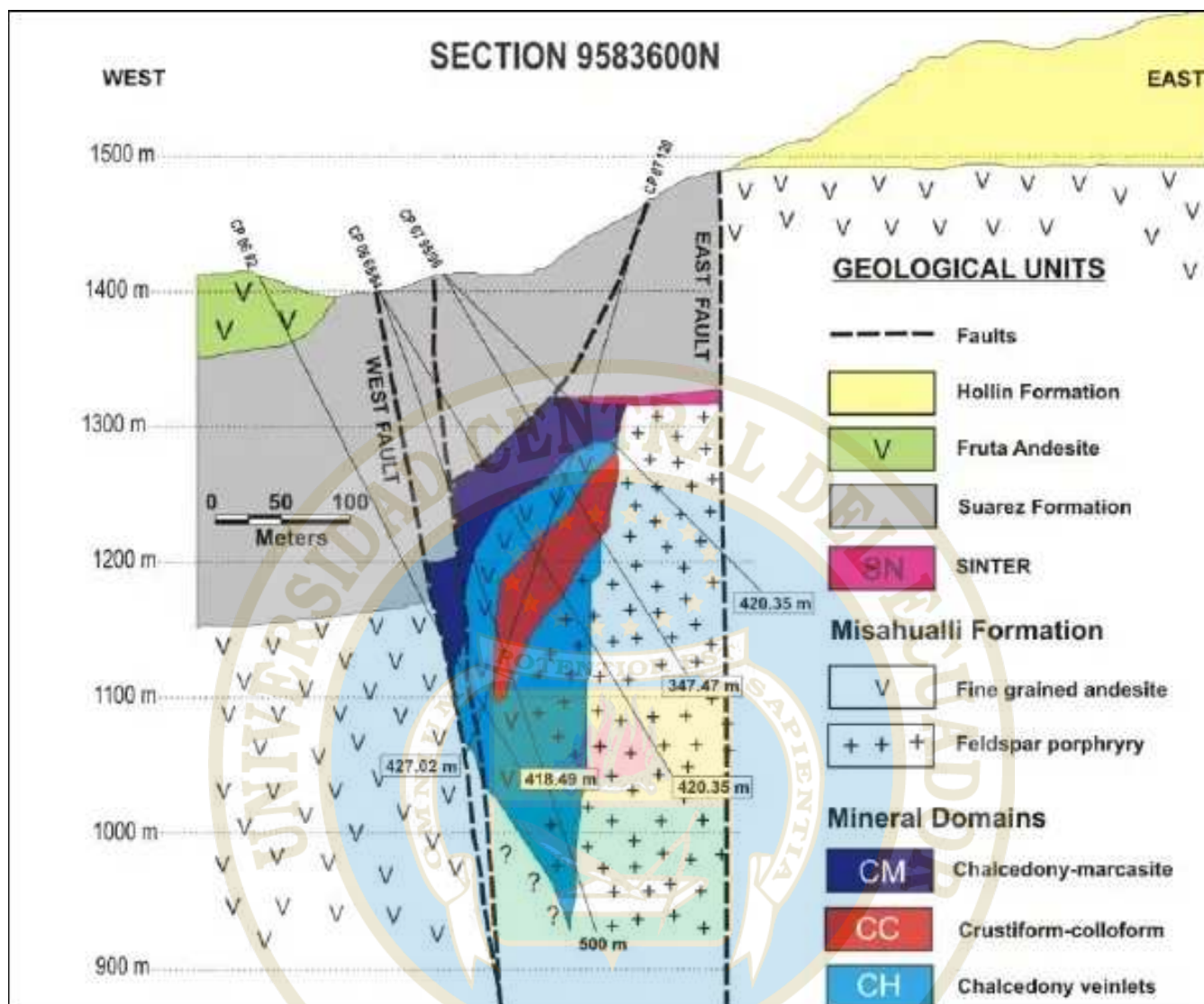


Fig. No. 44.- Type Section of the FDN deposit, This section is taken from Hennessey and Stewart (2006)
Sección transversal del depósito de FDN

La mineralización de oro-plata de **FDN** está asociada a sistemas de vetillas, zonas de stockwork y menas diseminadas. La mineralogía de **FDN**, esta constituida de cuarzo cristalino y calcedonio, rodocrosita, calcita, adularia, baritina, marcasita, pirita, en menor cantidad se reporta esfalerita, galena, calcopirita con trasas de tetrahedrita y sulfosales de plata; minerales accesorios cinabrio, meta-cinabrio (ambos restringidos al sinter), rodonita, alabandita, estibnita y arsenopirita (ambas restringidas a la parte basal de la formación Suarez), pirrotita, hematita, proustita, acantita, plata nativa, freibergita, bulanrrerita y arsenopirita. El oro se presenta en forma libre y asociado al cuarzo, carbonatos y sulfuros, el oro visible se presenta en todas las zonas mineralizadas; la fineza del oro en la parte norte es de 750 (18 kil.), en la zona central la calidad es mejor 900 (21 kil.); la relación oro/plata es 1:1, pero hay sectores donde la relación plata/oro es de 10:1

En el yacimiento de **FDN**, en base a metalotectos geoquimicos, mineralogicos y tipos de textura, se distinguen cuatro zonas mineralizadas, que presentan diferentes tipos de alteración epitermal: (Fig. No. 45).

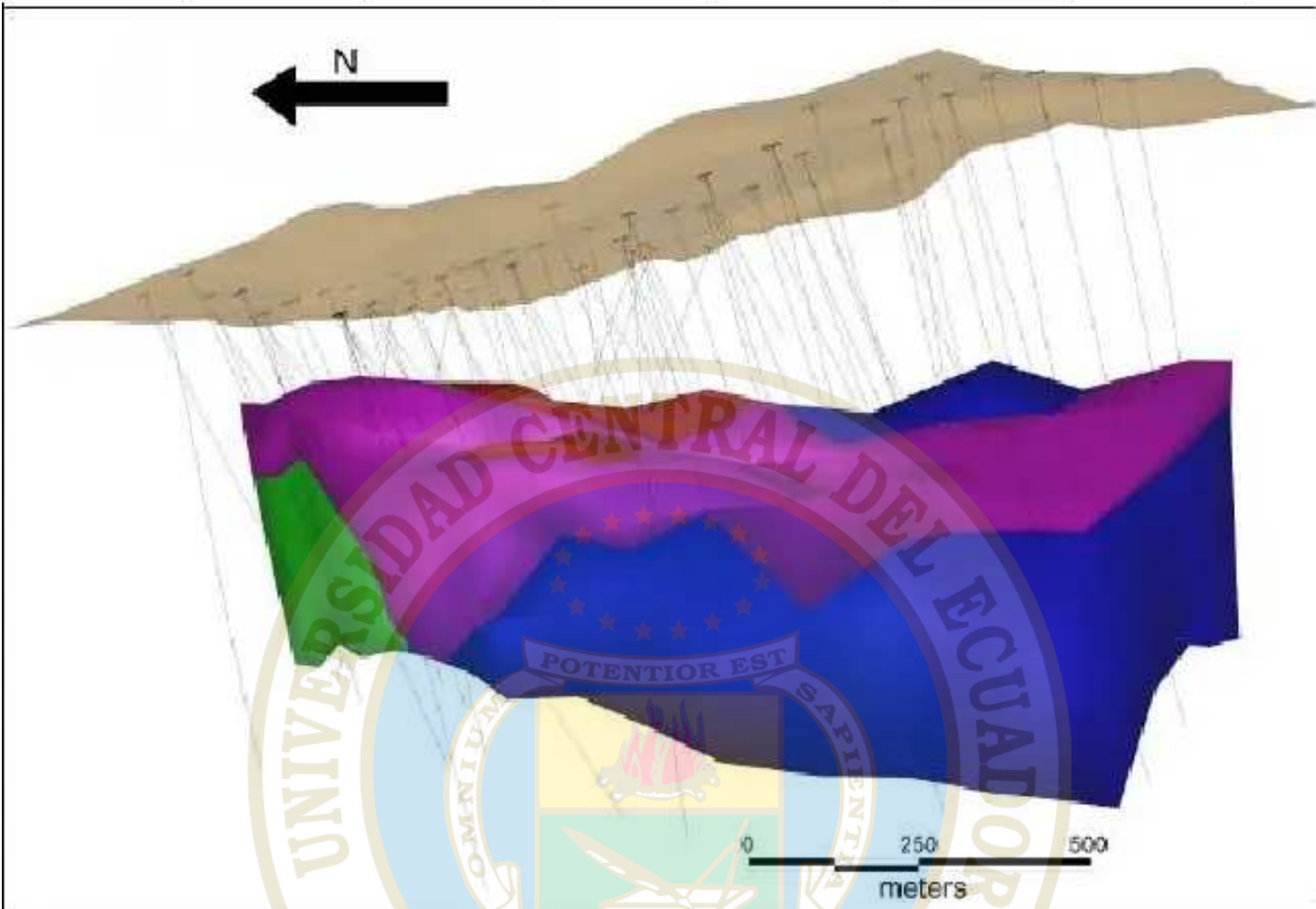


Fig.No. 45.- La topografía se muestra color café, FDN-1 en azul, FDN-2 en magenta, FDN-3 en rojo y FDN-4 en verde. Fuente: (Aurelian-Resources)

- FDN-1** zona de stockwork, pobre en manganeso
- FDN-2** zona altamente silicificada de alta sulfuración
- FDN-3** zona altamente silicificada de baja sulfuración
- FDN-4** zona norte constituida de vetillas de cuarzo

El volumen de reservas del yacimiento **FDN** es de 58.99 millones de toneladas, con una ley de oro de 7.38 g/t y 11.8 g/t de plata, lo que da un total de reservas de oro de 13.7 millones de onzas de oro y 22.4 millones de onzas de plata (Tabla No. 9).

Zona	Toneladas	Au Ley (g/t)	Ag Ley (g/t)	Au Eq (3) Ley (g/t)	Au Reservas en onzas	Ag Reservas en onzas	Au Eq Reservas en onzas
FDN-1	31600000	7.43	13.7	7.65	7548600	13918700	7773500
FDN-2	15500000	7.31	10.6	7.48	3642800	5282400	3728100
FDN-3	1000000	12.36	9.9	12.53	397400	318300	403000
FDN-4	10800000	6.05	8.2	6.18	2100700	2847300	2147000
Total	58900000	7.23	11.8	7.42	13689500	22366700	14051600

Tabla No. 9.- Reservas del yacimiento FDN

El Oriente ecuatoriano forma parte de una enorme provincia aurífera, que abarca toda la cuenca oriental y se extiende hacia los países vecinos de Colombia y Perú. El distrito del nororiente forma parte de esta provincia y comprende una franja, que cubre el flanco oriental de la cordillera Real y la zona Subandina.

Todos los ríos, que nacen en el flanco este de la cordillera Real atraviesan esta franja. En todos esos ríos se encuentran depósitos aluviales en explotación y otros con contenidos de oro de posible interés económico (Foto No. 8).



Foto No. 8.- Explotación de placeres auríferos en terrazas aluviales del río Catamayo en la provincia de Loja.

Entre los ríos más importantes por su potencial aurífero en la zona nororiental tenemos: el Anzú, Jatunyacu, Payamino, Suno, Napo y Aguarico. En las playas de estos ríos los nativos de la zona durante largas temporadas se dedican a lavar oro.

El oro de los placeres orientales proviene, posiblemente de: los lentes de cuarzo aurífero y de los esquistos bituminosos que contienen oro fino diseminado y que constituyen parte de las rocas metamórficas de la cordillera Real; de yacimientos de oro que han sido erosionados y que se localizaron en la parte apical y en intrusivos de alto nivel que cortan los batolitos graníticos como los de Zamora, los Guacamayos y La Bonita intruídos en el flanco oriental de la cordillera Real; de yacimientos de skarn localizados en la zona de contacto entre los granitos y rocas sedimentarias carbonatadas de la cuenca oriental (Foto No. 9); y de una preconcentración de oro proveniente de formaciones como la Hollín, Tiyuyacu y Meza.



Foto No. 9.- Explotación de placeres auríferos en terrazas aluviales del río Nambija en la provincia de Zamora Chinchipe.

Trabajos exploratorios realizados en la cuenca alta del río Paushiyacu, afluente del río Payamino, determinaron, que la posible fuente del oro en esta cuenca imbrífera serían los paleocauces de los ríos que tenían una dirección W – E predominante antes del levantamiento Napo Galeras en el norte de la zona Subandina, y que en la actualidad recorren en sentido casi N – S, por lo que cortan estas paleoestructuras.

En la CUENCA COSTANERA se tienen los placeres auríferos de los ríos Bogotá, Tululví, Cachaví y Santiago en la provincia de Esmeraldas, que a pesar de no ser explotados en forma industrial, permiten el establecimiento de pequeños grupos de mineros artesanales. Estos placeres se caracterizan por la presencia de oro, platino y paladio en las gravas y arenas.

En el área de BELLA MARIA, cerca de Santa Rosa en la provincia del Oro, en el sitio conocido como Los Lilenes, se explotó oro de origen aluvial. La génesis de este depósito según los geólogos que trabajaron en el mismo, lo explican así: “Es posible que a fines del Terciario o comienzos del Cuaternario, se produjo un sobre levantamiento del bloque sur por efecto de la falla Jubones, lo que dio lugar una reactivación intensa y rápida erosión con ambiente de gran energía y gradientes altas, dando lugar a un acarreo acelerado de las grabas-arenas, sedimentos que forman los actuales depósitos aluviales”.

Mediante el sistema de plantas lavadoras, se explotaron y concentraron $3.300 \text{ m}^3/\text{día}$. Considerando que el contenido promedio de oro era de 0.391 g/m^3 , se tuvo una producción de 1.209 gramos diarios, la recuperación de la planta era del 85%.

8.1.2 PRODUCCIÓN ACTUAL DE ORO Y PROYECCIONES

La producción de oro en el Ecuador hasta el año 2.000 fue 92.326 onzas troy anuales, desde entonces se ha incrementado hasta 147.500 onzas troy anuales (Fig. No. 46). Sin embargo, es necesario señalar que la producción real es mucho mayor, pues la explotación y comercialización del oro, por las sociedades, cooperativas de pequeños mineros y mineros artesanales se realiza directamente en los poblados mineros, por lo que es imposible que esta producción sea reportada en las estadísticas del Banco Central.

La explotación de oro, a partir del año 1.953, fecha en la cual la última empresa extranjera abandonó el país, ha sido realizada exclusivamente por pequeñas empresas mineras y mineros artesanales ecuatorianos.

En los principales distritos y yacimientos mineros del Ecuador, en la actualidad trabajan cerca de 8.000 mineros, organizados en pequeñas empresas, sociedades y cooperativas. Existen reservas cuantificadas de oro para un periodo no menor a 30 años, utilizando los métodos actuales.

Actualmente existen algunas empresas mineras pequeñas como: BIRA, MINANCA, GUAYZIMI y otras que realizan labores de pequeña minería organizada. Estas empresas son las únicas que comercializan el oro fuera del país.

Como política de estado creemos que es fundamental apoyar el desarrollo de la minería en nuestro país considerando todos los parámetros de sustentabilidad ambiental, partiendo sobre la base de un ordenamiento territorial integral.



Fig. No. 46.- Producción de oro

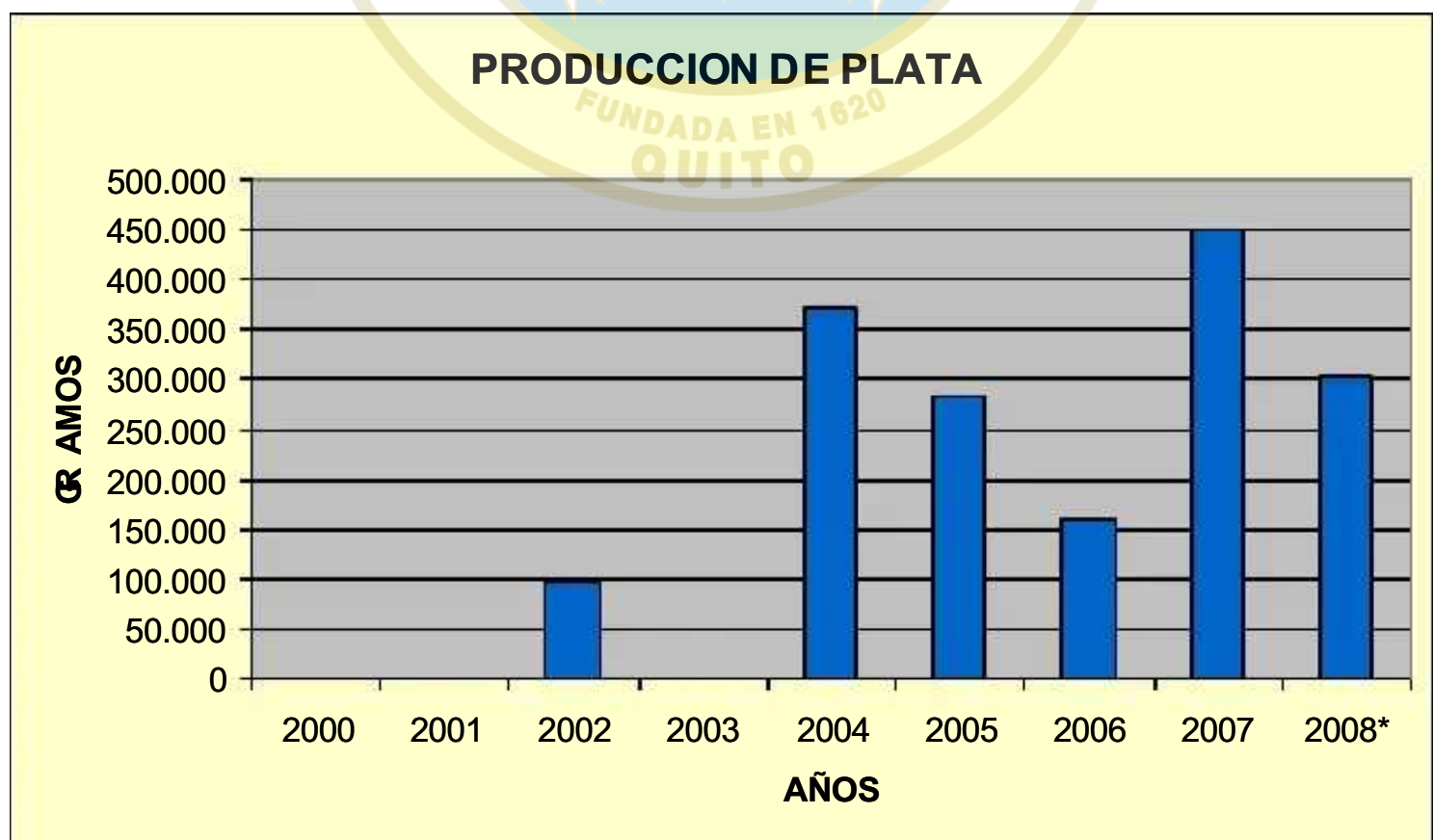


Fig. No. 47.- Producción de plata

8.2 EL PLATINO

A los minerales del grupo del platino (platinoides), además del platino (Pt), pertenecen el paladio (Pd), iridio (Ir), rodio (Rh), osmio (Os) y rutenio (Ru).

El platino se descubrió en Sudamérica, en Colombia, a comienzos del siglo XVI, por los conquistadores españoles. Al suroeste de Colombia, en la zona del Chocó, hasta ahora se explotan placeres platiníferos. Es importante señalar, que esta zona se extiende hasta el Ecuador, al noroeste del país. En la provincia de Esmeraldas todos los ríos que forman la cuenca del río Santiago contienen oro y platino, así como las playas marinas de la Tola y la Tolita, en donde ya se explotaba y trabajaba el oro y el platino antes de la Colonia. Testigo de esto son las mascarones de singular belleza trabajados en oro y platino encontradas en capas culturales, que pertenecen a la cultura Tolita (500 años A.C. –500 años D. C.).

El platino científicamente solo fue descrito en 1.741, posteriormente dentro de su red cristalina se descubrió el resto de elementos.

Los platinoides tienen un gran uso en algunas ramas de la industria. Se utilizan en calidad de catalizadores el (50%), en la industria electrotécnica, automotriz y medicina (25%), en la elaboración de aparatos químicos y coberturas anticorrosivas (15%) y en joyería (10%). Las reservas mundiales de platinoides son de 80.000 t. Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, la producción mundial de platinoides durante el año 2.003, fue de 187.1 t, el primer productor fue Sudáfrica con 135 t y reservas de 63.000 t, seguido de Rusia con 36 t, y reservas de 6.200 t, le siguen Canadá, Estados Unidos, y en Sudamérica, Colombia.

El 50% de los platinoides se obtiene de la explotación de yacimientos magmáticos de licuación, del tipo sulfuros de cobre-níquel. Las menas complejas que se obtiene de este tipo de yacimientos son ricas en platinoides, los yacimientos más importantes de este tipo se encuentran en Canadá (Sudbury) y Rusia (Norilsk), el 50% restante se obtiene de yacimientos primarios y un pequeño porcentaje de depósitos de placeres. En yacimientos primarios el contenido de platinoides en menas económicamente explotables fluctúa entre 3-5 hasta 10-15 gramos por tonelada.

Las investigaciones GEOQUÍMICAS, reportan para el platino la existencia de 6 isótopos, un Clark de $5 \times 10^{-7}\%$ y un coeficiente de concentración de 1.000.

Según Smirnov V. (1.986), los platinoides son producto típico de magmas de composición básica. Ellos se separan del magma de composición básica y ultra-básica en procesos de licuación, mediante los cuales se forman dos fusiones, una sulfídica y otra silicática; luego al producirse la cristalización y diferenciación de este magma complejo, la fusión sulfídica que es más pesada, se deposita en el fondo, formando depósitos de sulfuros de cobre-níquel ricos en platinoides.

Los yacimientos de platino de origen postmagmático, son muy raros, los pocos depósitos de skarn e hidrotermales conocidos, también están genéticamente asociados a rocas básicas y ultra-básicas. En condiciones exógenas, los platinoides debido a sus propiedades, forman depósitos de placeres, mayormente de origen aluvial.

La MINERALOGÍA de los platinoides, es muy rica, se conocen más de 90 minerales del grupo del platino, de los cuales los más importantes son: el platino nativo (Pt), el ferroplatino (Pt_3Fe), el osmiridio (IrOs), el iridiosmio (OsIr), el ruteniridosmín (RuOsIr), son importantes además otros minerales del grupo de los sulfuros y arseniuros de platino.

En relación a la METALOGENIA en el ciclo general del desarrollo geológico, yacimientos de platino se forman en dos etapas de la evolución de las placas, asociados a arcos de islas y a estructuras tipo arcogenésico y de rift dentro de las plataformas. Con arcos de isla y zonas de sutura, el platino se asocia a dunitas, que representan el producto más diferenciado de magmas gabroides. En este proceso se forman yacimientos magmáticos de cromitas, que contienen platino y paladio, así mismo con productos de la diferenciación de magmas peridotíticos se forman depósitos de platino ricos en osmio e iridio.

Con estructuras tipo rift y arco genésicas dentro de las plataformas (etapa de activación de las plataformas) se forman dos tipos de yacimientos: 1) yacimientos magmáticos de cobre-níquel en procesos de licuación; y 2) yacimientos temprano-magmáticos y tardío-magmáticos de cromitas platiníferas tipo horizonte o arrecife de Merensky, en el complejo de Bushveld en Sudáfrica, relacionados a masivos de noritas pseudo estratificadas.

En el ciclo histórico del desarrollo geológico, se destacan tres épocas principales de formación de yacimientos de platinoides: Proterozoica, Hercínica y Alpínica o Andínica. Los yacimientos relacionados a arcos de islas y zonas de sutura característicos para los Andes colombianos y ecuatorianos pertenecen a la época Andínica.

8.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LAS OFIOLITAS Y MINERALIZACIONES ASOCIADAS

La descripción que sigue de los cinturones ofiolíticos y de los tipos de mineralización a ellos asociada procede de oeste a este, debido a que la presencia de depósitos e indicios, así como su importancia económica y prospectiva, marca esa dirección.

8.2.1.1 Cinturón Ofiolítico Occidental.

El cinturón Ofiolítico o megazona Occidental se extiende paralelo a la línea de la costa y comprende la cordillera Occidental y la zona Costanera del Ecuador y Colombia; luego se dirige hacia el oeste y constituye el complejo de Nicoya.

de la cordillera Occidental y en la serie Piñón (Ecuador), en el cabo Corrientes (Colombia) y en el complejo de Nicoya (Costa Rica), se han encontrado composiciones y edades similares, lo que sugiere que se trata posiblemente de un mismo cinturón

ZONA COSTANERA.

Comprende la parte baja occidental del país, localizada al occidente de la cordillera Occidental. Tiene una extensión de 500 k. y un ancho promedio de 120 k. En términos metalogénicos, en la zona Costanera son las rocas del complejo Basal, constituido por corteza oceánica, las que tienen mayor interés.

El complejo Basal se presenta plegado; está compuesto por rocas de edad cretácica y aflora en una serie de elevaciones en bloque, tipo *horst*, entre las cuales las más importantes son: Chongón-Colonche, Jama-Coaque y Río Verde en Ecuador; continúa hacia el norte con la cordillera de la Costa colombiana (sierra de Baudó), y luego se dirige hacia el occidente y constituye la sierra de Darién en Panamá. En el núcleo de estas estructuras afloran rocas volcánicas constituidas por lavas y brechas submarinas de composición basáltica, así como piroclastos turbidíticos débilmente estratificados con restos de capas pelágicas. Las lavas se caracterizan por tener estructura masiva tipo *pillow*, generalmente, son porfiríticas y químicamente son basaltos tholeíticos de tipo oceánico.

Las rocas de la serie Piñón en la zona Costanera se presentan como encajantes de la mineralización asociada a depósitos de origen magmático, cuyas manifestaciones son observadas en los placeres aluviales de los ríos de la zona noroccidental, que son ricos en oro, platino y paladio, y en los depósitos de arena titanomagnetítica con trazas de oro, platino y cromitas en las playas de la Tola y la Tolita. Hacia el norte de esta zona, en Colombia, Álvarez (1.983) ha establecido una relación directa de esta mineralización con intrusiones de rocas ultrabásicas, localizadas a lo largo de la falla de Atrato-San Juan. Lo anotado confirma la perspectiva para encontrar mineralizaciones de platinoides y otros minerales relacionados con intrusiones de rocas ultrabásicas y básicas, en la zona de fallas determinada con ayuda de imágenes de satélite (INEMIN, 1.985), que se presentan como continuación del sistema de fallas de Atrato-San Juan, las mismas que constituyen el límite entre la cordillera Occidental y la zona Costanera (Fig. No. 21).

De otro lado, ha de señalarse que en Colombia se conocen depósitos e indicios de SMV del tipo Chipre, como son la Mina El Roble, Micogrande, Azufral y otros relacionados con ambientes ofiolíticos de edad mesozoica (Ortiz, 1.990). Esto abre la posibilidad de encontrar este tipo de depósitos en el Ecuador, lo que parece confirmarse por la aparición de indicios de SMV (Báez, com. Pers.), a raíz de los trabajos de exploración realizados en la provincia de Esmeraldas (zona noroccidental).

Otra zona de interés para la localización de **EGP** es la faja situada hacia el límite oriental del complejo ofiolítico. Se trata de la zona de sutura Calacalí-Pallatanga-Palenque (Fig. No. 21), a lo largo de la cual, durante el Eoceno superior colisionó el arco volcánico Macuchi. Entre las rocas, que constituyen esta faja encontramos rocas ultrabásicas serpentinizadas, -peridotitas y dunitas con indicios de cromita- y basaltos.

Además, como producto de la meteorización y erosión de estas rocas, se han formado depósitos secundarios con oro y platino localizados en los ríos que bajan por el flanco occidental de la cordillera.

Arenas Titanomagnetíticas.- Se conocen placeres titanomagnetíticos, de playa, a lo largo de la orilla del océano Pacífico, al norte de la cadena Chongón-Colonche (Bixby, 1.959). El contenido de la fracción pesada alcanza el 15% de las arenas, con contenido de Fe (50%), TiO_2 (26%) y trazas de Pt, Zr y Cr. Los trabajos de exploración más recientes determinaron valores adicionales de 0.08 gr/ton para platino y 0.17 gr/ton para oro. Las arenas negras en la actualidad se explotan en forma artesanal.

CORDILLERA OCCIDENTAL (ARCO MACUCHI)

Esta unidad geotectónica continúa hacia el norte en Colombia; hacia el sur, a la altura del golfo de Guayaquil, se estrecha y desaparece. En los límites de los Andes ecuatorianos tiene rasgos específicos en su composición y desarrollo, lo que se ve claramente en los cortes estratigráficos del Cretácico y Paleógeno (Fig. No. 23). En el segmento ecuatoriano del cinturón Andino el arco Macuchi tiene una longitud que supera los 300 k. y una anchura de 45-75 k.

En la constitución de la cordillera Occidental, tienen gran significado las rocas volcánicas cretácico-paleogénicas, las cuales forman un complejo plegado acrecional, constituido por la corteza oceánica o formación Piñón (Foto No. 10-11-12), ya descrita, sobre la cual se emplazó el arco de islas volcánico Macuchi. Otras interpretaciones hablan de basaltos de *plateau* oceánicos (f. Piñón, Reynauld *et al.*, 1999), colisionados con las rocas del arco Macuchi y acrecionados al continente en el Eoceno (Kerr *et al.*, 2002).



Foto No. 10 - Corteza oceánica aflora en la panamericana cerca de Puerto Inca



Foto No. 11.- Lavas en almohadilla de la corteza oceánica, basamento del arco macuchi que aflora en Alluriquín.



Foto No. 12 - Parte basal del arco macuchi (radiolaritas), afloran en el río Toachi

Para la caracterización metalogénica de esta zona interesa señalar el desarrollo, a partir del Cretácico hasta el Eoceno medio, de un típico arco volcánico de islas, que abarca desde rocas ofiolíticas hasta calco-alcalinas de arco continental, como lo describen Éguez, Morocco y Pérez (1991). En relación con la mineralización presentan interés tanto las rocas volcánicas, como las rocas comagmáticas con aquellas, representadas por granitoides intrusivos de edad terciaria: tonalitas, granodioritas y granitos que forman enormes batolitos.

Son de importancia los yacimientos de La Plata y Macuchi, que corresponden a depósitos cupríferos SMV, con altos contenidos de oro: los cuerpos piríticos mineralizados están representados por lentes y estratos que yacen concordantemente con las rocas volcano sedimentarias encajantes de la mineralización. Junto con los indicios de Pílalo, Talagua, Sigchos y Sarapullo, forman el distrito minero de Macuchi – La Plata.

El yacimiento de Molleturo es importante por su contenido en platino, los análisis metalúrgicos realizados determinan los siguientes tenores:

<i>Plomo</i> 2.30%	<i>Zinc</i> 4.24%	<i>Cobre</i> 0.69%
<i>Oro</i> 3.40 g/t	<i>Plata</i> 392 g/t	<i>Platino</i> 0.3 g/t

8.2.1.2 Cinturón Ofiolítico Oriental.

A partir de los estudios realizados por la misión Británica en el proyecto cordillera Real (INEMIN, 1995), las rocas metamórficas de esta cordillera fueron divididas en cinco divisiones litotectónicas asociadas cada una de ellas a rasgos tectónicos y metalogénicos característicos.

Las divisiones litotectónicas de oeste a este son: *Guamate*, constituida por ortocuarcitas y pizarras negras de bajo grado de metamorfismo; *Alao*, constituida por ofiolitas, turbiditas, andesitas verdes, tobas y sedimentos de bajo grado de metamorfismo; *Loja*, constituida por orto y para-gneises asociados con filitas y esquistos de bajo y mediano grado de metamorfismo, intruidos por granitos de edad Triásica; *Salado*, constituida por andesitas verdes, tobas, filitas y grauvacas de bajo grado de metamorfismo, intruidas por un batolito de composición calco-alcalina; y *Zamora*, constituida por andesitas, basaltos y sedimentos intruidos por un batolito de composición calco-alcalina. La división Alao es caracterizada por Litherland (1.990) como “un cinturón de *greenstone* y esquisto verde andesítico, de tipo arco insular”. Los límites estructurales de esta división en el este y oeste coinciden con el frente Baños y la falla Peltetec respectivamente (Fig. No. 21).

LA SUBDIVISIÓN PELTETEC se localiza en el extremo occidental de la división Alao. Esta relacionada con la falla Peltetec y con el proceso de acreción Peltetec–

tectono-metamórfico, que afectó a las rocas de edad jurásico-cretácica de la cordillera Real.

Según la literatura (*cf.* Aspden y Litherland, 1992, y sus fuentes), la subdivisión Peltetec comprende una serie de estrechos afloramientos, que están constituidos por cherts y filitas, sedimentos y volcanitas silíceas finas, pizarras negras, picritas, ortocuarcitas, basaltos espiliticos, doleritas, serpentinitas, gabros y peridotitas, comprende también bloques lenticulares menores, tectónicamente imbricados con las litologías citadas, de granito del tipo Tres Lagunas, pertenecientes a la división Loja. Las muestras analizadas de rocas ultrabásicas son del tipo **MORB**; otras litologías, aun conservando estructura de corteza oceánica, muestran rasgos de zona de suprasubducción, con características químicas de arco de islas (PRODEMINCA, 2.000).

Asociados a las rocas básicas y ultrabásicas del cinturón Peltetec, se han encontrado indicios y anomalías geoquímicas de Ni, Cr y Cu, que no tienen interés económico, al contrario de lo que ocurre con las concentraciones de oro en filones de origen hidrotermal.

EL ARCO VOLCÁNICO ALAO está constituido por rocas verdes de la subdivisión Alao – Paute, unidad que comprende metalavas, esquistos verdes, esquistos pelíticos y grafiticos, cuarcitas y mármoles. Desde el punto de vista geoquímico, se trata de basaltos de fondo oceánico. La unidad Alao – Paute ha sido interpretada como “un arco de islas oceánico con presencia subordinada de sedimentos de aguas profundas” (PRODEMINCA, 2.000).

De otro lado, ha de mencionarse la existencia del complejo Tampanchi, considerado por Litherland (1.990) como un posible cinturón del tipo “*Alaskan pipes*”, el cual corta la subdivisión Alao-Paute en el sector del río Paute. Se trata de un complejo intrusivo zonado, máfico-ultramáfico, con un núcleo serpentinitico envuelto sucesivamente por piroxenitas, hornblenditas y gabros, cuyas características petrológicas remiten al tipo citado. Se conocen otros cuerpos de rocas ultramáficas en el mismo sector, que sugieren la posibilidad de una cadena de *Alaskan pipes* de edad cretácica tardía. La presencia de este cinturón de rocas ultrabásicas abre la posibilidad de encontrar **EGP** en esta zona.

8.2.2 CONCLUSIONES

Los cinturones ofiolíticos del Ecuador se correlacionan con megazonas paralelas a la cadena andina, al norte de la zona transversal Puna-Méndez (**ZTPM**), la cual se extiende aproximadamente en dirección este-oeste y marca la transición entre los Andes centrales, al sur, y nórdicos, al norte.

La **ZTPM** puede tener en Ecuador un importante potencial metalífero. Éste se ha reconocido en su prolongación en la cuenca Lancones, en territorio peruano, con importantes yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos (**SMV**) y metales preciosos, como Tambo Grande.

Las megazonas relacionadas con cinturones ofiolíticos son la cordillera Real o Central, la cordillera Occidental y la zona Costanera, todas ellas al norte de la **ZTPM**. Corresponden a la acreción sucesiva, de este a oeste, de bloques oceánicos y de arcos insulares y a la constitución de las correspondientes suturas, entre el Cretácico y el Terciario

En el Cinturón Ofiolítico Oriental, ubicado en la Cordillera Real se reconocen rocas ofiolíticas asociadas a la falla Peltetec y relacionadas con el proceso de acreción Peltetec-Palenque:

Son importantes el arco volcánico Alao y la división Peltetec, con indicios y/o depósitos de Ni, Cr, Cu y Au (por ejemplo, Guarumales, Las Pilas y Cruzacta);

Adicionalmente, es significativo el complejo Tampanchi, máfico-ultramáfico, de edad cretácica tardía, intruido en la subdivisión Alao-Paute e integrante de un posible cinturón ultrabásico del tipo *Alaskan Pipes* con potencial para **EGP**.

En el cinturón ofiolítico Occidental, que se prolonga hacia el norte por Colombia y luego se adentra en Panamá, Costa Rica y Nicaragua:

Destaca el arco Macuchi, en la cordillera Occidental, con yacimientos de **SMV** con Cu y Au, como los explotados en las minas de La Plata (840.000 ton: 4.8 g/t Au, 54 g/t Ag, 4.1 % Cu, 4.2 % Zn y 0.7 % Pb); y, Macuchi (472.156 ton extraídas: 11,6 g/t Au, 68 g/t Ag, 4,7 % Cu).

También tiene interés el complejo basal, en la zona Costanera, con indicios de Au, Pt, Pd o **EGP** en pláceres relacionados con la formación Pinón, con la sutura Calacali-Pallatanga-Palenque o, más al norte (en territorio colombiano), con el sistema de fallas Atrato-San Juan;

Además, hay potencial para depósitos cupríferos del tipo Chipre ricos en Au, como El Roble en Colombia, según sugieren los indicios de **SMV** hallados en la provincia de Esmeraldas;

Finalmente existen en la costa pacífica *arenas negras* titanomagnetíticas, al norte de la cadena Chongón-Colonche, con 15 % de fracción pesada (50 % Fe, 26 % TiO₂ y trazas de Zr, Cr, 80 ppb Pt, 170 ppb Au), explotadas actualmente de forma artesanal.

CAPÍTULO IX

METALES CLAROS

9.1 EL COBRE

El cobre se conoce desde la edad de bronce (3.000 años). El empleo del cobre en la industria se basa en la propiedad que tiene este elemento de ser gran conductor de la electricidad, en su estabilidad química, plasticidad y en su capacidad para formar aleaciones con muchos metales: con estaño (bronce), con zinc (latón), con níquel (melcior) y otras. El cobre se utiliza en muchas ramas de la industria: electrotécnica y medios de comunicación (50%), construcción de máquinas (25%), construcción, alimentos y química (25%). El cobre se obtiene de menas de tipo cobre-molibdeno, cobre-pirita, cobre-níquel y poli metálicas. Las fábricas metalúrgicas producen cobre electrolítico (99.95%), refinado (99.6%), negro (99%). El precio de una tonelada de cobre refinado en julio del 2.009 fue de \$ 8.940 USA, sin embargo en octubre bajo hasta \$ 5.000 USA. La producción mundial de cobre en el año 2.008 fue de 15.5 millones de toneladas, el primer país productor es Chile con una producción del orden de 6 millones de toneladas (40%), otros países productores son Estados Unidos, Canadá, Perú y Rusia. Las reservas exploradas de cobre son del orden 413 millones de toneladas, las reservas totales de 800 millones de toneladas. Yacimientos únicos de cobre por el monto de sus reservas a nivel mundial son (El Teniente, Chuquicamata, La Escondida en Chile) con más de 5 millones de toneladas cada uno, yacimientos grandes con reservas de 5-1 millón de toneladas, medianos con 1-0.2 millones y pequeños con menos de 0.2 millones de toneladas. Las menas ricas contienen de 3-2.5 % Cu, las medias de 2.5-1% Cu y las pobres menos del 0.5%.

En el Ecuador la explotación de yacimientos de cobre del tipo pirítico (sulfuros masivos volcanogénicos SMV), se realizó en la zona de Macuchi en la década de 1.940-1.950, en donde la Cotopaxi Exploration Company explotó 472.156 t, de mineral con contenidos de 4.7% Cu, 11.6 g de Au, 8 g de Ag por tonelada. La exploración de yacimientos de cobre del tipo porfídico Cu-Mo, en forma sistemática se inició en la década del sesenta del siglo XX, con la colaboración de los geólogos de Naciones Unidas y luego de las misiones Inglesa y Japonesa, en estos programas se descubrieron los yacimientos de Junín y Chaucha; y, los prospectos de Los Linderos, Río Playas, Fierro Urco, El Huato, Telimbela, Chazo Juan, Balzapamba, Las Guardias y otros. En la última década, empresas canadienses descubrieron los yacimientos más importantes del país con reservas iniciales del orden de 30.000 millones de libras de Cu, se trata de un cinturón de yacimientos del tipo cobre porfídico Cu-Mo genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad Jurásica, los yacimientos más importantes son Mirador, Mirador Norte, Pananza y San Carlos,

Estudios de **Geoquímica**, han determinado la existencia de tan solo dos isótopos de cobre: Cu₆₃ (69.09%) y Cu₆₅ (30.91%). El Clark del Cu es $4.7 \times 10^{-3}\%$, es un poco más alto para rocas básicas 1×10^{-2} , que para rocas ácidas 1.10^{-3} . El coeficiente de concentración del Cu es de 200. El cobre es polimagmatogénico (se relaciona a rocas basaltofilicas y granitofilicas). Con el magmatismo básico el cobre se concentra en la etapa plutónica formando yacimientos de lixiviación y de skarn, con la etapa volcánica forma yacimientos del tipo piritico (sulfuros masivos volcanogénicos). Con el magmatismo granítico se relacionan los yacimientos post magmáticos de cobre, el Cu es transportado en soluciones hidrotermales en forma de tiosulfatos y complejos clorídicos.

En condiciones exógenas el cobre se concentra, en primer lugar, al producirse alteraciones hipergénicas de las menas de cobre, formando en la zona de oxidación minerales como la malaquita, azurita, cuprita, cobre nativo y otros; y, en la zona de enriquecimiento secundaria de sulfuros con minerales como la covelina, calcosina y otros. En segundo lugar, el cobre es transportado en forma de soluciones complejas fosfato-carbonáticas, las mismas que son estables incluso con pH 10,5 las cuales se depositan en ambientes lagunar-deltaicos y marinos de orilla formando depósitos de infiltración o exóticos.

La **Mineralogía** del cobre es rica, se conocen más de 170 minerales de cobre, sin embargo importancia económica tienen no más de 17. A ellos se relaciona: el cobre nativo Cu (92%), calcopirita CuFeS₂ (34.6%), bornita Cu₅FeS₄ (63.3%), cubanita CuFe₂S₃ (22-24%), calcocina Cu₂S (79.9%), covelina CuS (66.5%), tenantita 3Cu₂S. AsS₃ (57.5%), tetraédrica 3Cu₂S. Sb₂S₃ (52.3%), enargita Cu₃AsS₄ (48.4%), cúprita Cu₂O (88.8%), malaquita CuCO₃.Cu(OH)₂ (57.2%), azurita 2CuCO₃.Cu(OH)₂ (53.3%), atacamita CuCl₂.3Cu(OH)₂ (59.9%), crisocola Cu₄(Si₄O₁₀)(OH)₂ x 4H₂O (36%). Los sulfuros de cobre: calcopirita, calcocina y bornita son los más importantes, las sulfosales de cobre y los sulfoarsenidos (enargita) son de segunda importancia, menor rol aún tienen los óxidos, carbonatos y silicatos.

La **Metalogenia** del cobre es muy variada, asociada a la etapa mar Rojo y océano Atlántico de evolución de las placas (ciclo de Wilson) se forman yacimientos del tipo piritico **SMV**, asociados a la corteza oceánica **SMV** (tipo Chipre), y a arcos de islas **SMV** (tipo Kuroko). Con el proceso de subducción, con granitos plagioclasicos se forman yacimientos de skarn de Cu y Fe y con intrusivos porfiríticos de alto nivel yacimientos cobre-porfídicos Cu-Mo. Con la etapa terminal de subducción relacionados a intrusivos de alto nivel de tipo porfidítico se relacionan los yacimientos más importantes de Cu-Mo, paralelamente se forman grandes yacimientos de areniscas cupríferas asociadas a formaciones molasicas. Con la etapa plataforma de desarrollo en sedimentos terrígenos nuevamente se forman yacimientos de areniscas cupríferas y de esquistos cupríferos. Con la etapa arcogenésica de evolución de las plataformas, relacionados a intrusivos lopoliticos de composición básica se relacionan yacimientos magmáticos de lixiviación con sulfuros

Grandes yacimientos de cobre se formaron en la época proterozoica. Se trata de yacimientos estratiformes de areniscas cupríferas en las plataformas Africana y Siberiana, así como yacimientos magmáticos de cobre-níquel en las plataformas Canadiense, Europea y Africana; yacimientos volcano-hidrotermales de cobre nativo en la plataforma Canadiense. En las épocas Caledónica y sobre todo en la Hercínica, se forman yacimientos piríticos SMV localizados en los cinturones montañosos de los Urales, Cáucaso Norte, Apalaches, Pirineos; y, yacimientos del tipo cobre porfídico de Cu-Mo., localizado en Kazajstán y Asia Central. En la época kimmeridica se formaron grandes yacimientos de Cu-Ni en las plataformas Africana y Siberiana; y, también yacimientos de Cu-Mo y piríticos SMV en los Balcanes y los Caucazos. Durante el Jurásico y relacionados a un arco volcánico continental se formaron los yacimientos de tipo cobre porfídico del sur oriente ecuatoriano, el cinturón cuprífero más importante del Ecuador. En la época Alpina se formaron yacimientos gigantes del tipo porfídico de Cu-Mo y también del tipo pirítico SMV, característicos para los cinturones plegados circumpacífico y mediterráneo; en el Ecuador en esta época se formaron los yacimientos del distrito de Macuchi-La Plata del tipo pirítico SMV y los yacimientos del tipo porfídico de Cu-Mo de Chaucha, Junín, Gaby y otros.

9.1.1 YACIMIENTOS Y DISTRITOS CUPRÍFEROS DEL ECUADOR

En el siguiente cuadro se resumen las características tipológicas, así como algunos parámetros y la distribución de los principales distritos y yacimientos de cobre del país (Tabla No. 10).

Distrito Minero	Tipo de Yacimientos	Reservas explotadas + Existentes Ton.	Leyes por Ton.	Localización
Macuchi-La Plata	Sulfuros masivos	Cobre: 24.250 Oro: 32 g Plata: 32 g	Cu = 5% Au = 116 g Ag = 65 g	Arco volcánico Macuchi
Cinturon cuprífero de Mirador	Cobre-molibdeno porfídicos.	Cobre: 15.000.000. Oro: 3	Cu: 0,61 % Au: 0,19 g	Cordillera Occidental
Cinturon cuprífero Gaby-Chaucha	Cobre-molibdeno porfídicos.	Cobre:2.000.000	Cu+Mo: 1%	Arco volcánico Saraguro
Junín	Cobre-molibdeno porfídicos.	Cobre:3.000.000	Cu+Mo: 1%	Arco volcánico Macuchi.
Los Linderos/Río Playas/Huato	Cobre-molibdeno porfídicos.	Depósitos	-----	Arco volcánico Celica.

Telimbela/Balsapamba/ChasoJuan/El Torneado	Cobre-molibdeno porfídicos.	Depósitos	-----	Arco volcánico Macuchi.
--	-----------------------------	-----------	-------	-------------------------

Tabla No. 10.- Características tipológicas y algunos parámetros de los principales yacimientos de los diferentes distritos cupríferos del Ecuador

9.1.1.1 Yacimientos piríticos SMV

Los yacimientos de cobre y de cobre-zinc del tipo pirítico existen en los Urales (Gay y Sibai), en los Caucazos (Urup y Kafan), en Turquía (Ergani), en Chipre (Skurio-Tisza), en España (Río tinto), Noruega (Lekkon), Suecia (Boliden), Estados Unidos (United Verde), Cañada (Kid-Krik), Japón (Becci), Ecuador (Macuchi, La Plata) y otros. Este tipo de yacimientos por estar asociados a la corteza oceánica y a arcos de islas volcánicos, fueron los mejor estudiados durante las décadas de los 70 y 80 del siglo XX por constituir metalotectos de las etapas: mar Rojo y océano Atlántico de evolución de la teoría de la tectónica de Placas.

Los yacimientos de SMV, están relacionados a series volcano-sedimentarias de complejos basaltoides de la serie sódica que constituyen la corteza oceánica y a formaciones volcánicas o terrígeno-silíceas de los arcos volcánicos de islas. Los cuerpos mineralizados se localizan en la parte superior de estas formaciones: en brechas volcánicas, tobas de composición ácida y rocas volcanomícticas. La mineralización no se extiende a las rocas que cubren a los cuerpos mineralizados. Los yacimientos son controlados por estructuras volcánicas locales, las cuales forman parte de estructuras volcánicas más complejas. Los cuerpos mineralizados tienen forma de capas y lentes; están constituidos de menas masivas estratificadas y también relacionados a stocks, vetas y stockwoks con mineralización difundida y en vetillas

ubicados en el piso: bloque yacente de los cuerpos mineralizados. La extensión de los cuerpos mineralizados alcanza centenas de metros y kilómetros (hasta 5 k.), la potencia decenas de metros, hasta (100 m.); y, la profundidad que alcanza la mineralización algunas centenas de metros hasta (2 k.). Las menas son de dos tipos: volcano-sedimentaria, depositada en condiciones submarinas y volcano-metasomática, formada en el proceso de ascenso de las soluciones hidrotermales y depositada en las rocas encajantes a profundidades de decenas hasta cien metros del fondo marino, en algunos yacimientos se encuentra ambos tipos de menas.

Las menas están constituidas de sulfuros de hierro (80-90%) pirita, melnicobita y marcasita, además de calcopirita, esfalerita, pirrotina, en menor cantidad de bornita, enargita, galenita, magnetita, oro nativo y plata; entre los minerales de filón son característicos: cericita, clorita, cuarzo, baritina, calcita, yeso y anhidrita. Las menas contienen hasta el 40% de S, 3-5% Cu, 2-10% Zn, además contienen Au, Ag, Cd, Se

Te. Las rocas encajantes en el piso -bloque yacente- son alteradas hidrotermalmente: piritizadas, cuarzo-cericitizadas y cloritizadas.

Los yacimientos piriticos **SMV** (Fig. No. 48), generalmente se forman en largos intervalos de tiempo en dos o tres etapas de mineralización. En la primera etapa se produce la alteración hidrotermal y la piritización de las rocas encajantes; en la segunda la depositación de sulfuros de hierro (pirita, marcasita); y, en la tercera, la etapa más productiva la depositación de calcopirita y esfalerita.

La zonación de la mineralización en los cuerpos mineralizados se expresa en un cambio de la misma desde el piso al techo de la siguiente manera: pirita (rara vez pirrotina-pirita con magnetita), pirita-calcopirita y pirita-calcopirita- esfalerita. La zonación concéntrica de la mineralización se expresa en que, en la parte central de los cuerpos mineralizados se observa un alto contenido de calcopirita y en los flancos de los mismos de esfalerita. La zonación secundaria se expresa en la sucesión de las siguientes zonas (de arriba-abajo): **1) de oxidación con sombreros de hierro (10-40 m)** **2) cuarzo- barítica (2-3 m), 3) piritica (1-3 m), 4) de enriquecimiento secundaria de sulfuros con covelina y calcosina (50-100 m y más), 5) de menas primarias.** Las zonas superficiales, sobre todo la (2) son enriquecidas en oro.

Los yacimientos piriticos se formaron en la etapa tipo océano Atlántico del ciclo de Wilson, en épocas geológicas que van desde la Proterozoica hasta la época Alpina. La fuente del cobre, zinc y el azufre tienen origen juvenil, ubicado en el manto. Las soluciones mineralizantes, como producto de investigaciones realizadas de menas piriticas de yacimientos japoneses, dieron los siguientes parámetros: temperatura de 300 a 150 °C, pH de 3.5 a 5, concentración de NaCl de 0.5 a 3 mol / l, concentración de azufre diluido S de 10^{-3} hasta 10^{-2} mol/l, fuga de oxígeno fO_2 de 10^{-33} hasta 10^{-45} Pa.

La depositación de la mineralización esta relacionada con la caída de la temperatura, aumento del pH, suma de S, también fO_2 de las soluciones gaso-hidrotermales al salir y mezclarse con las aguas marinas (R. Large, 1977). Esto llevo a la formación de menas de tipo volcagénico-sedimentarias, las cuales con una columna de agua de una altura de 200 metros y una temperatura de exhalación de 215°C, se depositaron a temperaturas no mayores de 200°C.

Según el criterio de V. Smirnov, el proceso de formación de menas del tipo volcanogénico- metasomático, para diferentes yacimientos del tipo piritico **SMV** se caracterizan por formarse a temperaturas más altas, dentro de un gran margen: de alta temperatura 450°C y más, de temperatura media, los más difundidos, con una temperatura inicial de 300°C y de baja temperatura a menos de 200°C.

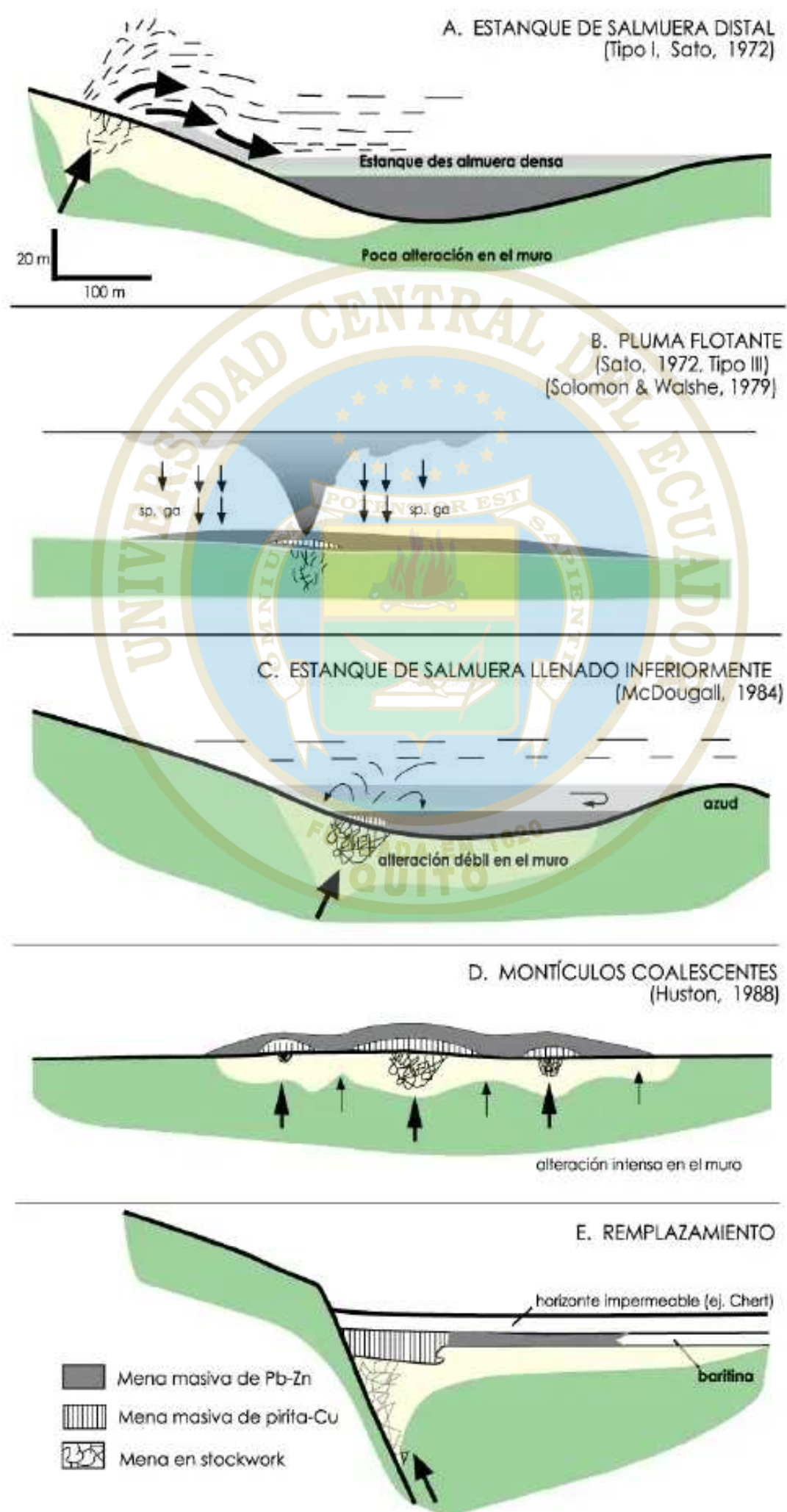


Fig. No. 48.- Representación esquemática de varias hipótesis para la formación de sulfuros masivos volcanogénicos. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Sulfuros masivos alojados en Volcanitas (Vol. 3 PRODEMINEA, junio 2 000)

DISTRITO CUPRIFERO DE MACUCHI-LA PLATA

Se localiza en el flanco occidental de la cordillera Occidental de los Andes ecuatorianos.

Los depósitos de Macuchi y La Plata, junto a los prospectos de Sigchos, Talagua, Pilalo y Zarapullo al norte, forman un distrito aurífero polimetálico, que responde al mejor ejemplo de mineralización estrato ligada. Los cuerpos mineralizados están localizados dentro de rocas volcano sedimentarias, que constituyen parte de la corteza oceánica acrecionada al continente durante el Eoceno superior.

MACUCHI.- En el yacimiento de Macuchi (Fig. No. 49), el cuerpo mineralizado más importante es El Mercedes. Estratigráficamente está localizado en la parte superior de una serie vulcano sedimentaria constituida de aglomerados, tobas y lutitas. Se presenta irregular y lenticular, concordante con las rocas encajantes. Tiene las siguientes dimensiones: 125 m. de largo, 70 m. de ancho y 18 de espesor en su parte máxima. Este cuerpo fue explotado casi en su totalidad por la Cotopaxi Exploration Company.

La mena mineral está constituida de pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita, en menor cantidad se encuentran covellina, digenita, tetraedrita y calcosina. Los minerales comunes de ganga son cuarzo, baritina y carbonatos. Los tenores promedios de la mena son: 4.7% de cobre, 11.6 g de Au y 68 g de plata por tonelada. En Macuchi se explotó un total de 472.156 t de mineral.

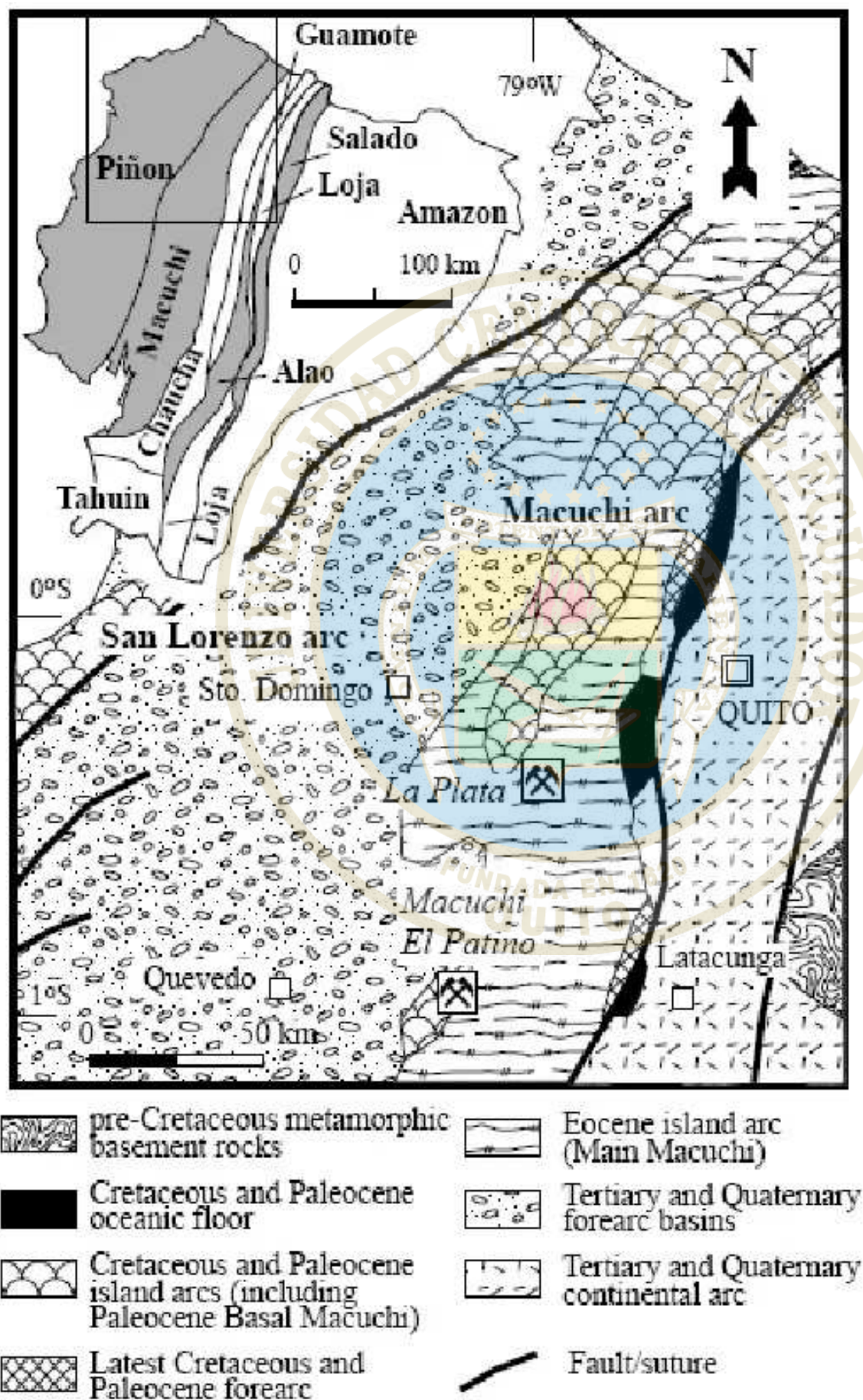


Fig. No. 49.- Mapa geológico del norte de la cordillera Occidental (Chiaradia and Fontboté, 2001)

LA PLATA.- El depósito de La Plata está situado a 60 k. al suroeste de la ciudad de Quito. Las rocas encajantes de la mineralización están representadas por diabasas y

porfiritas, dispuestas en capas con intercalaciones de mantos de esquistos aglomerados y esquistos (Fig. No. 50 y 51). Todo el paquete se encuentra comprimido, en forma

de pliegues isoclinales. En el yacimiento se observan dos cuerpos de minerales

175

paralelos, que tienen forma de lentes, con una extensión de hasta 100-120 m y una potencia de 3-4 m (en algunos lugares, las bonanzas alcanzan una potencia de 10-12 m).

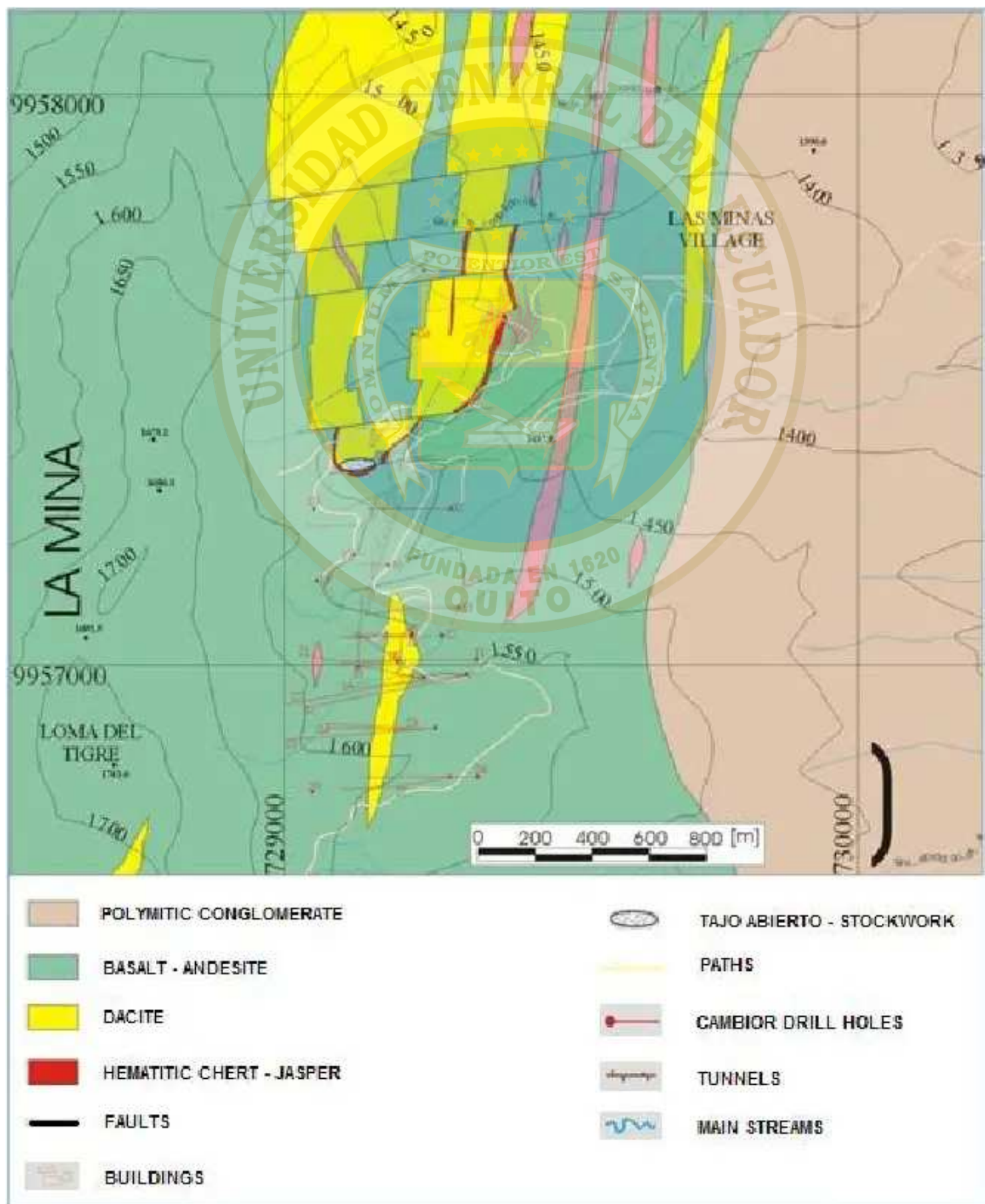


Fig. No. 50.- Mapa geologico de "La Plata" (Tripodi 2.002, modified from O'Dowd, 1.999).

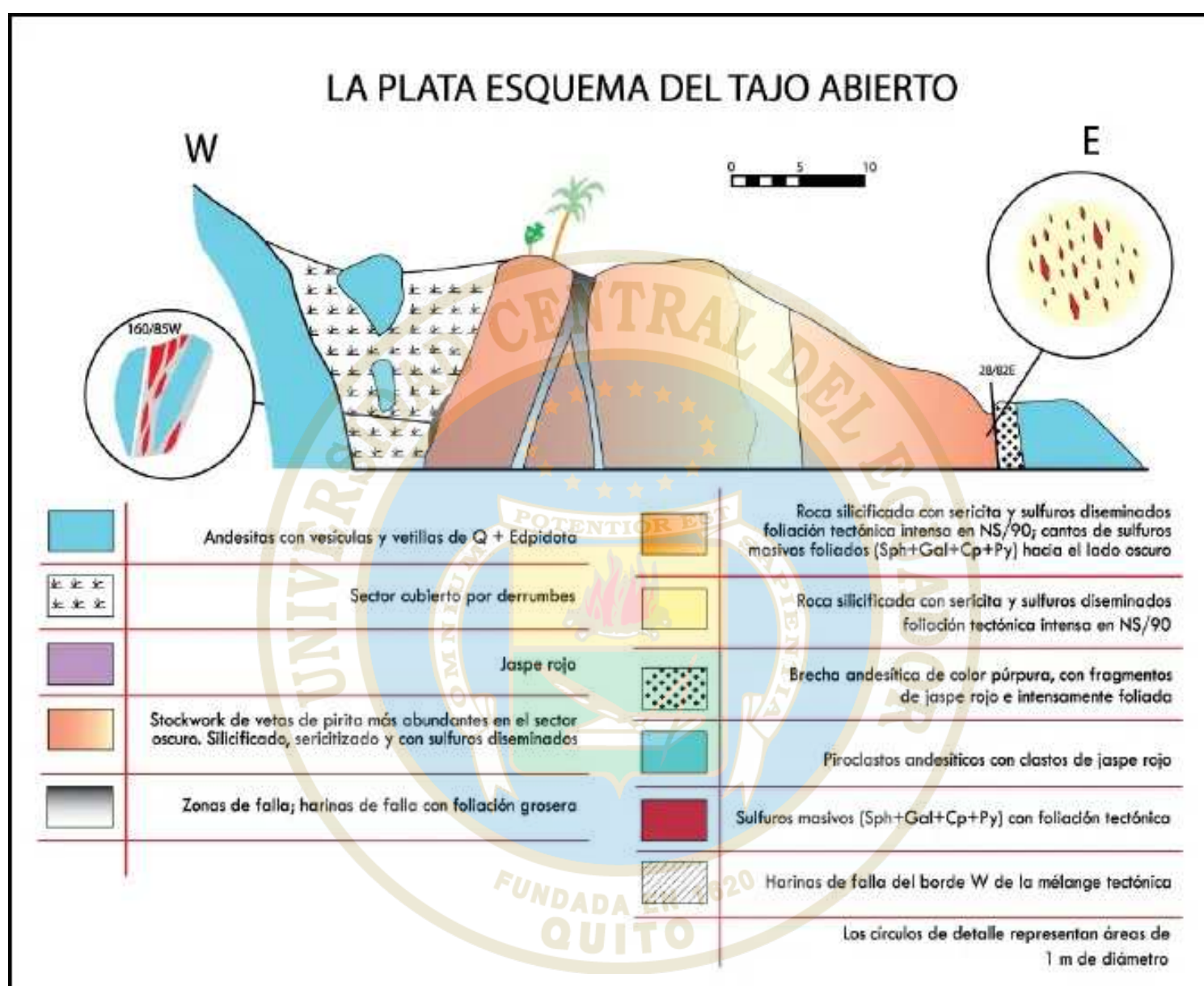


Fig. No. 51.- Sección geológica del tajo abierto de la mina "LA PLATA"

Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Sulfuros masivos alojados en Volcanitas (Vol. 3 PRODEMINCA, junio 2.000)

El yacimiento ha sido poco explorado en profundidad, los niveles de explotación han alcanzado solamente 80 m. contados desde la superficie. Las menas están compuestas de pirita, calcopirita, esfalerita, bornita, galena. En menor cantidad se encuentra covelina, digenita, tetraedrita, los minerales de ganga son: cuarzo, baritina y carbonatos; y, están representadas por tres tipos de mineralización: disseminaciones bandeadas, disseminada y vetillas disseminada.

Las menas contienen por término medio 5-6% de cobre, 10-15% de zinc, 3-5% de plomo, 10-15 g/t de Au. De acuerdo a datos de archivo, algunos bloques separados contenían hasta 100 y 150 g/t de Au. La génesis del yacimiento es discutible, existe un criterio de algunos geólogos en el sentido de que el yacimiento La Plata por sus características corresponde al tipo "Kuroco".

DEPÓSITOS DE LAS PILAS-CRUSACTA-GUARUMALES

Como resultado de los trabajos de exploración realizados por el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA 2.000), dentro del arco volcánico Alao se documenta la existencia de tres depósitos de SMV: Las Pilas, Guarumales y Crusacta.

Guarumales, posiblemente el depósito mejor estudiado, presenta las siguientes características. El depósito está localizado a 60 k. al noreste de la ciudad de Cuenca. Las rocas encajantes de la mineralización están representadas por metabasaltos, meta-andesitas, mármoles y metasedimentos de edad Jurásica, intensamente plegadas. El cuerpo mineralizado tiene morfología lenticular, con dimensiones de 150 x 3 m; está dividido en cuatro cuerpos menores, pero la estructura parece ser el resultado de transposición tectónica y no ha sido explorada en profundidad, por lo que se desconoce su espesor. Las menas están constituidas por pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita, covellina, tennantita, anglesita, barita y oro. Los minerales de ganga son cuarzo, sericita, clorita, moscovita, dolomita y yeso. El depósito aparece cubierto por una montera ferruginosa oxidada; no se observa la zona de enriquecimiento secundario de sulfuros.

9.1.1.2 Yacimientos de tipo cobre porfídico (Cu-Mo)

Los yacimientos del tipo cobre-porfídico se caracterizan por tener grandes volúmenes de reservas con bajas leyes o contenidos de cobre y molibdeno, la mineralización se presenta en forma de vetillas y diseminada tipo stockwork relacionados a intrusivos de alto nivel de estructura porfidítica (porphyry copper). Se conocen en Kazajstán (Kounrad), Asia Central (Kalmakir), Caucazos (Kadrraran), Chile (El Teniente, Chuquicamata), Perú (Toquepala), Panamá (Cerro Colorado), Estados Unidos (Bingen, Morenci, San Manuel), Canadá (Belli-Cooper, Endaro), Ecuador (Mirador, Chaucha, Junín) y otros.

Por la relación cobre/molibdeno y otros parámetros, según A. Kribsov, se destacan cuatro grupos de yacimientos: 1) molibdeno-porfídicos con pequeñas cantidades de cobre, relacionados con granito-porfídicos en complejos graníticos de la serie potásica (Claimarks, USA, kadrraran Caucazos); 2) molibdeno-cobre-porfídico, asociados a porfidos cuarzo-monzoníticos de la serie granítica potasio-sódica (Chuquicamata, Chile); 3) cobre-porfídico con pequeñas mezclas de molibdeno, relacionados con porfidos granodioríticos en complejos granodioríticos (Kounrad, Kazajstán; El Teniente, Chile); 4) cobre-porfídico con contenido del orden del Clark de molibdeno, relacionados con porfidos dioríticos en complejos gabro-dioríticos de la serie sódica (Salabatscoye, Urales). Los yacimientos de los tres primeros grupos se forman en provincias con corteza de tipo continental, relacionados con procesos de subducción en las etapas océano Pacífico y mar Mediterráneo del ciclo de Wilson, se relacionan al tipo monzonítico; y, los del cuarto grupo se originan en provincias con corteza de tipo

En la constitución de los yacimientos gran rol tienen los cuerpos en forma de stock y diques de composición calcoalcalina, los cuales se localizan en los sitios de cruce de estructuras de fallas; en flexuras, anticlinales y estructuras volcánicas tipo cupular. Frecuentemente se encuentra cuerpos en forma de tubo, constituidos de brechas explosivas. Los cuerpos mineralizados están representados por stockworks de forma ovalada o circular en plano; y, de forma cilíndrica o de cono en el plano vertical. El largo de los stockworks es de 2-3 k., el ancho de 0.7-1.5 k., cuando tienen forma circular el diámetro alcanza de algunas centenas de metros hasta 1 k. en el plano vertical la mineralización alcanza 300-500 m y más.

Las menas están constituidas de una fina red de vetillas (con una potencia de milímetros hasta un centímetro) de cuarzo y cuarzo-feldespáticas que contienen sulfuros en forma de nidos y diseminados. Los principales minerales de las menas primarias son: calcopirita y pirita, de filón cuarzo y cericita, secundarios: molibdenita, bornita, calcocina hipogénica, enargita, galena, esfalerita, magnetita y hematita: de filón feldespatos, calcita y anhidrita. El contenido medio de cobre en las menas primarias es de 0.2-0.7%, en la zona de enriquecimiento secundario de sulfuros, el contenido de cobre crece hasta 1-1.5%. Paralelamente se explota Mo (0.005-1.05%), Au, Ag, Se, Te, Re y otros elementos. La textura de las menas es de tipo diseminada y en vetillas, rara vez de brecha, la estructura es de tipo hipidiomórfica-granular, pofirítica, corrosiva y otras.

Las vetillas se forman en algunas estadias de mineralización; **1)** cuarzo-feldespáticas con un contenido mínimo de sulfuros y magnetita; **2)** primero se forman vetillas de cuarzo con calcopirita, molibdenita y pirita; y, luego de cuarzo y cuarzo-carbonáticas con esfalerita, galena, oro y plata; **3)** vetillas de calcedonio-calcíticas con anhidrita, fluorita, baritina y hematita. Las rocas encajantes de la mineralización están constituidas por intrusivos: pórfidos y granitoides, en parte rocas volcánicas y sedimentarias, las cuales han sido sometidas a intensos procesos de alteración hidrotermal. Según el criterio de muchos geólogos, en los pórfidos de cobre se observa un tipo de zonación concéntrica de la mineralización. Se destacan tres zonas: **1)** interna, con menas de cobre diseminadas (pirita, calcopirita, bornita, molibdenita, magnetita) en ortoclasitas y en parte en cuarzo-cericita-metasomatitas; **2)** intermedia: con menas de cobre en vetillas y diseminadas con covelina, calcosina, bornita asociadas a metasomatitas cuarzo-cericíticas; **3)** externa con mineralización en vetas polimetálicas, asociadas a propilitas (Fig. No. 52 y 53).

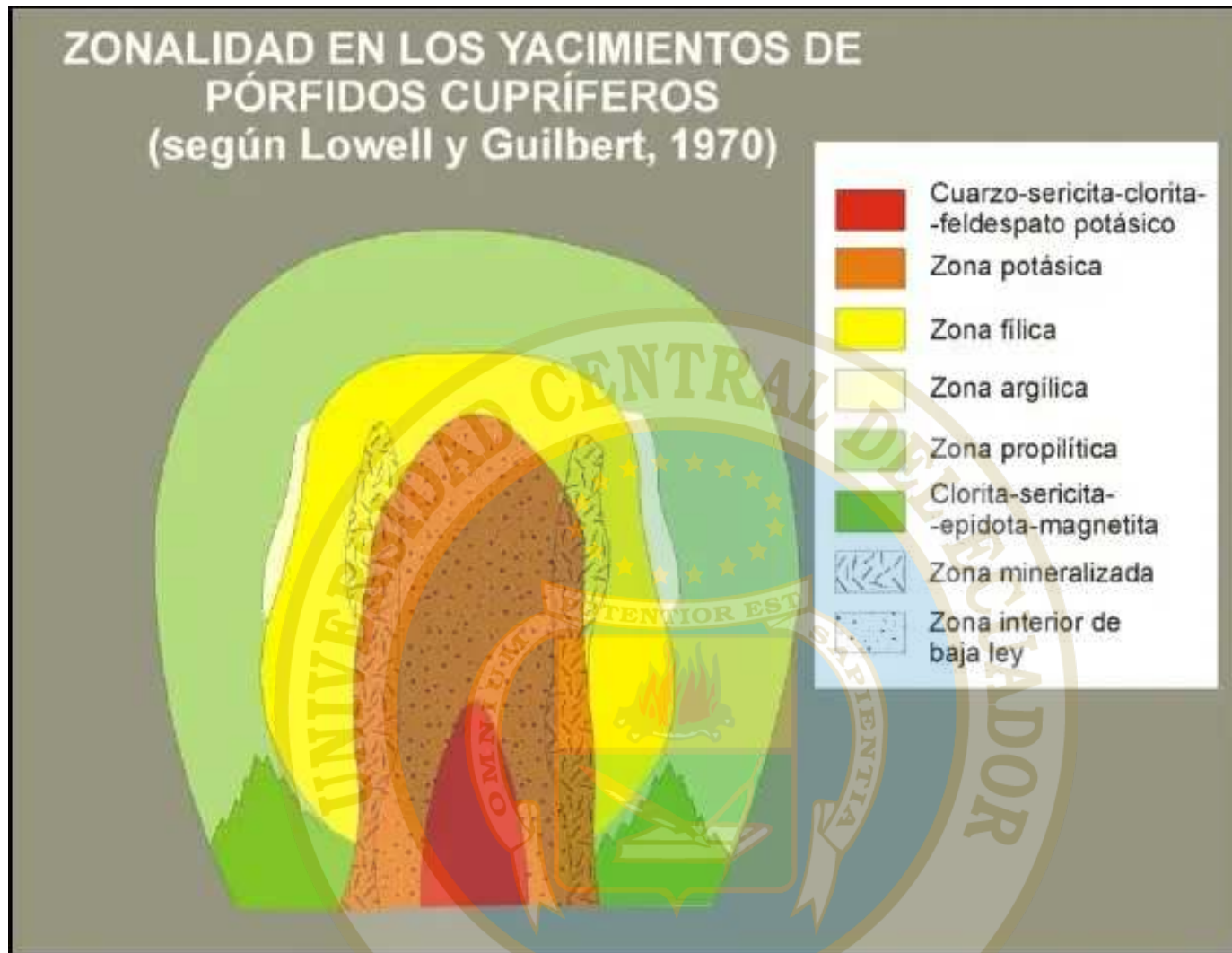


Fig. No. 52.- Zonalidad de los yacimientos de pórfidos cupríferos (según Lowell y Guilbert, 1.970)

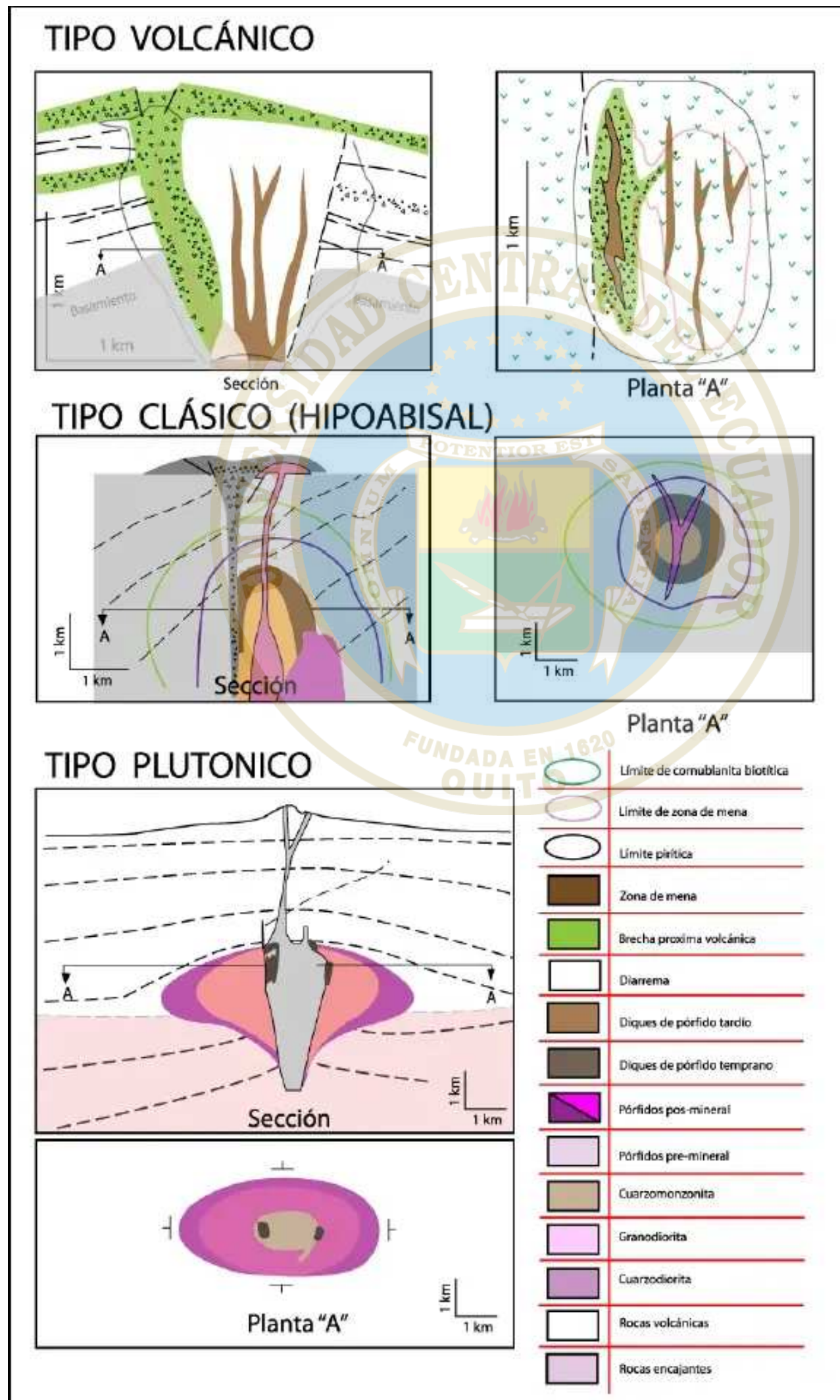


Fig. No. 53.- Modelo de los tres tipos de pórfidos de cobre (Sutherland Brown, 1.976). Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador. Depósitos porfíricos y eni mesotermiales relacionados con intrusiones

Para la evaluación industrial de los yacimientos cobre-porfíricos un gran significado tiene la zona de oxidación y sobre todo la formación de la zona de enriquecimiento de sulfuros. El esquema de un yacimiento de Cu-Mo alterado se presenta con las siguientes zonas de alteración (de arriba abajo): **1)** oxidación con una potencia de 10-30 m. algunas veces 100-200 m esta constituida de minerales de malaquita, azurita, cuprita, tenorita, crisocola, cobre nativo; **2)** lixiviación 20-25 m; **3)** enriquecimiento secundario de sulfuros con una potencia de algunas decenas hasta 100-200 m y más, esta constituida de calcocina, en parte covelina; el contenido de cobre crece 1.5-2.5 veces en comparación con la zona de menas primarias; **4)** zona de menas primarias con calcopirita, pirita y molibdenita.

La profundidad de formación de los yacimientos cobre porfíricos varía desde los primeros cientos de metros hasta 2-2.5 k., la temperatura de formación de la mineralización, en base al estudio de inclusiones fluidas de gases y líquidos es de 700-600°C., en las primeras estadías, hasta 100°C y menos en las finales, los sulfuros de cobre se forman a temperaturas de 350-250°C. Las inclusiones gaso-líquidas de las primeras estadías de mineralización contienen sales de composición clorítica, las últimas soluciones hidrotermales se enriquecen en ácido carbónico.

CINTURONES CUPRIFEROS

Los cinturones cupríferos en los Andes sudamericanos, están constituidos por largos y angostos cinturones, en los cuales existen yacimientos y distritos de yacimientos de cobre ubicados en las cordilleras Occidental y Oriental. Su origen esta relacionado al proceso de subducción (Fig. No. 54), ocurrido debido a la acción de las placas oceánicas que derivan de oeste a este y que, al chocar contra el continente sudamericano que se mueve en sentido contrario (de este a oeste), han originado a través del tiempo geológico arcos de islas volcánicos y arcos volcánicos continentales con los cuales se encuentran genéticamente relacionados la enorme cantidad de yacimientos de minerales característicos para el cinturón Andino (de oeste a este), Fe, Cu-Au, Cu-Mo, Pb-Zn, Au-Ag, Sn-W, entre los más importantes.

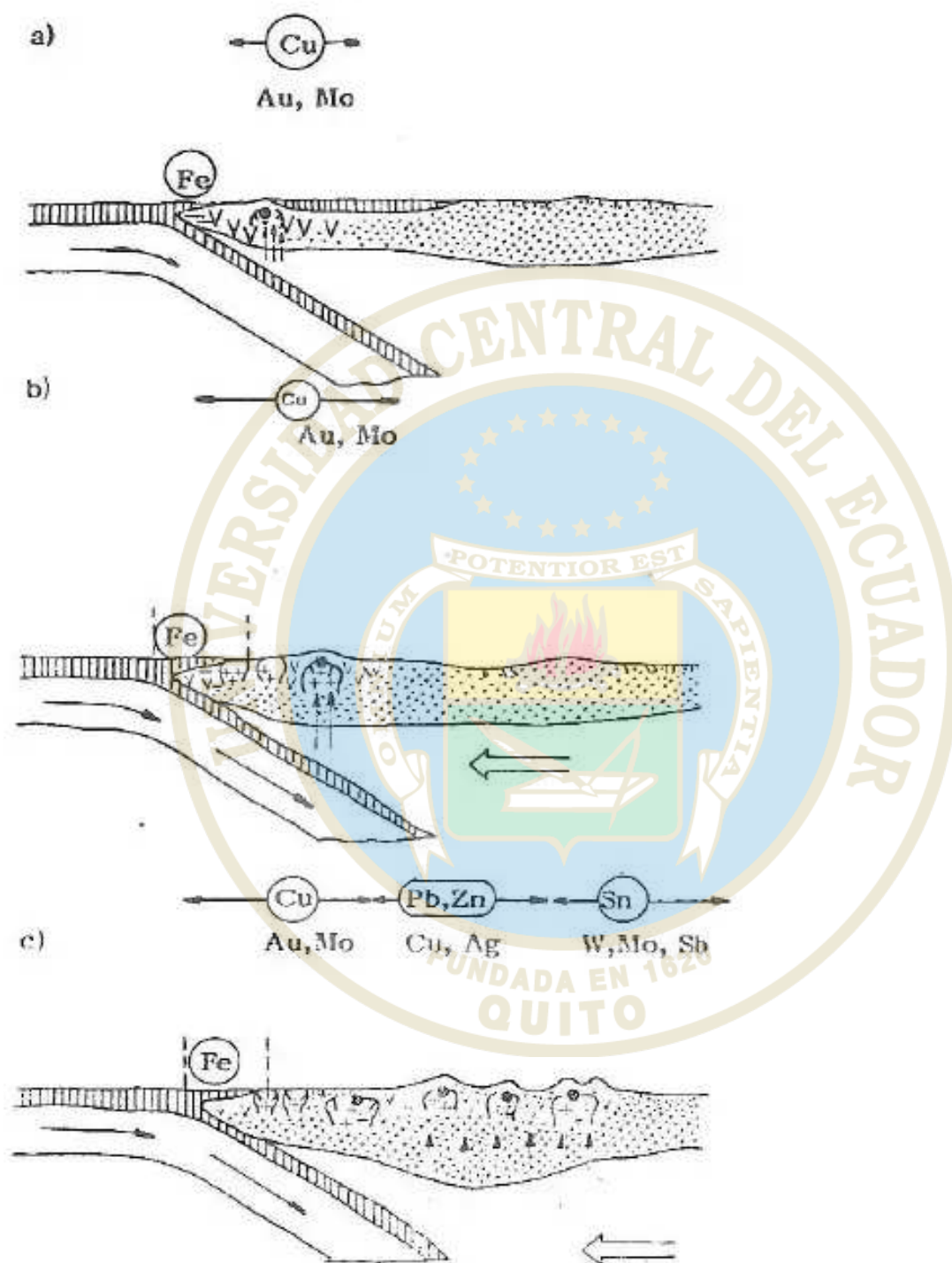


Fig. No.54.- Perfil esquemático y zonificación de la mineralización en los Andes Centrales (Sillitoe, 1.976)

Falta simbología

Para los Andes centrales, la migración del magmatismo y volcanismo ocurrió de oeste a este, de igual manera ocurrió la migración de los cinturones de Cu-Mo. Para los Andes nórdicos la migración del magmatismo y volcanismo, ocurre en sentido contrario (de este a oeste), esto debido a que para ellos es característica la acreción de terrenos al continente, fenómeno que está relacionado al proceso de subducción y al salto de la fosa oceánica hacia el oeste, a medida que ocurren los procesos acrecioneales. (Con los procesos acrecioneales en forma paralela ocurre la migración de los cinturones cupríferos), (Fig. No. 55).

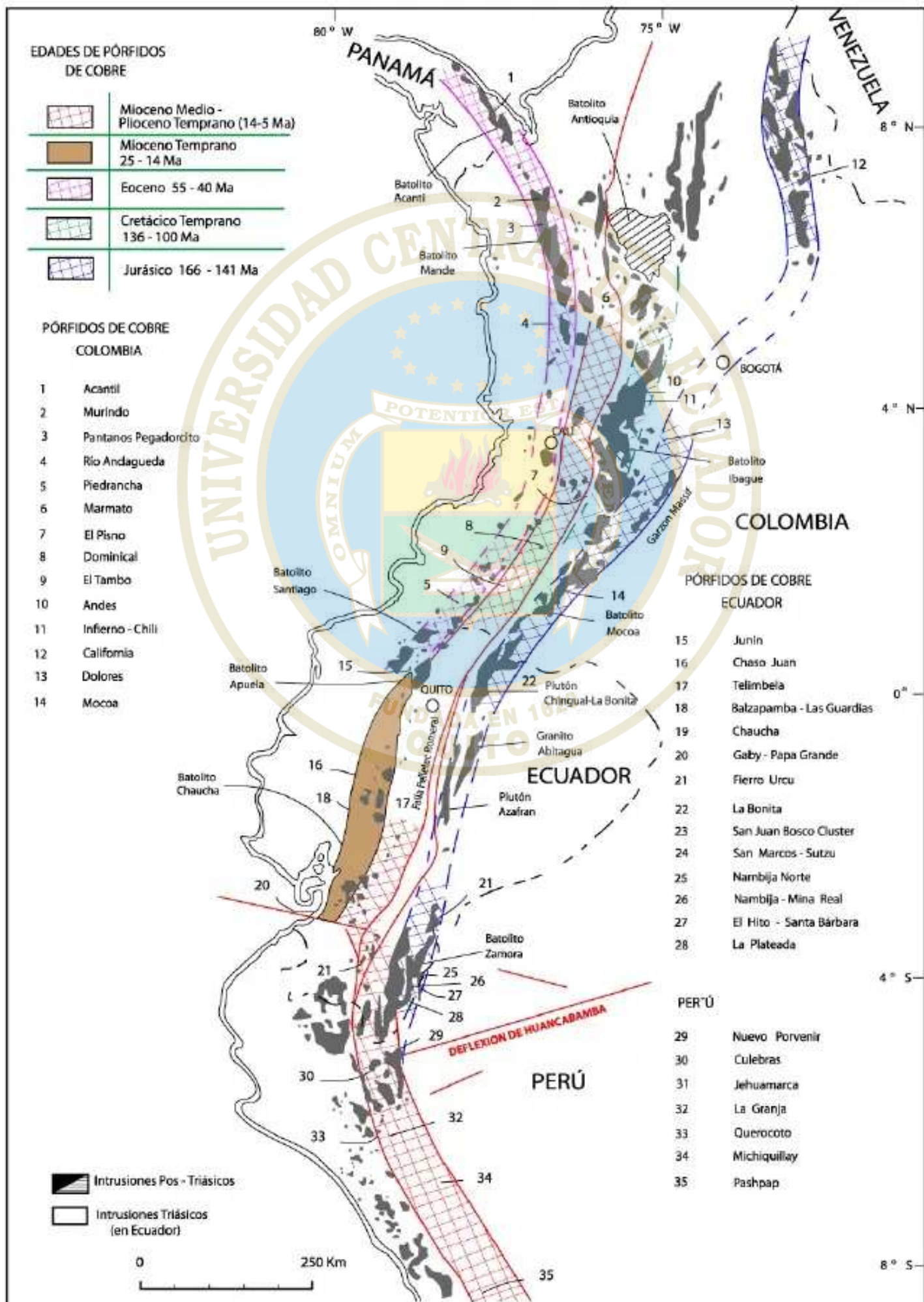


Fig. No. 55.- Subdivisión de los cinturones de pórfidos de cobre tomando en cuenta su edad en los Andes, desde el Perú septentrional hasta el mar Caribe (Compilación de varios autores). *Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de*

CINTURON CUPRIFERO OCCIDENTAL

La localización de los yacimientos de cobre-molibdeno, se disponen en largos y angostos cinturones localizados en la cordillera Occidental de los andes sudamericanos. La mineralización está genéticamente asociada a pequeños intrusivos de alto nivel -hipoabisales- de estructura porfídica y edades comprendidas entre el Paleoceno y Plioceno.

Esta provincia realmente forma parte de un enorme cinturón cuprífero que se extiende a lo largo de toda la costa occidental de América y del cinturón Circumpacífico. Los yacimientos de edad paleocénica, se ubican en una faja que comprende, la parte sur del Perú (Toquepala, Coajones) y norte de Chile, genéticamente están asociados a intrusiones tardías, tipo stocks y diques granodioríticos-dacíticos y son del tipo stockwork y chimenea. La mineralización está constituida de pirita, calcopirita, Au y mineralización polimetálica, Pb, Zn, Ag y sheelita

La faja más importante es la de edad Eoceno superior-Oligoceno, en ella encontramos yacimientos gigantes como Galapagos y La Estrella. Durante el Oligoceno y Mioceno el magmatismo se desplaza hacia el este, los pórfidos cupríferos más jóvenes, localizados en territorio argentino se encuentran desplazados 300 k. hacia el este. Entre los yacimientos jóvenes sobresale El Teniente (Plioceno), en el cual la mineralización se distribuye en la periferia de una chimenea volcánica constituida de andesitas, intruidas por un complejo granodiorítico-dacítico.

Dentro del cinturón cuprífero occidental en el Ecuador se localizan los yacimientos de Gaby, Chaucha y Junín y los prospectos (de sur a norte): Los Linderos, Río Playas, El Huato, Fierro Urco, Telimbela, Chazo Juan, Balzapamba y El Torneado, los cuales en conjunto forman el cinturón cuprífero (Cu-Mo) occidental de edad Miocénica (Fig. No. 56).

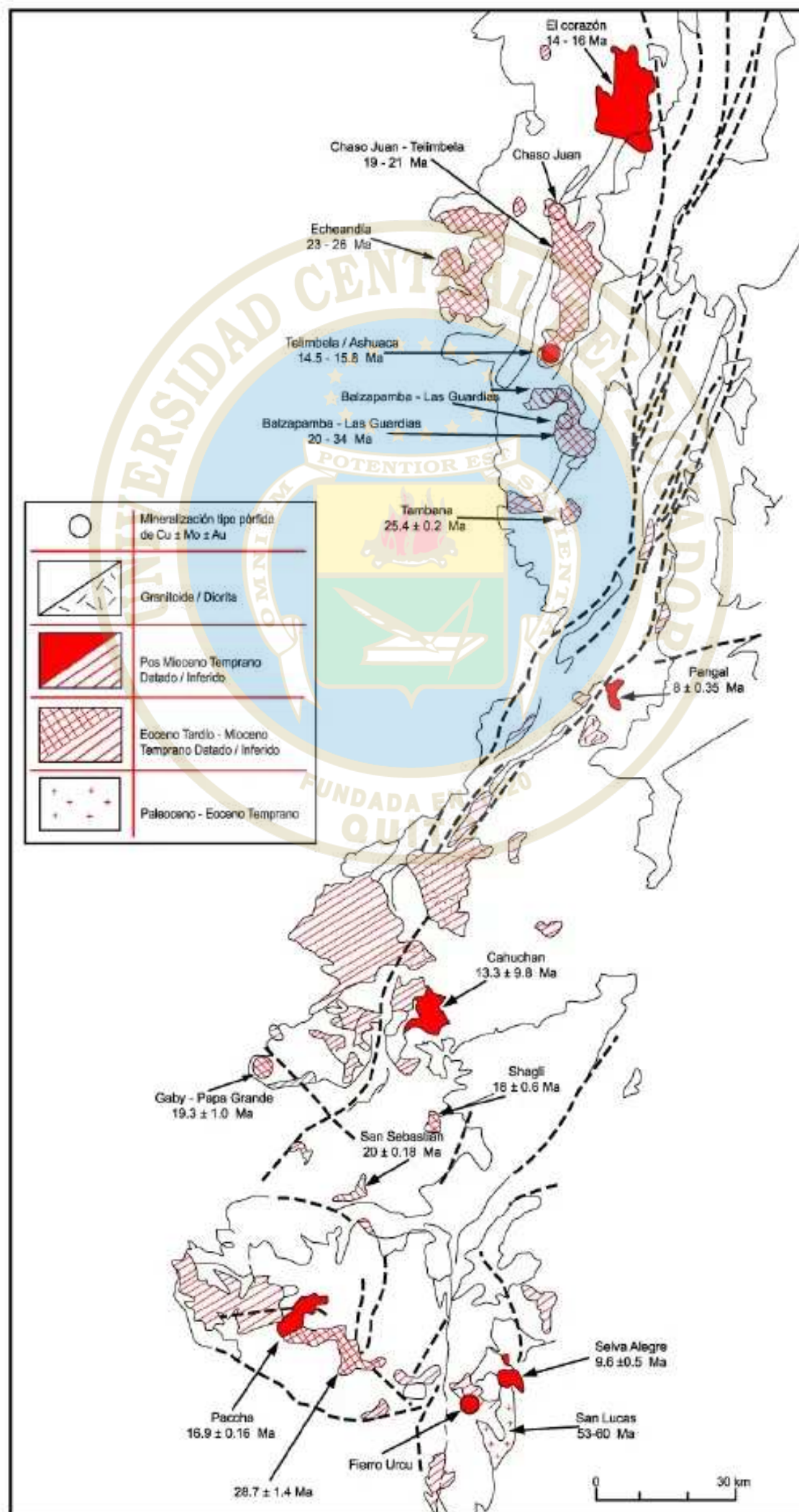


Fig. No. 56.- Edades de los granitoides de la cordillera Occidental. Fuente: Evaluación de Distritos

YACIMIENTO DE GABY

El depósito de Gaby está localizado al sur de la cordillera Occidental. Se sitúa en un complejo de brechas intrusivas de edad terciaria, localizadas en el centro de una estructura circular de 2 k. de diámetro, posible remanente de un cono volcánico. El complejo fue emplazado en un área cizallada y fracturada dentro de un basalto toleítico de edad cretácica perteneciente a la formación Macuchi. El complejo de brecha, está constituido al menos de seis tipos de rocas y varios tipos de brechas. Una zona de 1 km² de alteración consiste de un anillo externo de pirita y un núcleo potásico rico en biotita, sericita y feldespatos de potasio secundario. (Gemuts I, López G, Jiménez F, 1.992).

Según estos autores en Gaby la disseminación de cobre, oro y molibdeno ocurre de dos formas diferentes:

En una brecha diorítica porfídica hornblendica (brecha Santa Mónica) la cual forma una zona brechada de dirección NNW y está constituida de fragmentos de pórfidos hornblendicos en una matriz sulfuro-silícea-sericitica. Los fragmentos están hornblendizados y turmalinizados. Los minerales principales son la pirita, calopirita y molibdenita con oro fino en la matriz y dentro de la pirita. Los fragmentos de pórfido contienen finas vetillas de cuarzo paralelas y la zona de brecha tiene una dirección NW, está constituida de fragmentos de dioritas hornblendicas alteradas en una matriz con adularia-turmalina-pirita y está cortada por vetillas de cuarzo turmalinado. La adularia forma círculos y está reemplazando a las plagioclasas dentro de los fragmentos.

En las brechas Santa Mónica se ha realizado ocho perforaciones. Todas las perforaciones han interceptado intervalos con oro, el mayor de los cuales corta 46 m de roca con 3.91 g/t Au, 0.38% Cu y 0.04% Mo. El promedio de estos metales en todas las perforaciones es: 3g/t Au, 0.30% Cu, 0.03% Mo.

El complejo de brechas Gaby podría estar localizado sobre un sistema porfirítico, además en la zona periférica de Gaby se localizan las minas de Bella Rica y otras, que en conjunto forman un solo sistema (Fig. No. 57).

Otros proyectos similares con brechas de “alto nivel” han sido descubiertas en esta zona: como PIJILI localizado 6 k. al norte de Gaby, MIRADOR 10 k. al SE, LA TIGRERA 20 k. al SE, PUCARA al SE, más al sur se descubrieron LA PLAYA Y CERRO PELADO.

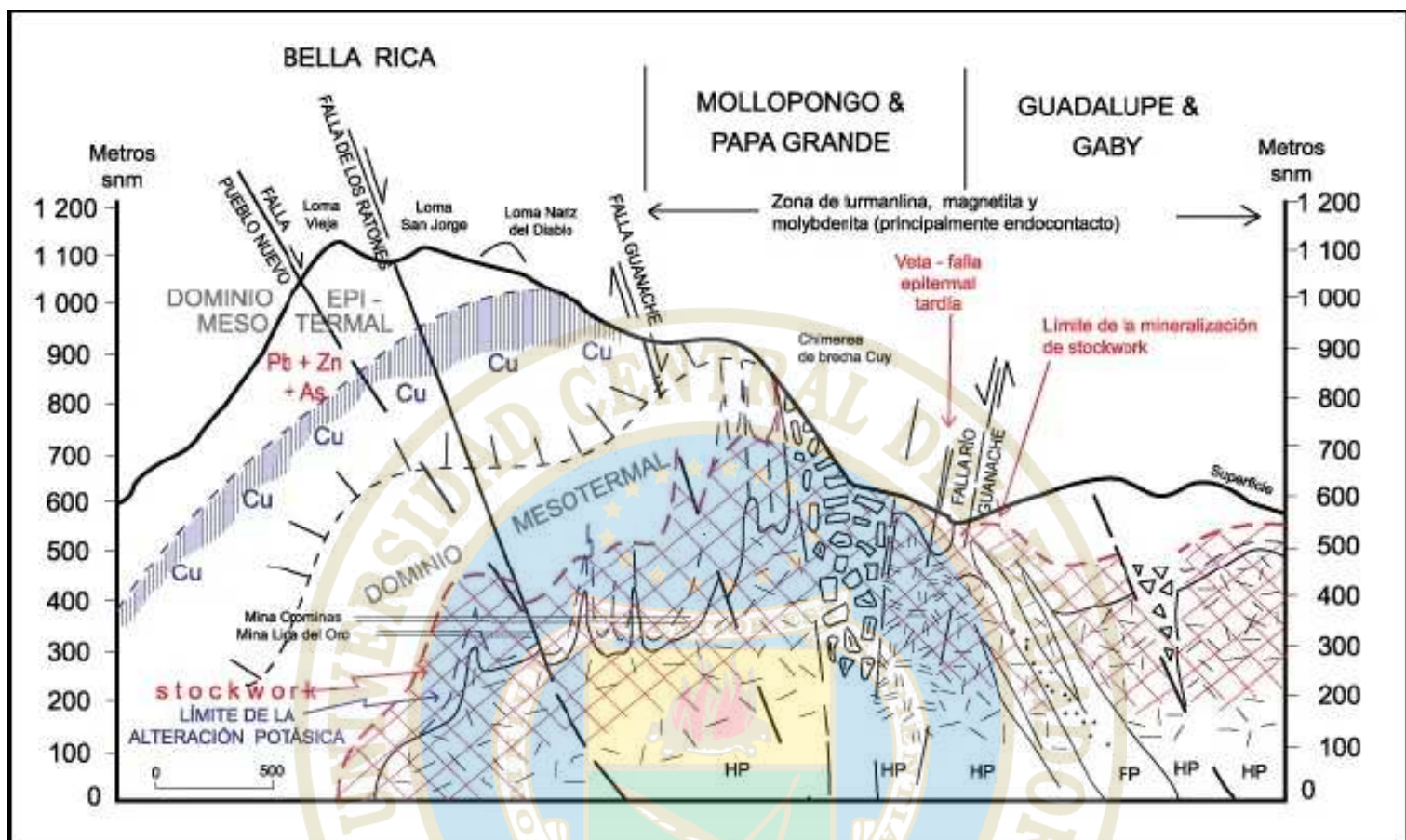


Fig. No. 57.- Síntesis en sección del sistema porfídico de Gaby-Papa Grande mostrando en forma esquemática la relación con la mineralización de Bella Rica, Campo Mineral Ponce Enríquez. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones de la cordillera del Cóndor (Vol. 4 PRODEMINCA, junio 2.000).

YACIMIENTO DE CHAUCHA

En la zona de CHAUCHA, la mineralización está asociada a un pórfido cuarcífero de edad miocénica, que es el portador de la mineralización y a un intrusivo tonalítico que constituye la roca encajante. El cuerpo mineralizado más importante se localiza dentro de una zona de alteración cuarzo-cericítica y en la zona de transición sericítica-propilítica (Fig. No. 58).

Un corte del área mineralizada está representado por las siguientes zonas:

a. Una zona oxidada y lixiviada con una profundidad promedio de 30 a 40m., la concentración de Cu aquí es pequeña; los minerales característicos son el cobre nativo y la tenorita. La pirita y calcopirita están completamente limonitizadas y la magnetita transformada en hematita.

b. Bajo la zona de oxidación yace la zona de enriquecimiento secundario de sulfuros. Esta zona es la más importante económicamente. En ella se localiza el cuerpo mineralizado más grande con una extensión de 900 m en dirección NE y un ancho de 500 m, la mineralización ocurrió más fuerte hacia el NE, disminuyendo hacia el SO, la potencia media del cuerpo mineralizado es de 60m., en su parte central alcanza 100 m, los minerales característicos de esta zona son la calcosina, la covelina y la bornita.

III, los minerales característicos de esta zona son la calcosina, la covellina y la bornita, la ley de las menas varía de 0.6 a 1.5% de Cu y 0.03% de Mo.

c. Bajo la zona enriquecida sigue una zona transicional ligeramente enriquecida de 50 a 70 m de espesor, la cual a mayor profundidad cambia gradualmente a la zona de menas primarias. Los minerales primarios consisten principalmente de pirita, calcopirita, en menor cantidad de molibdenita; la ley de las menas es de 0.2 a 0.3% de Cu.

La mineralización ha sido controlada por dos sistemas de fracturas NO-SE y NE-SO. Estos sistemas de fracturas, que se mapean en la tonalita, dieron primero paso al pórfido cuarcífero y luego al fluido hidrotermal.

El yacimiento de Chaucha es de origen hidrotermal de temperatura media; la mineralización es de edad Post-miocénica.

En la zona periférica de Chaucha se han localizado algunos tubos de brecha con sulfuros y oro, los cuales fueron investigados por la misión Belga en la década de los 80, con el objeto de incrementar las reservas. El volumen de reservas de Chaucha es de 74 millones de toneladas con una ley de 0.7% de Cu y 0.03% de Mo.

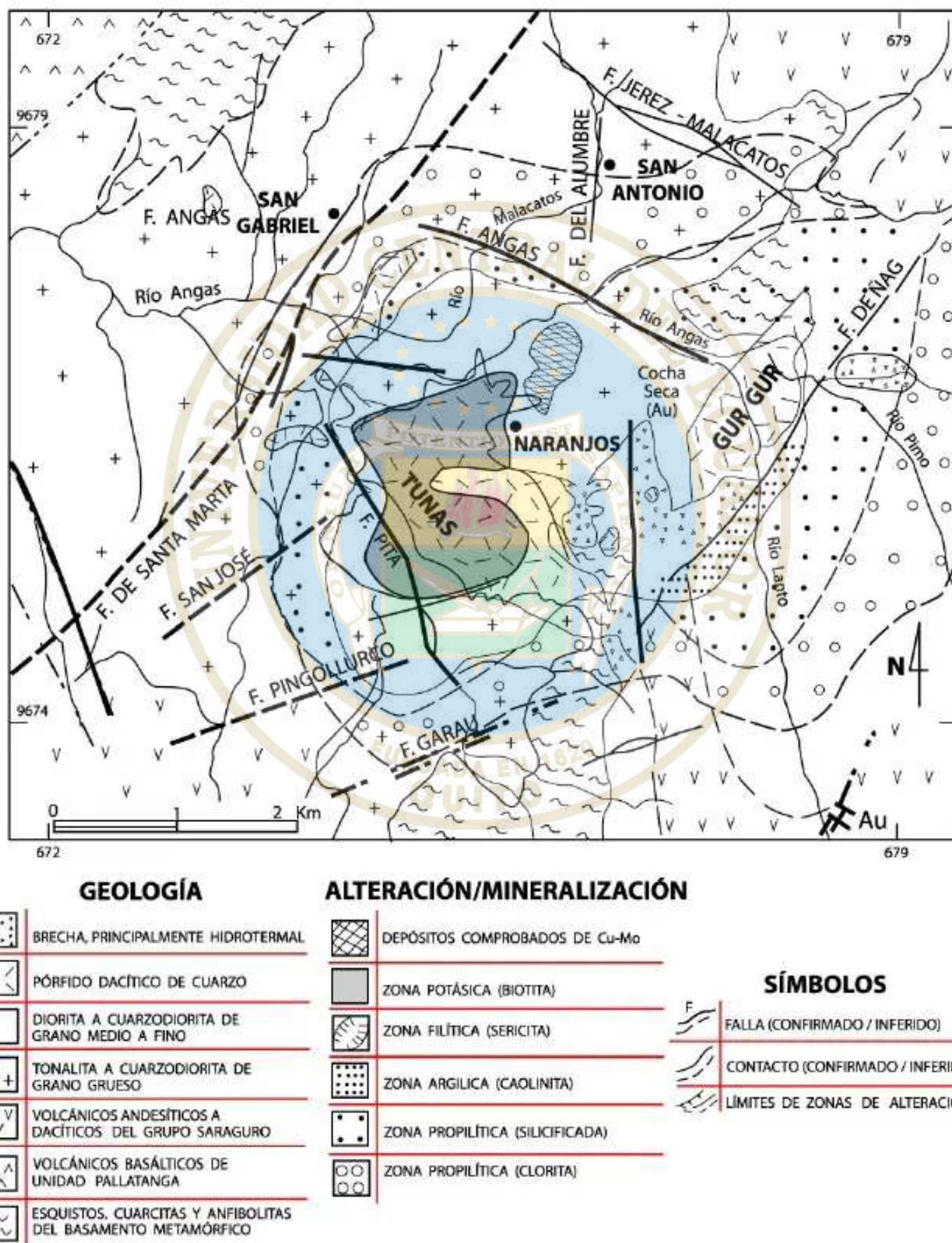


Fig. No. 58.- Mapa del sistema porfídico de Chaucha, Campo Mineral Molleturo (basados en los mapas de López et al. 1.983 y de la Ecuadorian Minerals Corporation 1.995). Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera del Cóndor (Vol. 4 PRODEMINCA, junio 2.000.)

En el área de Junín localizada en la provincia de Imbabura un pórfido cuarcífero y un sistema de diques (6-11 m.a. método K-Ar) cortan al gran batolito granodiorítico de Apuela (13-15 m.a.) el que a su vez intruye a la formación Macuchi, la cual está constituida por rocas volcánicas de composición andesito-basálticas, típicas de un arco de islas (arco Macuchi).

En base a las perforaciones realizadas en el área (misión Japonesa 1.994) dos tipos principales de mineralización han sido reconocidos: minerales de cobre y molibdeno diseminado dentro de rocas graníticas y minerales de cobre y plata en vetas dentro de rocas graníticas.

En el río Junín y la quebrada Fortuna se observa mineralización diseminada de bornita, calcopirita, pirita y molibdenita. El cuerpo mineralizado principal tiene 600 m de largo; 200 m de ancho y 200 m de potencia, lo que evidencia un potencial de 72 millones de toneladas de mineral con un contenido de 1% de cobre, la mineralización crece en sentido noroeste.

Alrededor del cuerpo mineralizado principal se ha descubierto mineralización de tipo filoniano, en las quebradas Limonita, Crisocola, Rica, Cristal y Esperanza. Los filones descubiertos tienen un largo que varía desde 50-140 y 1.000 m y una potencia media de 1.20 m, el contenido promedio de las vetas es de 15% de cobre y 15g/t de plata.

El Proyecto de Junín corresponde a un modelo clásico del tipo "cobre-porfídico" con mineralización de cobre y molibdeno diseminada en el núcleo y vetas con sulfuros en la zona periférica. La exploración en el área Junín continúa en la actualidad (Fig. No. 59-60).

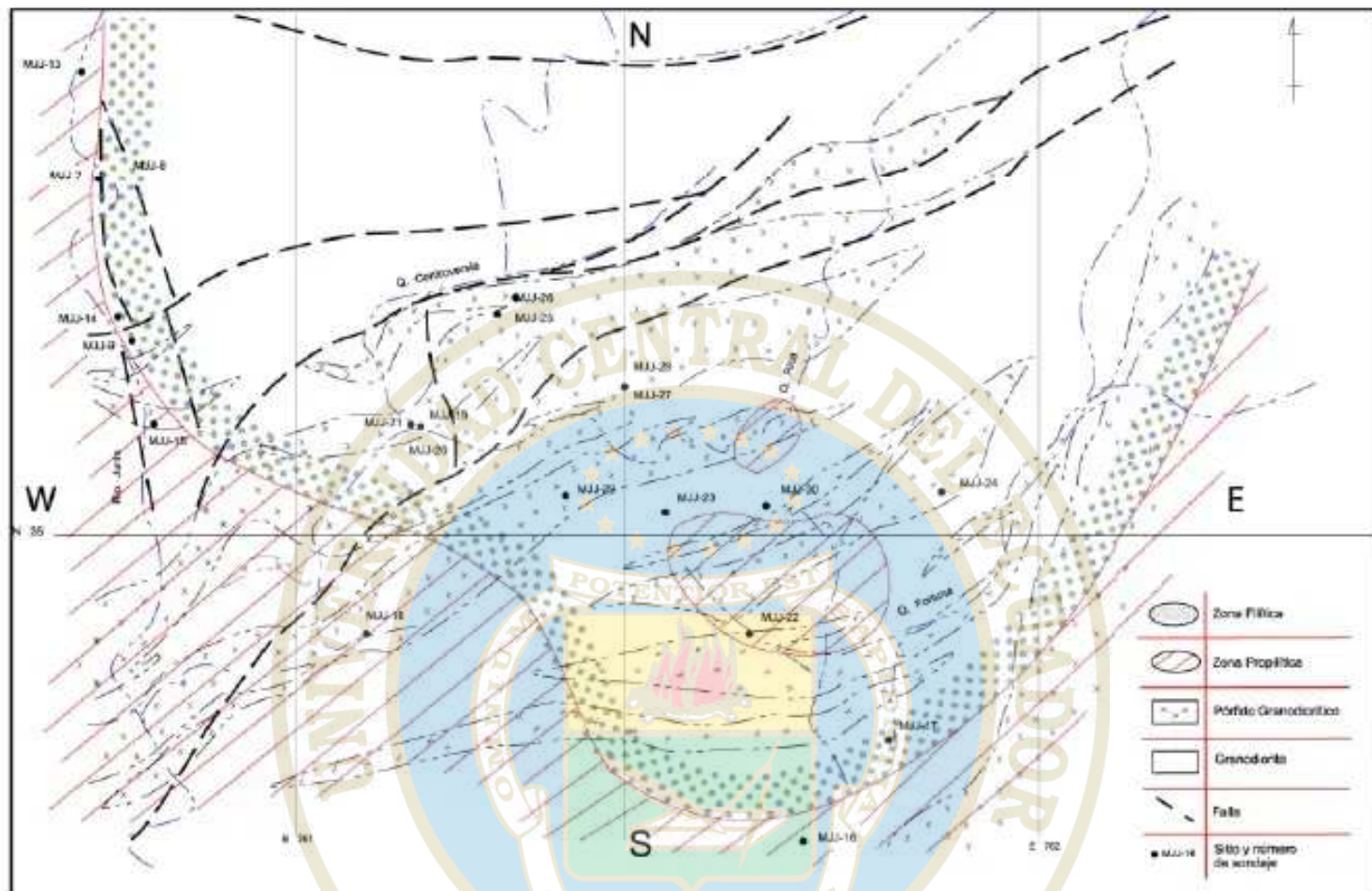
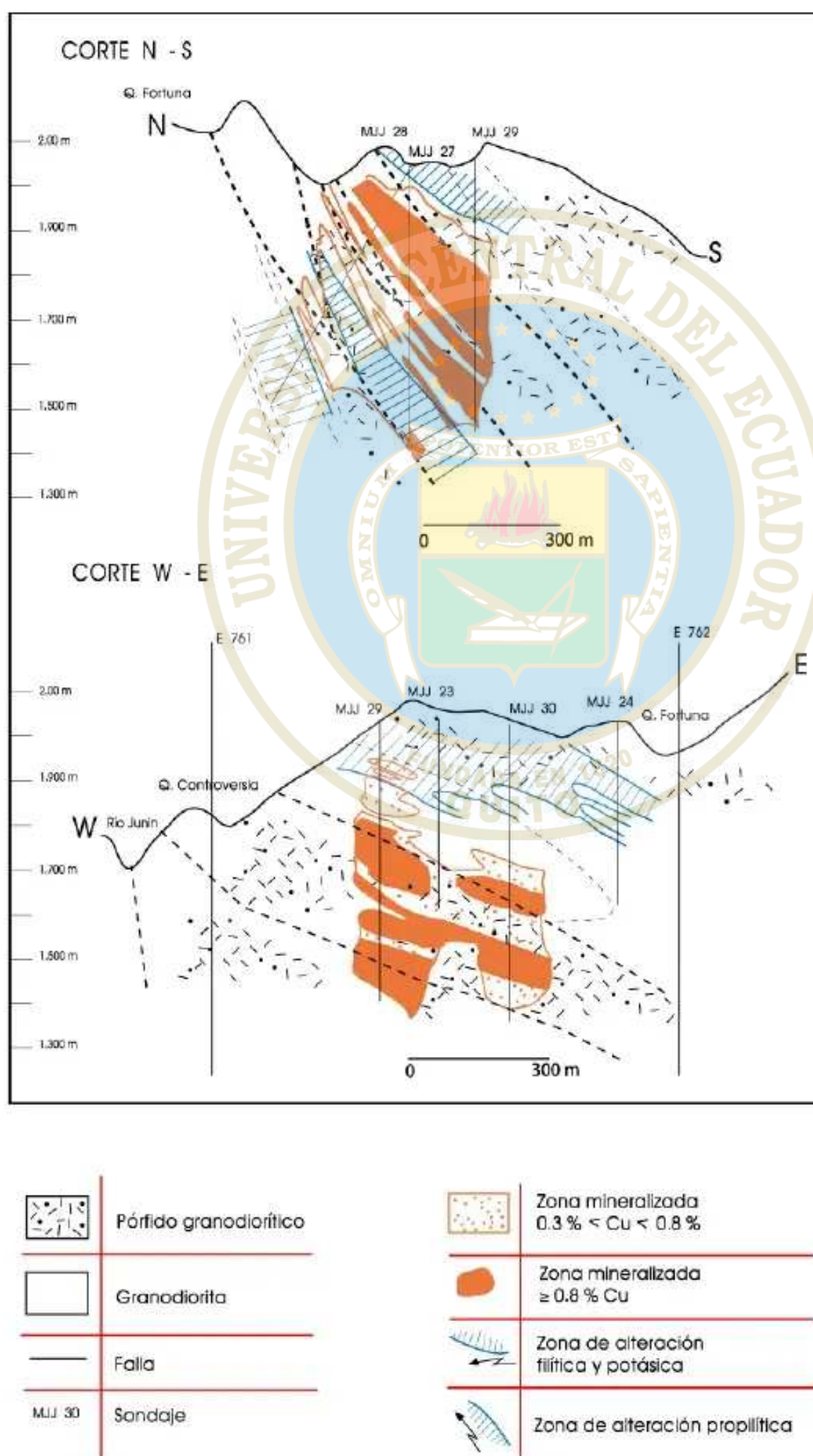


Fig. No. 59.- Mapa geológico y de alteración del sistema porfidico Cu-Mo de Junín. Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Depósitos porfidicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera del Cóndor (Vol. 4 PRODEMINCA, junio 2000).



CINTURON CUPRIFERO ORIENTAL

En el primer mapa Metalogénico del Ecuador (Paladines, A. Sanmartín, H.), publicado en 1980, se recomienda al bloque sur oriental del Ecuador, como una de las regiones con mayores posibilidades para realizar la búsqueda de yacimientos de minerales en el país. En el texto del folleto que acompaña al mapa, se hace un pronóstico científico indicando que los yacimientos auríferos que se encuentre en esa región deberán ser del tipo skarn. En el año 1.980 se redescubrieron los yacimientos auríferos del sur oriente, posteriormente cuando se hace el estudio de las estadías de mineralización del mismo (Paladines, M. 1.988), se demuestra que estos yacimientos se formaron en tres estadías de mineralización: 1) piroxeno-granática; 2) cuarzo-sulfuro-clorítica; y 3) cuarzo-carbonática; demostrándose que eran del tipo skarn.

Las predicciones científicas también se cumplieron en la búsqueda de yacimientos de minerales. A partir de la década de 1.980, luego del descubrimiento de los enormes yacimientos epitermales de alta sulfuración H.S. de Yanacocha y Pierina, localizados en la zona de Huancabamba, en la república del Perú, 10 de las empresas mineras más grandes del mundo, se volcaron a buscar este tipo de yacimientos en la región sur del Ecuador. La búsqueda la orientaron fundamentalmente a yacimientos de oro, cobre-molibdeno y polimetálicos.

Los resultados obtenidos con el descubrimiento de nuevos cinturones de oro-plata y de cobre-molibdeno, ubicados en el flanco occidental de la cordillera de El Cóndor (genéticamente relacionados a un arco volcánico continental de edad Jurásica), son conocidos mundialmente. Entre los yacimientos más importantes del tipo cobre-porfídico, genéticamente relacionados a intrusivos hipoabisales dentro de este cinturón tenemos: Mirador, Mirador Norte, San Carlos, Panantza, El Hito, así como algunos prospectos de interés, los cuales en conjunto forman el cinturón cuprífero Jurásico del sur oriente.

YACIMIENTO DE MIRADOR

El yacimiento Mirador se encuentra ubicado 340 k. al sur de Quito, en la provincia de Zamora-Chinchipe, al sur este de la cordillera de El Cóndor (Fig. No. 61). El yacimiento fue descubierto con métodos geoquímicos y visuales, paralelamente se descubrieron los depósitos de Mirador Norte, San Carlos y Panantza, los cuales en conjunto tienen un volumen de reservas del orden de 2.000 millones de toneladas, con un contenido de cobre del orden del 0.7%, oro 0.19 g/t, plata y molibdeno, que en total dan 26 millones de libras de Cu, 5.5 millones de onzas de Au y 30.6 millones de onzas de Ag.



Fig. No. 61.- Ubicación del yacimiento Mirador

La mineralización es simple, esta constituida de calcopirita y calcosina, las menas se formaron en tres etapas de mineralización: 1) constituida por brechas, diques porfiditicos y vetas de cuarzo tempranas con molibdenita, 2) sulfuros de cobre, calcopirita, calcosina con oro tempranas; y, 3) sulfuros de cobre con oro y plata tardíos. Además el yacimiento se encuentra atravesado por diques y pórfidos postmineralización (Fig. No. 62 y 63).

Sección este - oeste

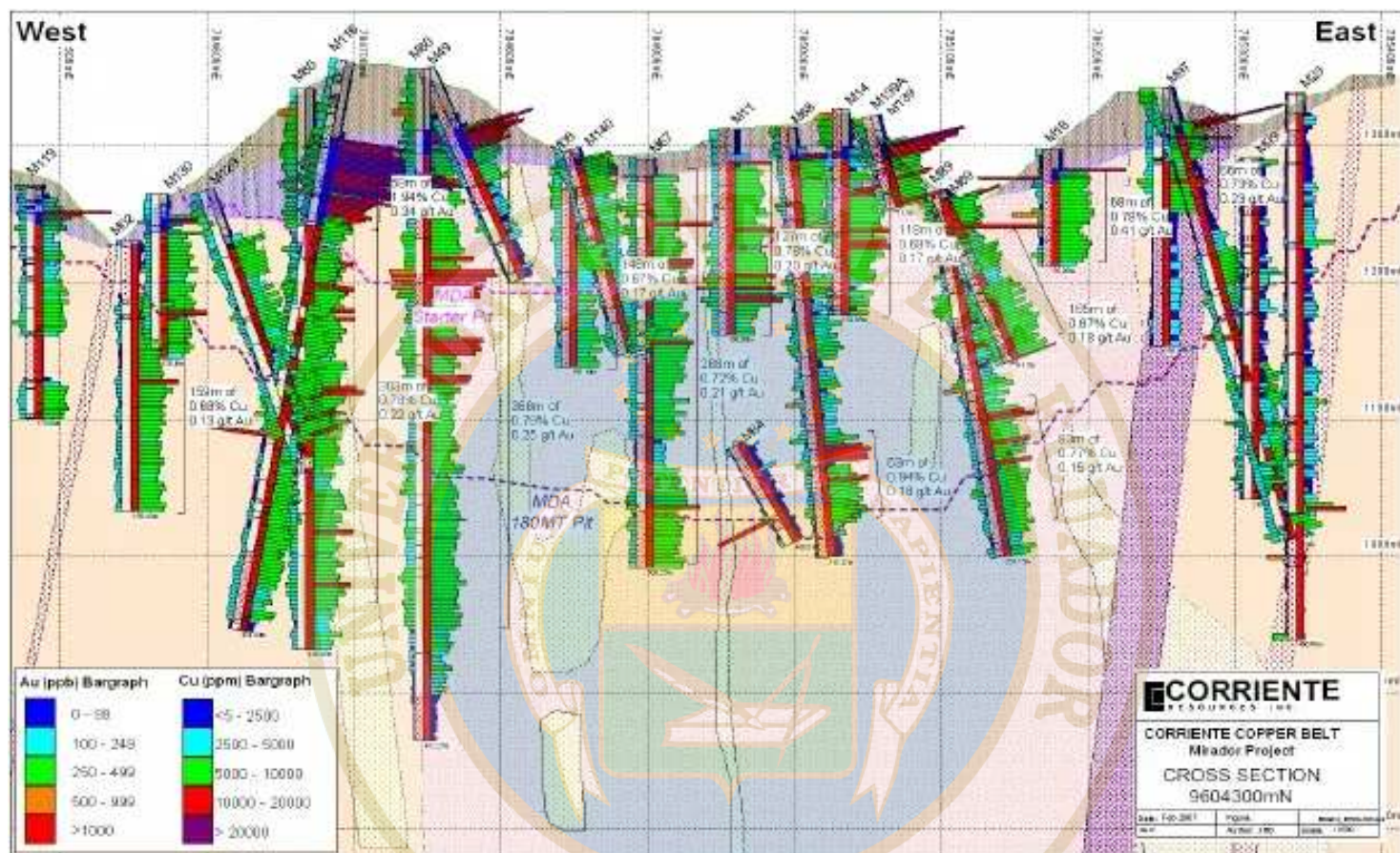


Fig. No. 62.- corte geológico E-W, en el que se indica los contenidos de mineralización

Sección norte-sur

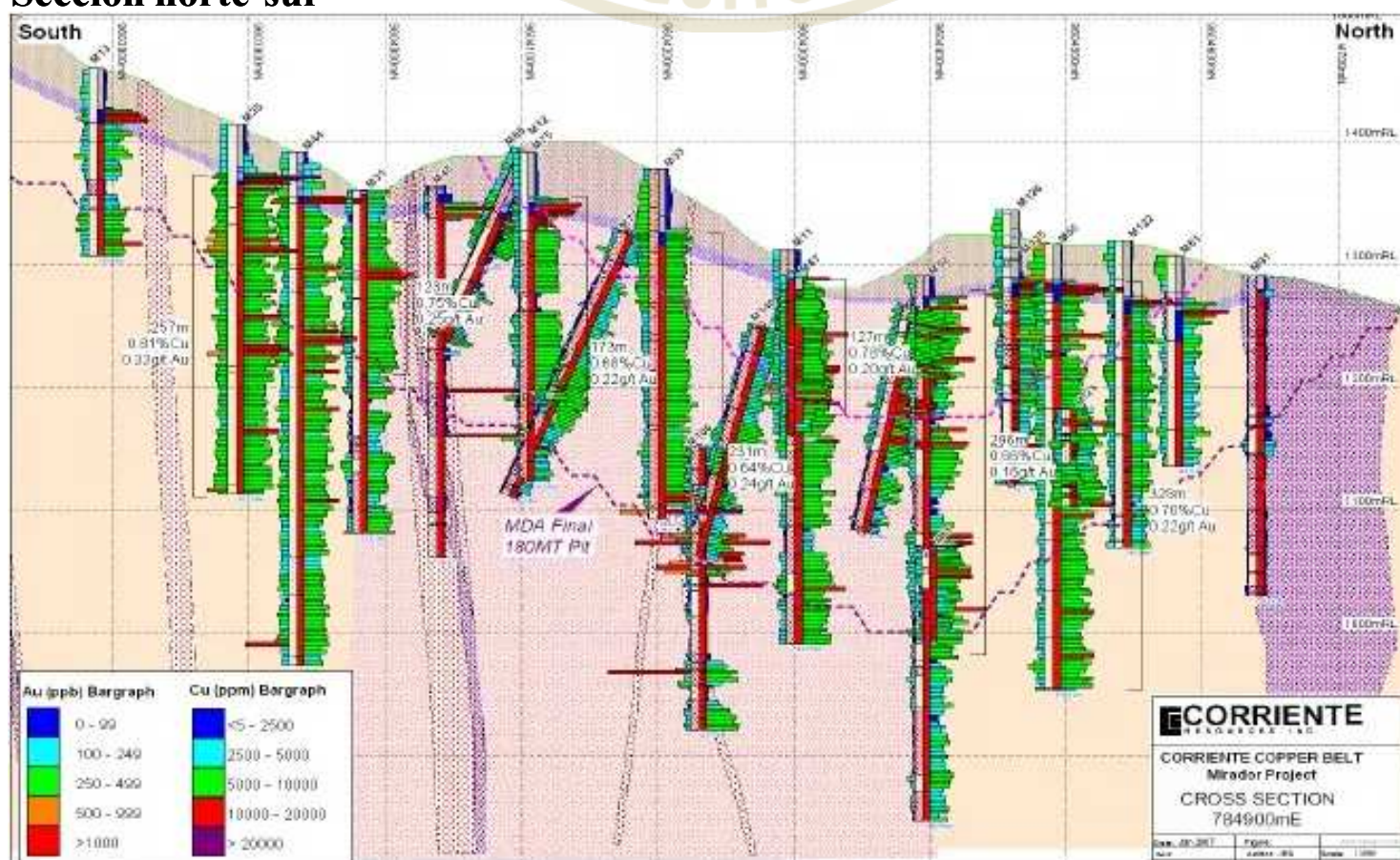


Fig. No. 63.- corte geológico N-S, en el que se indica los contenidos de mineralización

Dentro del yacimiento la mineralización presenta zonación, para el bloque sur la mineralización de cobre va acompañada de oro, para el bloque norte de molibdeno. En el área que comprende el yacimiento, se realizó la perforación de 143 pozos, con un total de 37.000 m. En los cortes del yacimiento E-O y N-S, se puede ver que la zona de oxidación (propilitica), así como la de enriquecimiento secundario de sulfuros (cuarzo cericitica) son poco difundidas y alcanzan una potencia muy pequeña, la mineralización más importante está relacionada a la zona de alteración potásica y esta constituida mayormente de calcopirita.

Las reservas probadas+probables (medidas+indicadas), son de 438 millones de toneladas, con un contenido de 0.61% Cu y 0.19 g/t Au; las reservas posibles (inferidas) son de 235 m.t. con 0.52% Cu y 0.17 g/t Au, la ley de corte es de 0.4% Cu. En total del yacimiento Mirador se obtendrán 8.6 millones de libras de cobre, 4 millones de onzas de oro y 30 millones de onzas de plata (Fig. No. 64).

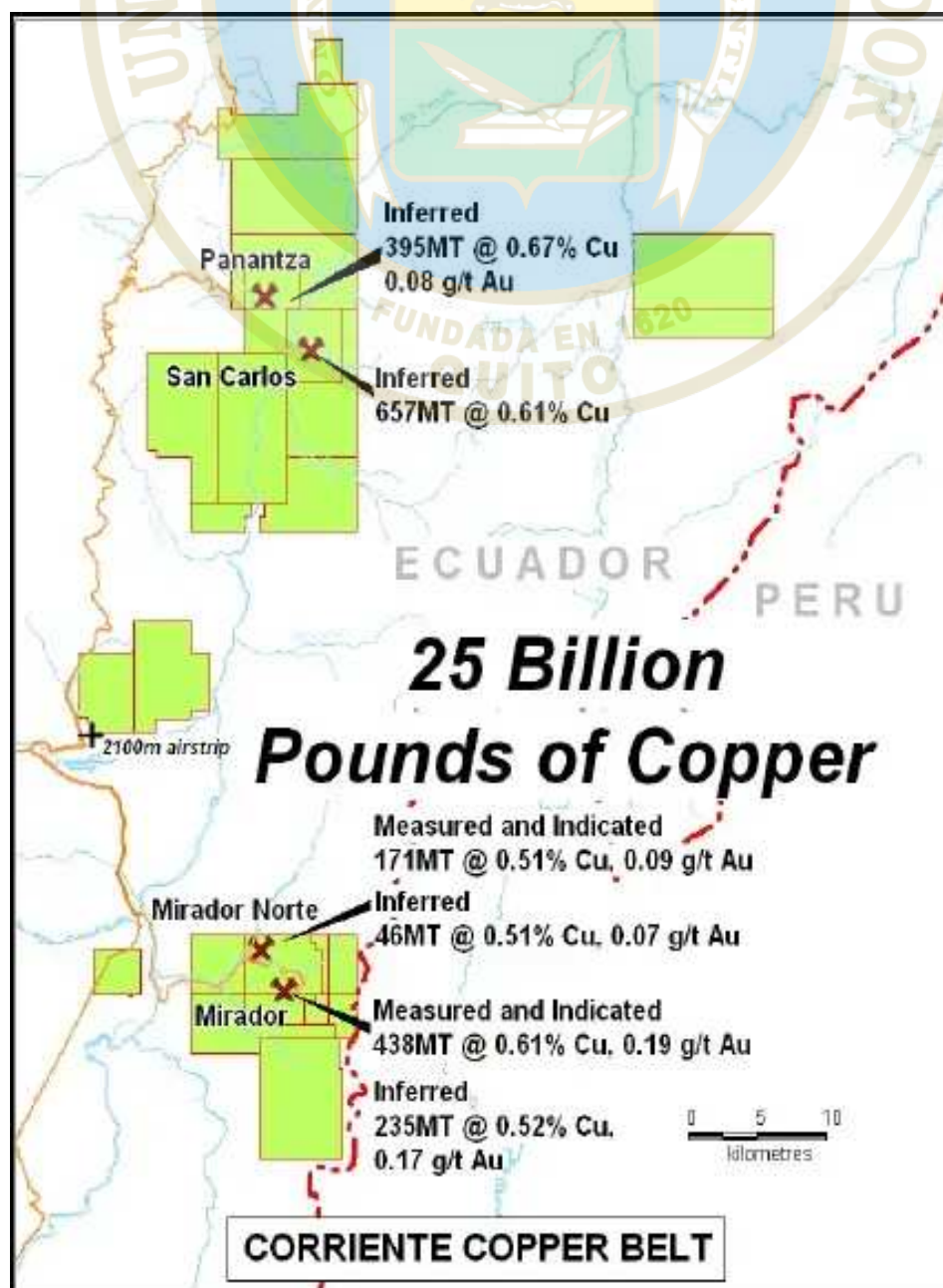
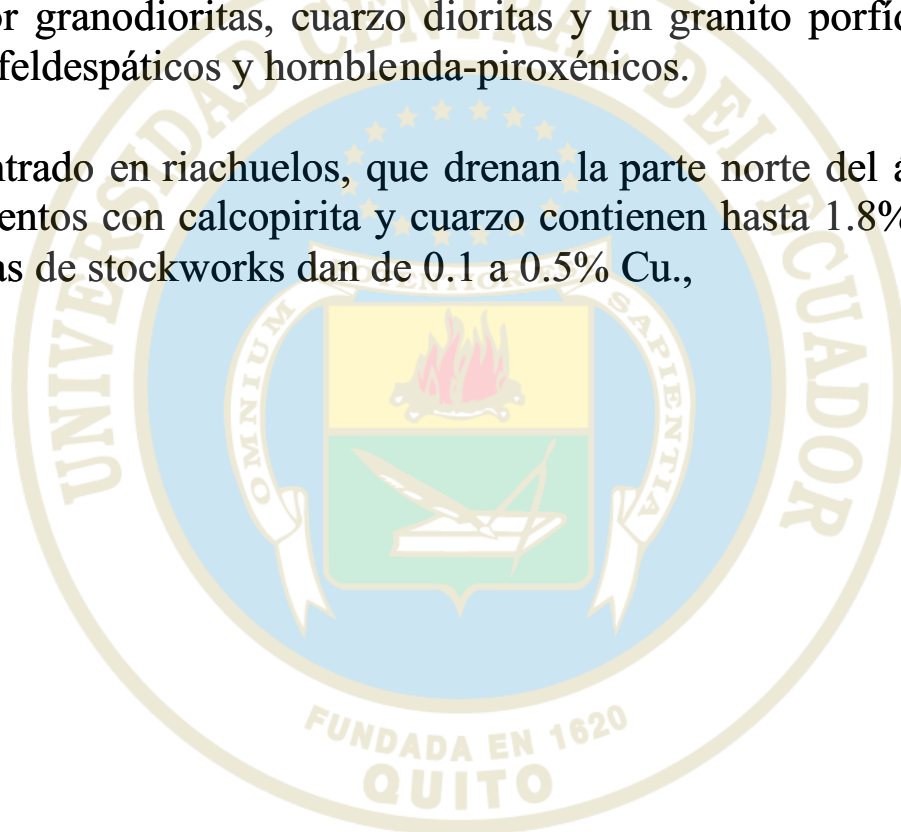


Fig. No. 64. Reservas del cinturón cuprífero Corrientes

YACIMIENTO DE EL HITO

El prospecto EL HITO se localiza 5 k. al sur de Chinapintza. Se trata de un pórfido cuprífero con oro localizado en un granito de edad jurásica. El prospecto cubre una superficie de 2 km². El núcleo presenta una alteración cuarzo-sericítica, cubierta por un halo externo propilítico característico para este tipo de depósitos. Sin embargo no presenta una zona de enriquecimiento supergénico. Las rocas encajantes están representadas por granodioritas, cuarzo dioritas y un granito porfídico intruidos por pórfidos cuarzo-feldespáticos y hornblenda-piroxénicos.

El oro fue encontrado en riachuelos, que drenan la parte norte del área. Muestras de roca de afloramientos con calcopirita y cuarzo contienen hasta 1.8% Cu y análisis de muestras de zonas de stockworks dan de 0.1 a 0.5% Cu.,



CAPÍTULO X

ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

El sector minero, es posiblemente el menos conocido de la economía nacional, sin embargo, es el sector que presenta las mejores posibilidades de desarrollo a corto, mediano y largo plazo y, por lo tanto su incidencia podría ser determinante en la economía del país. Por datos del Banco Central del Ecuador se conoce que de los 32 sectores más importantes de la economía nacional, solo uno no precisa de insumos mineros (alquiler de vivienda), mientras que los 31 sectores restantes los requieren, ya sea en forma de materia prima o como productos semielaborados y elaborados.

Así mismo el sector minero está considerado como uno de los sectores de la economía, que tienen el efecto multiplicador más alto en la generación de ocupación de puestos de trabajo. Está comprobado, que en una empresa bien organizada que dependa del abastecimiento de materias primas minerales (fábrica de cemento o de abonos), por cada obrero que labora en una cantera explotando calizas o fosforitas con ayuda de un tractor, diez obreros trabajan en las fábricas produciendo cemento o abonos, cien personas trabajan en la comercialización y distribución de estos insumos y mil en la construcción de obras de infraestructura, en la agricultura, la industria y el transporte.

En nuestro país existen grandes reservas de rocas y minerales industriales RMI, se trata de materias primas minerales que se utilizan para producir diferentes tipos de cemento, paneles alivianados para la vivienda y rígidos para la cubierta de vías de comunicación, vidrio plano y derivados, diferentes tipos de cerámica, rocas ornamentales y mármol, abonos fosfatados, potásicos y nitrogenados, zeolitas y

aditivos para mejorar los suelos.

Sobre esta base de RMI existentes en el país, es necesario impulsar una política minera orientada a fortalecer los sectores básicos de la economía nacional: construcción, vialidad, agrícola, pecuario, forestal y otros.

Las RMI, en forma acertada han sido denominadas, los recursos minerales del tercer milenio, se prevé que ha mediano plazo representarán más del 40% de la producción mundial de materias primas minerales. En la hermana República de Venezuela existe el Ministerio de Industrias Básicas y de la Minería, para Venezuela la industria básica es la del acero, aluminio, diamantes, etc. etc., para nuestro país la industria básica debe ser la del cemento, vidrio, abonos, cerámica, materiales de construcción, insumos con los que se construye la infraestructura de un país, por este motivo el

actual gobierno declaró a las RMI, minerales estratégicos para el desarrollo del país, por la propiedad que tienen de generar proyectos de enorme rentabilidad social y económica, huelga decir que en el Ecuador en los últimos 10 años, el gasto realizado

en la importación de insumos mineros ha sido hasta 50 veces mayor que el correspondiente a exportaciones.

En la actualidad estamos siendo testigos del desmoronamiento del sistema Capitalista, el modelo Neoliberal no funciona, las consecuencias de esta realidad se comienzan a sentir en nuestro país, la recesión a nivel mundial se hace evidente en la baja de los precios del petróleo, así como los del cobre, molibdeno, oro y plata, que son los minerales metálicos que tiene nuestro país. Miles de compatriotas son despedidos de sus puestos de trabajo en Estados Unidos, España y otros países, miles de ecuatorianos indocumentados son expulsados de estos países y se aprestan a regresar al Ecuador.

Frente a esta realidad, se plantea la necesidad de reconstruir el país, es necesario hacer más eficaz el funcionamiento del Estado y dar respuesta a problemas como los señalados, los cuales jamás podrán ser resueltos mediante la política insensible del mercado. Es un imperativo nacional recurrir al sector minero, ha llegado el momento de desempolvar algunos proyectos que por décadas han permanecido archivados, proyectos que pueden generar decenas de miles de puestos de trabajo, economizar divisas en la importación de insumos mineros e incorporar a la economía del país a las provincias más apartadas y marginadas de la Patria.

10.1 DISTRIBUCIÓN DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN EL PAÍS

El graben de Quito o fosa interandina geomorfológicamente divide al territorio del Ecuador en cuatro regiones naturales, las cuales tienen sus características geológicas, mineralógicas, orográficas y geográficas propias. Estas cuatro regiones han adquirido su modelaje y estructura arquitectónica actual, como resultado de reiterados procesos orogénicos y en especial debido al levantamiento de la cordillera de los Andes en los últimos dos millones de años, durante los periodos Pleistocénico y Reciente.

Las cuatro regiones naturales del país son: Costanera, Interandina, Austral y Oriental, las mismas que sirven de base para la planificación y ordenamiento del territorio nacional, en dependencia de los recursos no-renovables existentes en cada una de ellas y de los proyectos que pueden generar.

En la versión actualizada del Mapa de Minerales No Metálicos e Hidrocarburos del Ecuador a escala 1:1.000.000, (Paladines A., Soto J. 2.010 que se publicará próximamente), se representa más de mil indicaciones entre yacimientos, depósitos, prospectos e indicios de minerales no metálicos y campos de yacimientos de

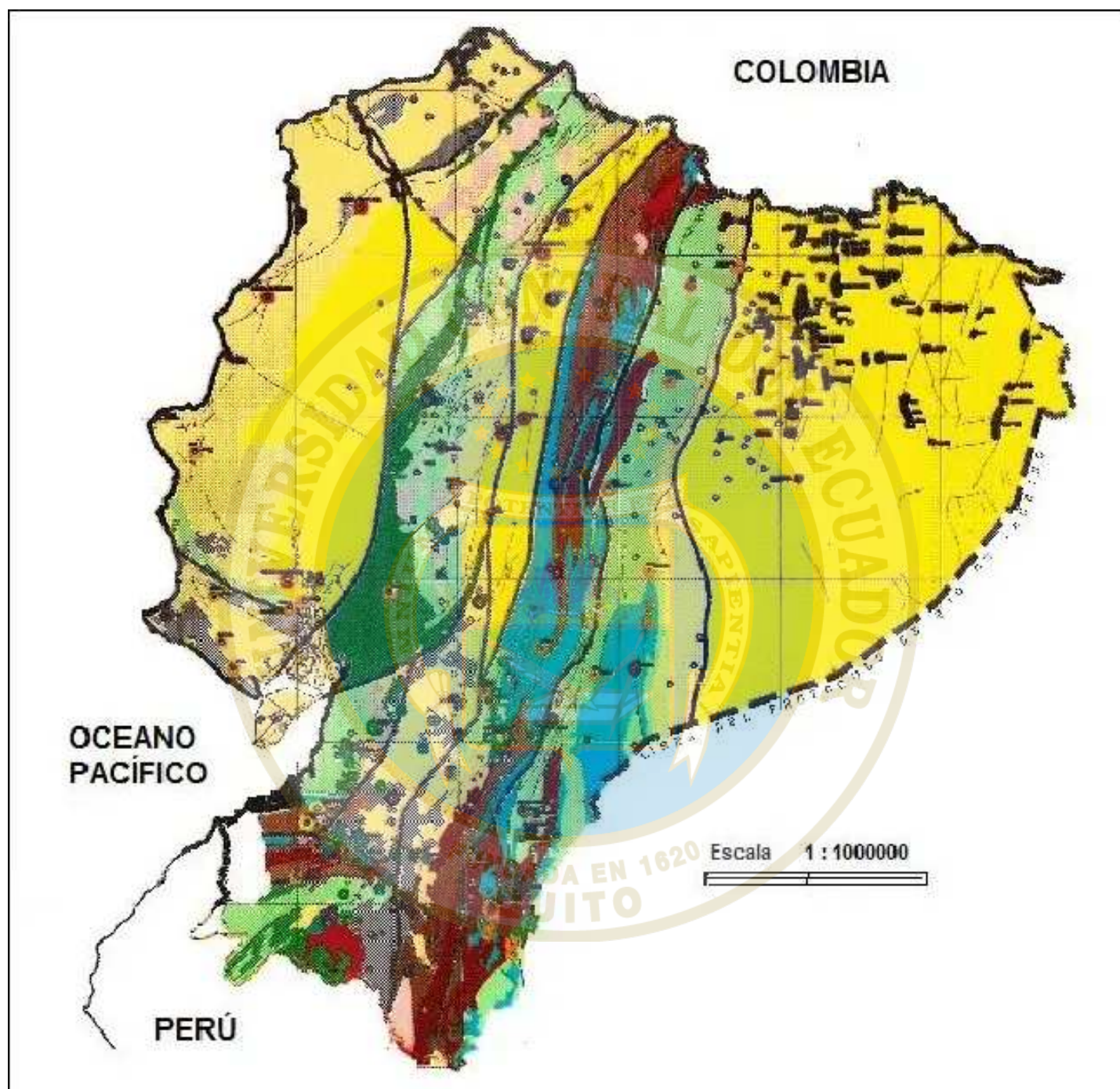


Fig.No. 65.- Mapa de minería no metálica e hidrocarburos del Ecuador

La leyenda utilizada en la elaboración del Mapa, brevemente permite describir y codificar para cada yacimiento lo siguiente:

- Rocas o minerales principales
- Tamaño del yacimiento
- Ambiente geológico
- Clase geológica
- Edad de las rocas o minerales.
- Clases generales (óxidos, sulfatos, carbonatos, etc.) de los minerales.
- Ubicación de los campos de yacimientos de hidrocarburos.

Como se observa en el Mapa, la distribución de los principales yacimientos por su volumen e importancia se encuentran localizados principalmente en las regiones

En la región Oriental se localiza el 99% del petróleo del país, 4500 millones de barriles de petróleo liviano y semipesado, 5000 millones de barriles de petróleo extrapesado y asfalto, existen además materias primas minerales para producir diferentes tipos de cemento, cerámica, abonos fosfatados y nitrogenados, además en esta región se localiza el 80% de las reservas de metales de: oro, plata, cobre y molibdeno.

En la región Austral existen en cantidad y calidad las mejores materias primas minerales para producir diferentes tipos de cerámica, vidrio plano y derivados, diferentes tipos de cemento, zeolitas, aguas termales, minerales y de montaña, rocas ornamentales, materiales de construcción y metales oro, plata, cobre, y reales expectativas en plomo y zinc.

La región Interandina cuenta con los recursos más importantes de aguas minerales, termales y naturales de montaña, piedra pómez, pumitas, además conjuntamente con la región Costanera disponen de recursos minerales para producir cemento, cerámica y materiales de construcción. Es de enorme importancia el gas del golfo de Guayaquil, el cual es una verdadera alternativa para el petróleo en el futuro, así como las reservas remanentes de hidrocarburos de la península de Santa Elena, por ser petróleo de excelente calidad.

10.2 YACIMIENTOS DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

El grupo de yacimientos de rocas y minerales industriales (no metálicos), esta integrado por aquellos minerales, que no constituyen materia prima para la obtención de metales y que a su vez no son combustibles. Las rocas y minerales industriales se emplean en la industria, para la obtención de determinados minerales (yeso, caolín), o se emplean en su totalidad como rocas (granitos, arenas). Así mismo el grupo de rocas y minerales industriales es mucho más amplio y complejo, que el de los minerales metálicos y el de los hidrocarburos. En este capítulo solo describiremos aquellos minerales y rocas, que se explotan en el Ecuador y que pertenecen fundamentalmente al grupo de los materiales de construcción como veremos más adelante.

Las rocas y minerales industriales RMI, en forma acertada han sido denominadas, los recursos minerales del tercer milenio, se prevé que ha mediano plazo representaran más del 40% de la producción mundial de materias primas minerales.

Las RMI en la actualidad tienen aplicación en todas las ramas de la industria; y cada día se descubren nuevos usos en campos como la electrónica, la industria aeroespacial y las comunicaciones. Sin embargo, su mayor uso esta ligado a la industria de la construcción, vialidad y al sector agropecuario.

En la actualidad la producción de arena y grava en algunos países desarrollados como Estados Unidos y Japón es similar a la de oro y supera a la de cobre. De igual manera la producción de arcillas en casi todos los países tanto desarrollados, como en vías de desarrollo supera a la de hierro.

202

El desarrollo de la ciencia y la técnica requiere cada vez del uso de nuevos tipos de materias primas. La existencia limitada de metales exige la necesidad de reemplazarlos así como el descubrimiento y uso de nuevos métodos de recuperación y enriquecimiento de minerales. De otro lado el desarrollo de la agricultura y el uso de abonos minerales, el crecimiento acelerado de la industria de la construcción y la vivienda, han sido causales para el crecimiento vertiginoso y sostenido en la explotación y uso de RMI en todos los países. Benjamín Calvo en el libro “Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica” (2.000), señala, que estudios llevados a cabo por la organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), demuestran que, a escala mundial, la duplicación de la población que se ha producido entre 1.950 y 1.990 (de 2.500 a 5.300 millones de personas) ha conllevado un aumento mayor (casi triplicación) del índice de producción agrícola, una cuadruplicación del número de tractores (de 6.6 a 26.5 millones) y un aumento de factor nueve (9) en el consumo de fertilizantes (de 17 a 153 millones de toneladas).

Las RMI, son materias primas minerales muy difundidas en la naturaleza, sea como minerales o como rocas, generalmente cubren grandes superficies de la corteza terrestre. Las características típicas de las RMI, crean la necesidad que tiene el Geólogo, de conocer las propiedades físico-químicas y mecánicas de las mismas, pues ellas influyen determinantemente en la tecnología de su tratamiento y recuperación, así como en la calidad de los productos obtenidos.

Las propiedades y composición de las RMI, pueden jugar un gran rol en su utilización en una u otra rama de la industria. Ellas conllevan al uso exclusivo y a la especialización de esta materia prima en la producción de artículos y productos de gran calidad, frecuentemente empleados para producir solo materiales exclusivos en marca y calidad (mármol de Carrara, caolín de China, cristal de Bohemia, diamantes de Kimberley, piedra pómez de Ecuador).

En relación a las características señaladas, la evaluación de los yacimientos de RMI, es distinta, que la evaluación de los yacimientos de minerales metálicos. El valor práctico de un yacimiento de minerales metálicos se determina en la mayoría de los casos, mediante la evaluación del volumen de las reservas, la calidad o contenido de metal en la roca y el tratamiento y recuperación final de un metal (oro, cobre). Si los tres parámetros señalados son altos, al margen de las condiciones técnico-mineras y económicas, al yacimiento se lo considera industrial (económicamente explotable).

Al realizar la evaluación de un yacimiento de RMI, a más de los parámetros señalados, es necesario investigar la calidad del mineral o roca en base a un sinnúmero de propiedades físico-mecánicas y químicas, como: dureza, color, tamaño de los cristales, plasticidad, brillo, porosidad, permeabilidad, etc. Buenos ejemplos de

lo anotado son las arcillas, mismas que tienen diferente valor en base a su plasticidad y pureza, en base a lo cual se emplean en la industria para cerámica roja, fina, blanca, artística; el caolín se aprecia por su blancura, los diamantes por su transparencia, mientras más se asemejan a una gota de agua mayor valor tienen, las

203

arenas silíceas por su contenido de SiO_2 y el tamaño o granulometría de los cristales. En el caso de evaluación de los yacimientos de materiales de construcción, el rol decisivo lo constituyen las condiciones económicas de la región y sobre todo la distancia a los centros de consumo.

Entre las propiedades de las RMI se cuentan además, su empleo en diferentes ramas de la industria, así: la caliza se emplea como material de construcción, roca ornamental, para la elaboración de cerámica, cemento y vidrio, en la industria metalúrgica, farmacéutica, de alimentos y otros; el azufre se emplea en la industria química, de resinas, papel; el talco en la industria de papel, resinas, jabones, farmacéutica, construcción y refractaria. De igual manera las RMI de diferentes orígenes con frecuencia se reemplazan mutuamente. Así por ejemplo, la baritina, el caolín, talco y la pirofilita pueden en parte reemplazarse en calidad de agregados, lo mismo ocurre con los materiales cerámicos, materiales de construcción y otros.

Las propiedades analizadas de las RMI, exigen que al realizar la evaluación de un yacimiento se consideren estas características. Para el Geólogo que se dedica al estudio de las RMI, no es suficiente conocer los métodos geológicos de investigación de estos yacimientos, El debe además conocer la tecnología de su tratamiento, las posibilidades de su utilización y rendimiento económico, así como las propiedades y composición de la materia prima.

Las RMI desde el punto de vista práctico y su empleo, se dividen en tres grupos: al *primer grupo* pertenecen las RMI empleadas en la industria. En este grupo tenemos: al diamante, grafito, micas, feldespatos, nefelina, wollastonita, corindón, andalucita, sillimanita, cianita, crisotilo y anfíbol-asbesto, talco, magnesita, cuarzo óptico, baritina, whiterita, caliza óptica, ágata. El *segundo grupo* esta constituido por las RMI empleadas en la industria química: apatito, fosforitas, azufre, sales de sodio, potasio y magnesio, boratos y silicatos de boro, yeso, anhidrita. El *tercer grupo* comprende los materiales de construcción y la materia prima para su producción: arcillas, caolines, rocas carbonatadas (calizas, dolomías y margas), arenas, grabas, areniscas, cuarcitas, diatomeas, trípoli, rocas de construcción, rocas ornamentales, mármol, piedra pómez, puzolanas, zeolitas y otras.

Por la importancia que tienen para el desarrollo y ordenamiento del territorio nacional, a continuación describiremos y ubicaremos espacialmente algunos de los yacimientos y distritos de las RMI más importantes, mismos que podrían abastecer de materia prima mineral para un sinnúmero de proyectos orientados fundamentalmente a impulsar los sectores de la CONSTRUCCIÓN , VIALIDAD, AGRICOLA Y PECUARIO (Tabla No. 11)

PRODUCCION NACIONAL MINERA REPORTADA
DIRECCION NACIONAL DE MINERIA
GESTION DE SEGUIMIENTO Y CONTROL MINERO

MINERAL/AÑOS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*	TOTAL
ORO (GRS)	2.871.366,97	3.004.980,50	2.749.826,50	4.818.615,82	5.128.159,92	5.337.675,07	5.168.200,35	4.587.711,58	3.927.346,76	41.094.263,47
ORO (ONZAS TROY)	92.326,91	96.623,17	88.418,86	154.939,41	164.892,60	171.629,42	166.180,07	147.514,84	126.281,25	1.321.358,94
PLATA (GRS)			96.341,50		371.959,35	283.200,00	158.828,05	448.964,00	304.780,00	1.664.072,90
CALIZA (TON.)	3.147.014,95	4.078.786,53	5.711.782,27	4.688.013,00	4.699.987,59	4.854.958,36	5.456.546,18	6.326.616,42	5.366.498,39	49.998.721,69
MAT. CONST.(M3)	2.595.542,15	4.722.522,47	4.466.904,89	3.271.970,34	5.833.890,05	5.661.854,59	4.997.466,97	7.601.612,40	10.829.092,13	54.851.491,99
ARCILLA (TON)	324.671,20	345.474,13	381.872,53	339.566,64	902.517,89	1.318.356,13	1.309.343,06	1.413.418,92	1.577.932,61	9.137.702,11
FELDESPATO (TON)	47.041,35	60.688,27	31.254,00	44.267,92	53.469,08	38.249,69	67.843,54	63.557,39	84.710,87	593.542,11
CAOLIN (TON)	11.022,49	703,19	8.483,23	11.883,68	5.646,17	25.078,26	11.504,21	18.617,69	42.613,90	161.804,82
BENTONITA (TON)	40,96								3.526,35	3.567,31
SILICE (TON)	27.522,17	34.718,43	40.880,13	38.856,29	32.147,72	37.789,55	36.208,37	33.907,40	27.799,13	357.733,19
MARMOL (TON)	1.679,58		265,00	1.889,60	1.431,49	3.033,44	31.840,56			62.340,67
YESO (TON)	1.042,50		4.730,00		232,00	1.310,50	1.478,00			11.921,00
POMEZ (M3.)	344.849,67		130.458,90	88.830,44	183.119,37	107.178,00	8.730,00	153.500,00	137.241,00	1.429.181,38
DIOXIDO CARB.(KGS)	28.843,00	14.400,00	752.272,00	329.260,00	685.109,00	589.024,00	592.064,00	358.923,44	225.030,00	3.574.925,44
PUZOLANA(TON)	27.686,71	373.023,03	519.089,59	190.746,90	612.255,97	540.317,54	700.007,08	803.502,78	901.379,14	4.687.252,74
BARITINA (TON)	1.476,24			2.139,00	3.694,89					9.842,13
ZEOLITA (TON)	1.291,05	1.800,85	1.883,25	1.679,00	3.300,00	2.400,00		1.729,75	1.867,89	17.188,79
COBRE (LBS)					533.400,00					533.400,00
TRAVERTINO						7.249,17				7.249,17
ARENAS FERRUGINOSAS(TON)					11.324,89	9.252,16			32.026,65	52.603,70

Tabla No. 11.- Producción nacional de minerales de rendimiento económico

Fuente: Sistema de Administración de Derechos Mineros (SADMIN).

*Datos provisionales

ARENAS SILICEAS

El distrito más importante de arenas silíceas, está localizado a lo largo de la zona Subandina oriental, atraviesa el territorio nacional de norte a sur, geológicamente está relacionado a una cuenca pericratónica de origen marino y edad cretácica, dentro de la columna estratigráfica de la zona Subandina, la formación más importante es la Hollín, la cual está constituida de arenas silíceas de edad cretácica, esta formación además es importante porque en ella se encuentra almacenado el petróleo de nuestro

Las principales minas de arenas silíceas en la zona Subandina se encuentran localizadas en las provincias orientales de Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Foto No. 13). En Morona Santiago, en las áreas de Limón Indanza y Chiviaza, el análisis de muestras dio los siguientes resultados: SiO_2 95-98.6%, Fe_2O_3 0.01-0.27%, el tamaño de los granos de arena fluctúa entre 1mm - 0.125mm. Las reservas probadas de estos yacimientos son de 200.000 toneladas, la producción anual es del orden de 10.000 toneladas.



Foto No. 13.- Vista de las arenas silíceas de la formación Hollín

En la provincia de Zamora Chinchipe las minas más importantes están localizadas en el área de La Esperanza y Guayzimi (Foto No. 14). La calidad de las arenas silíceas es la mejor hasta ahora reportada en el país, los resultados de los análisis realizados es el siguiente: SiO_2 97.3-97.6%, Fe_2O_3 0.16-0.62%, el tamaño de los granos de arena fluctúa entre 0.063 mm - 0.5 mm, además estas muestras dieron resultados favorables para la fabricación de bloques sílico-calcáreos; por la granulometría estas son consideradas en la actualidad, las mejores arenas del país.





Foto No. 14.- En las fotos se destacan las arenas síliceas por su morfología y blancura

En el Ecuador existen 13 áreas mineras en donde se explota arenas síliceas, las cuales produjeron un monto promedio anual de 350.000 US dólares, en el periodo 2.000–2.007, la producción acumulada de arenas síliceas alcanzó 282.030 t, en el año 2.008 fue de 27.799 t alcanzando en el 2.002 la mayor producción 40.880 toneladas.(Fig. No. 66).

En el país las arenas síliceas se emplean en la producción de cemento y en las fábricas de vidrio, jabones, loza, porcelana, morteros y hormigones especiales de Quito y Guayaquil. Además de los empleos señalados, las arenas síliceas podrían aprovecharse en la elaboración de centenares de productos que por ahora se importan como: sistemas de filtros para limpiar las aguas bebibles, técnicas e industriales; para elaborar lijas y materiales abrasivos, materiales resistentes a los ácidos, refractarios. Un nuevo campo de uso del sílice es en aleaciones con hierro: ferro-síliceo, con aluminio: silimun, con carbono: carborun; aleaciones que hallan uso en casi todas las ramas de la industria.



Fig. No. 66.- Producción anual de Sílice

En el año 2.002 las dos provincias, que alcanzaron la mayor producción de arenas síliceas fueron Zamora Chinchipe con 31.154 t y Napo con 9.726 t.

ROCAS CARBONATADAS Y MARMOL

En el territorio nacional existen 112 ocurrencias de rocas carbonatadas: calizas, dolomías, margas, mármoles y travertinos. Las calizas, margas y travertinos son

explotadas a gran escala para la producción de cemento y cerámica, así como en forma artesanal para producir cal y carbonato para alimento balanceado, los mármoles y travertinos se explotan a pequeña escala y en forma artesanal y se emplean como

roca ornamental en la industria de la construcción, o simplemente para elaborar pequeñas piezas de adorno. La producción de rocas carbonatadas produjo para el país un promedio anual del orden de 15 millones de dólares en los últimos cuatro años; en el año 2.008 la producción de caliza alcanzó 5.366.498 t. (Fig. No. 67)

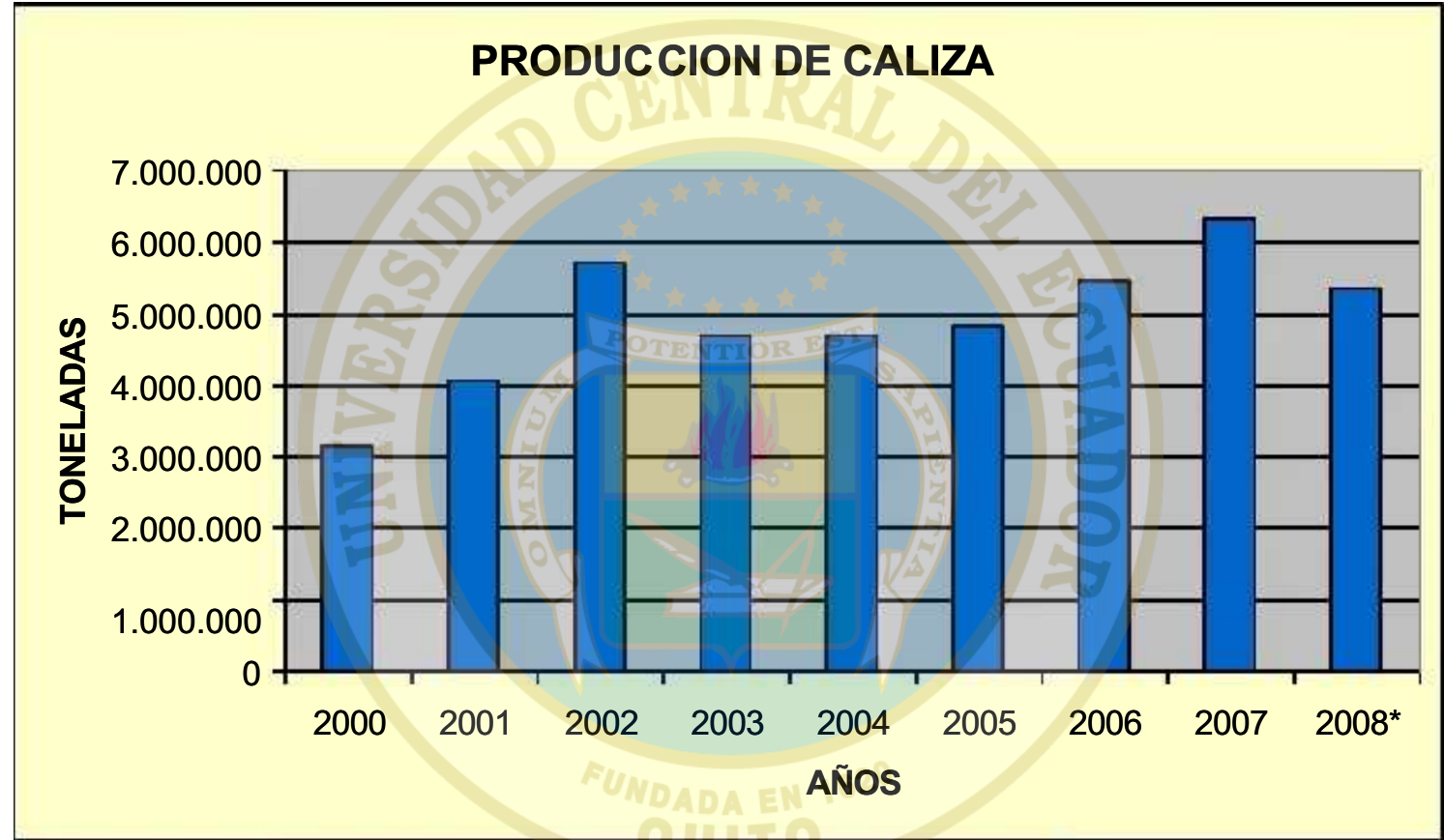


Fig. No. 67.- Producción anual de Caliza

De los productos obtenidos de las calizas, el cemento con acierto ha sido clasificado como material estratégico para el desarrollo del país. El incremento de la producción de cemento permitirá mantener activa la industria de la construcción como generadora de mano de obra y fomento de la infraestructura básica del Ecuador. Las estadísticas indican que el consumo de cemento en los últimos años fue del orden de 4.5 millones de toneladas, estudios de mercado establecen que el consumo de cemento en el año 2.010 será del orden de 6 millones de toneladas (Tabla No. 12), la capacidad instalada en las cuatro fabricas de cemento del país es de 6 millones de toneladas: HOLCIM 3.6 millones, LAFARGE 1.6 millones, GUAPAN 0.45 millones y CHIMBORAZO 0.45 millones; Así mismo, la producción nacional de cemento ha aumentado en forma sostenida durante los últimos años:

años	Consumo (millones de toneladas)
2005	3,71
2006	4,14
2007	4,44
2008	4,99

Por su ubicación y accesibilidad tres son las zonas del país, en donde prioritariamente se debe proceder a la exploración y explotación de calizas con fines industriales:

A lo largo del levantamiento Napo en la zona Subandina oriental, afloran las calizas de la formación Napo en cantidades prácticamente inagotables (Foto No. 15). En la localidad de Misahualli, la cemento Chimborazo C.A., con la colaboración de la firma Thyssen de Alemania, realizó la evaluación del “Proyecto Amazonas”, en donde determinaron la existencia de 300 millones de toneladas de reservas probadas de caliza, con un promedio de 85% de CO_3Ca , cantidad que justifica una producción de 3.000 toneladas diarias de cemento durante 150 años.

En la actualidad en algunos sitios de la región oriental se explota bloques de mármol negro. El mármol se ha formado como producto de la metamorfización de las calizas bituminosas de la formación Napo; las calizas se encuentran localizadas a lo largo de sistemas de fallas de empuje, mismas que sirven de límite entre la cordillera Real y la zona Subandina.



Foto. No. 15.- calizas bituminosas de la formación Napo

Otra zona de interés se ubica a lo largo del flanco occidental de la cordillera

Occidental, en donde se localiza la granja de biogás de la ciudad de Quito. En esta zona se utilizan como materia prima para elaborar cemento en Selva Alegre, así como para la explotación de mármol en Gualchán.

Sin embargo el área más importante se localiza en el centro del país en la provincia de Cotopaxi, cerca a los principales centros de consumo como son las ciudades de Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba. En esta área en el sitio de Unacota han sido evaluadas grandes volúmenes de reservas de caliza de excelente calidad, que justificaría una producción de 3000 toneladas diarias durante algunas decenas de años. Además muy cerca de esta área, alrededor de la ciudad de Latacunga, existen enormes depósitos de piedra pómez, los cuales forman verdaderas colinas. Estos depósitos por su volumen están considerados entre los 10 más grandes del mundo, lo que justifica la producción de cementos puzolánicos, paneles alivianados para la construcción de viviendas y otros insumos en cantidades que podrían abastecer el mercado de la construcción, incluso un excedente podría exportarse.

Los yacimientos más importantes desde el punto de vista industrial están relacionados a la formación San Eduardo, se trata de calizas de origen sedimentario marino, ubicadas en la cuenca Progreso, al sur de la cordillera de Chongón-Colonche a escasos 15 kilómetros de la ciudad mas poblada del país (Guayaquil) en donde se localiza la fábrica de cementos Rocafuerte, que es la más importante del país. La producción de esta fábrica en el presente año, alcanzará 3,6 millones de toneladas.

En relación al mármol la producción en el 2.000 alcanzó 1.679 t en el año 2.002, la producción se redujo a 265 t, aumento considerablemente en el año 2.006 a 31.840 t. Las minas más importantes están localizadas en la provincia de Chimborazo (Fig. No. 68)



Fig. No. 68.- Producción anual de Mármol

En lo referente al travertino es lamentable señalar que en nuestro país, en donde existen calizas en cantidades prácticamente inagotables, se ha cometido el error de utilizar los travertinos para producir cemento. Esto ha ocurrido en la fábrica de cementos Guapán. Lo aconsejado habría sido utilizar esta roca de singular belleza, exclusivamente como roca ornamental, para la cubierta de edificios o para la elaboración de piezas de arte. Los yacimientos más grandes de travertino están localizados en las provincias de Cañar y Azuay (Foto No. 16). Lamentablemente las reservas casi han sido agotadas; solo se reporta un dato de producción de travertinos en año 2.005 (7.249 toneladas).



Foto No. 16.- Canteras donde se realizó la explotación de travertino en la provincia del Azuay.

CAOLIN Y OTRAS ARCILLAS

En el territorio nacional en 75 áreas se explota arcillas y caolines. La mayor concentración de áreas se localizan en la Región Austral en las cuencas intermontañosas de Cuenca-Biblián-San Fernando y Loja - Malacatos-Catamayo. En estas cuencas existen arcillas de excelente calidad, las cuales genéticamente están relacionadas a cuencas sedimentarias lacustres de edad Miocénica.

Los caolines están relacionados a depósitos residuales, producto de la meteorización de rocas volcánicas de composición ácida (Foto No. 17). Al igual que las arcillas, se

211

encuentran localizados en la Región Austral del Ecuador, en las Provincias de Loja, Azuay y Cañar. En estas tres provincias extensas zonas están cubiertas por las formaciones geológicas Tarqui y Saraguro, las cuales están constituidas de tobas, depósitos piroclásticos y lavas de composición riolítica y traquítica. La característica de estas dos formaciones es que regionalmente se encuentran caolinizadas, aspecto que se reconoce por su color blanco característico. Además en los sitios en donde los procesos de tectonismo y meteorización han sido más intensos se encuentra depósitos de caolín y arcillas de excelente calidad.



Foto No. 17.- Tobas caolinizadas

El territorio del Ecuador por estar localizado en la zona tropical, es testigo de procesos de meteorización muy intensos. En las regiones Costanera y Oriental los procesos de alteración e intemperismo de las rocas, originan potentes suelos lateríticos, que alcanzan algunas decenas de metros de espesor. Las lateritas son arcillas rojas con altos contenidos de óxidos de hierro, sin embargo, son de buena calidad, para la producción de cerámica tosca (ladrillos y tejas). Las reservas y localización de las lateritas, son de importancia para solucionar el problema de la vivienda en las zonas rurales de la Costa y el Oriente.

En el país las arcillas y caolines se emplean principalmente en la industria de la cerámica, plásticos y pinturas y en la fabricación de papel. Como se ve en la Fig. No. 69, en el año 2008, la explotación de caolín alcanzó 42613Toneladas.

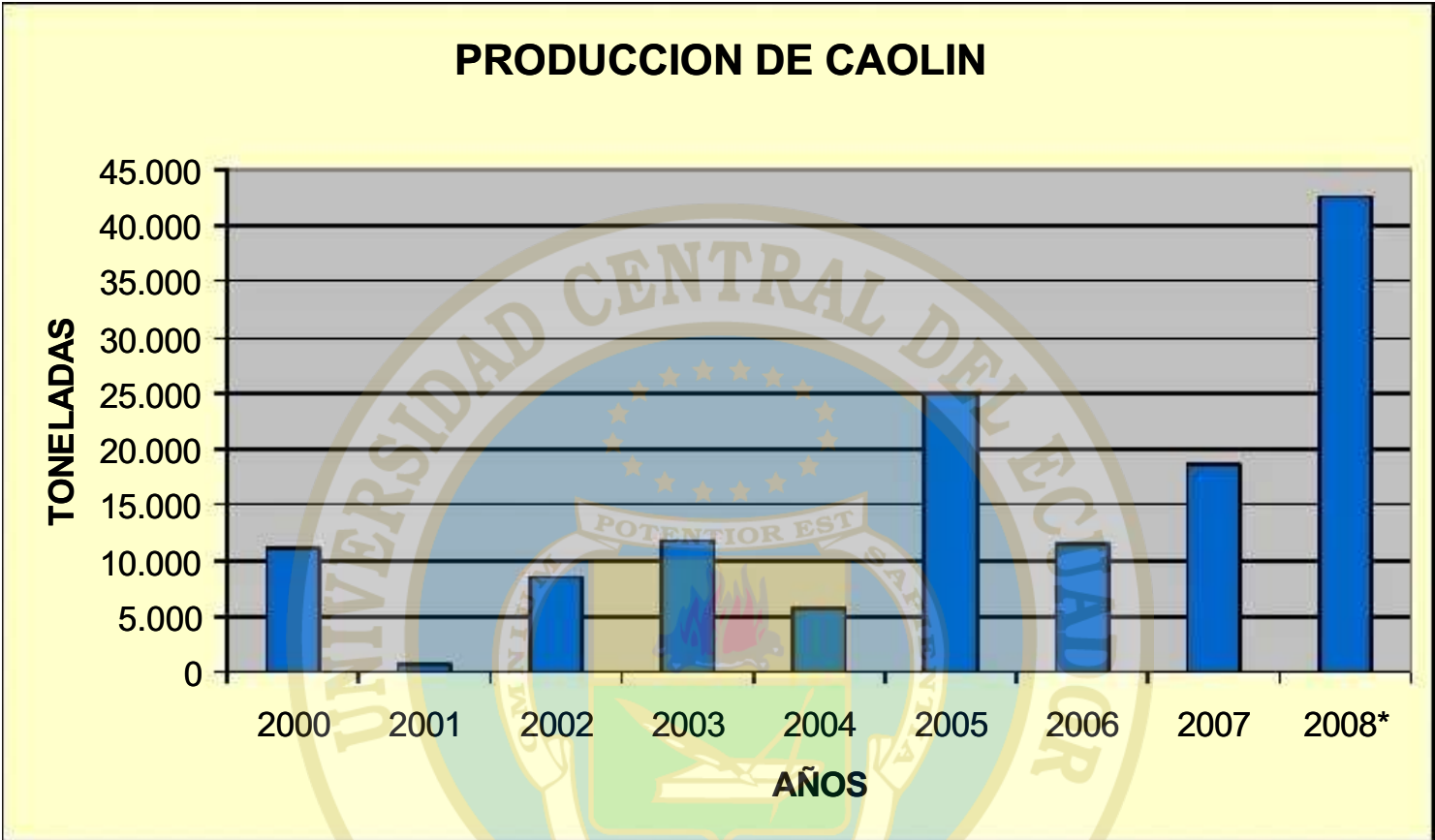
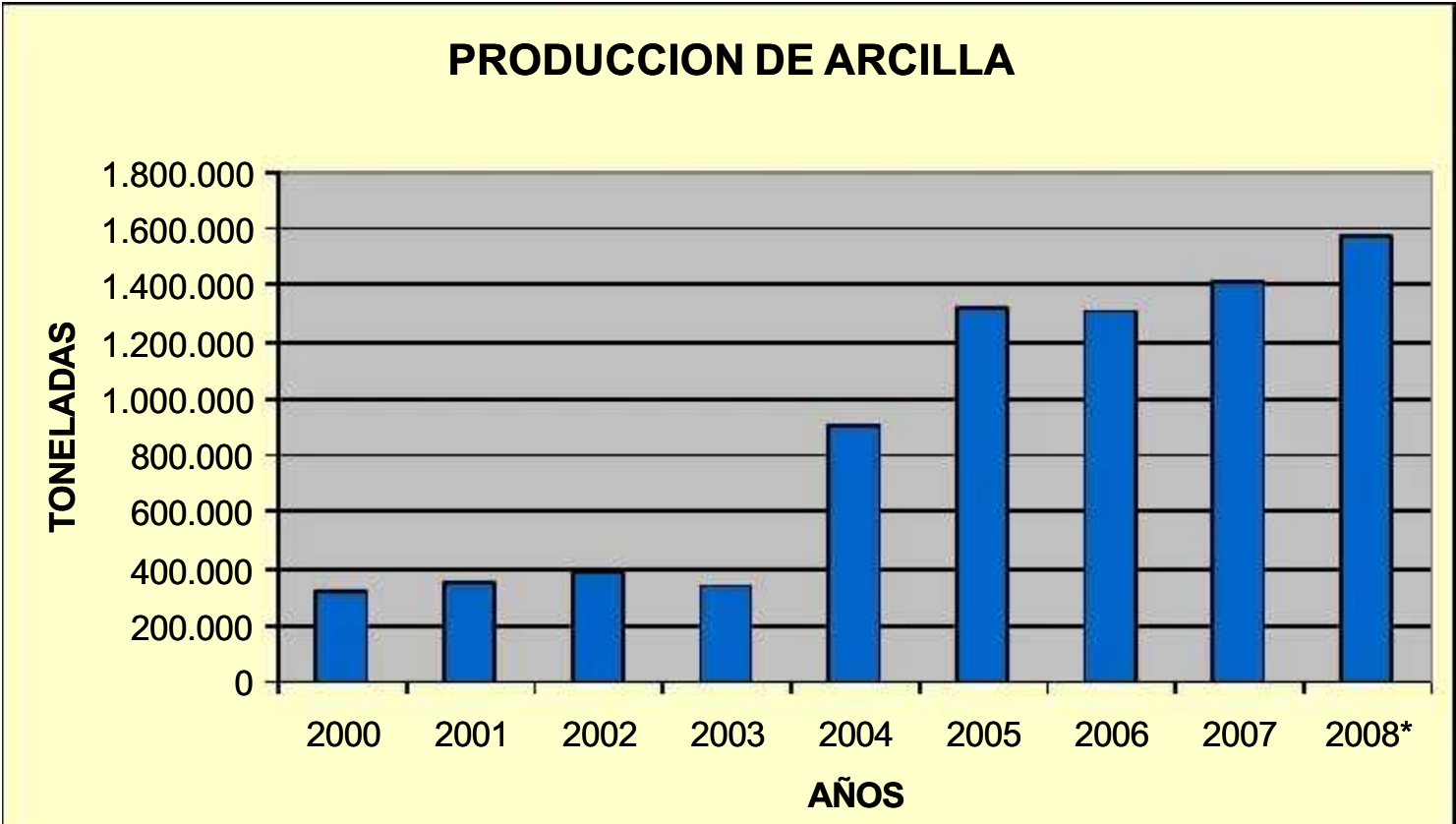


Fig. No. 69.- Producción anual de Caolín

Mientras que las arcillas de 324671 t producidas en el 2000, ha incrementado su producción hasta 1577932 t en el 2008 (Fig. No. 70).



Los tres primeros puestos en la producción de arcillas los ocupan las provincias en donde se encuentran las principales fábricas de cemento del país, pues la arcilla es el segundo componente en importancia en la producción de cemento. Se trata de las provincias de Guayas, Imbabura y Chimborazo. Así mismo, las principales provincias productoras de caolín son aquellas que se encuentran en, o cerca de las principales fábricas de cerámica del país. Se trata de Bolívar, Azuay y Morona Santiago.

En las provincias de Bolívar, Cañar, Azuay y Loja, se han determinado las mayores reservas de caolín, el cual como se señaló está relacionado al intemperismo de las rocas volcánicas, constituidas de tobas, lavas y piroclastos de composición ácida pertenecientes a la formaciones Tarqui y Saraguro. Las reservas existentes sobrepasan los 10 millones de toneladas.

En el valle de Loja, en el sector de Salapa (Foto No. 18) se explota caolín de origen residual producto de la meteorización de las rocas volcánicas ácidas de la formación Salapa. Las reservas existentes son del orden de 500 mil toneladas, mineralógicamente el caolín consiste de una mezcla de minerales del grupo de la caolinita con abundante cuarzo y trazas de illita y sustancias amorfas (alófano).



Foto No. 18.- Explotación de caolín en el sector SALAPA, Loja.

En las cuencas sedimentarias miocénicas de Loja y Malacates-Catamayo ocurren arcillas esmecticas asociadas a la formación San Cayetano, las cuales se utilizan en la fabricación de tejas, ladrillos, baldosas y azulejos. En la Región Austral del país existen muchos sitios en donde se explota arcillas de excelente calidad, las cuales se

utilizan en la fabricación de cerámica artística, muchas piezas de singular belleza se elaboran manualmente. En la zona Costanera existen pequeños depósitos de bentonita, material que es utilizado en la preparación de lodos, para la perforación de pozos.

FELDESPATOS

Solamente en 7 sitios se explota feldespatos en el país, las áreas mineras se concentran en la cuenca de Biblian-Azoguez y en el flanco oriental de la cordillera Real en la provincia de Zamora-Chinchiipe. La producción de feldespatos en el año 2.000 fue de 47.041 t. esta producción en los siguientes años disminuyó en un 20% aproximadamente para luego recuperarse en el 2.006 con 67.843 t. y 2.008 con 84.710 toneladas. (Fig. No. 71).

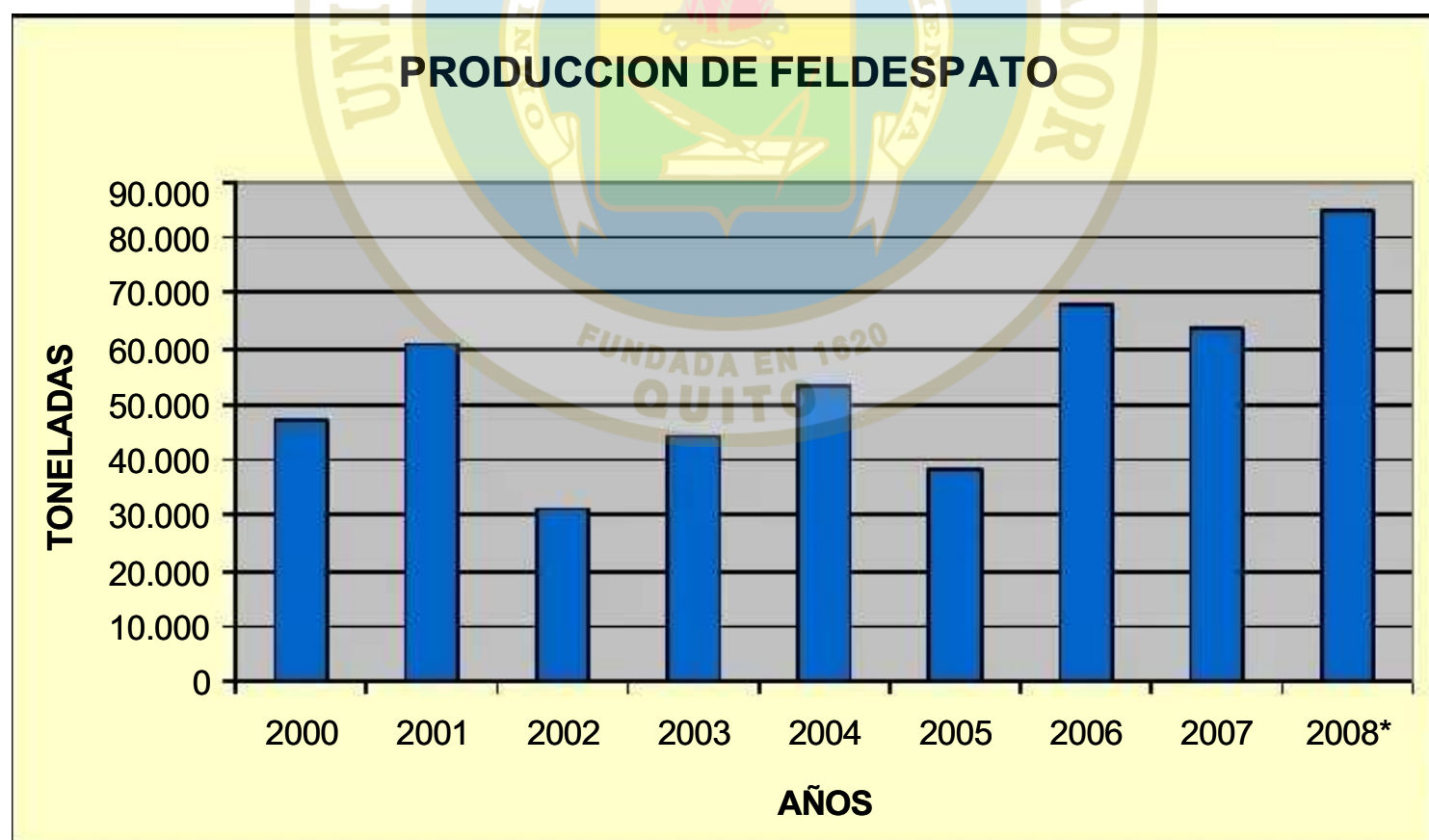


Fig. No. 71.- Producción anual de Feldespato

En la provincia de Zamora Chinchipe, como producto de la meteorización del enorme batolito de Zamora, se han formado concentraciones de feldespatos de buena calidad. Alrededor de la ciudad de Zamora en los sitios de Margarita, Jamboe y Josué, existen áreas en donde se explota el mineral en forma artesanal, la producción es del orden de 1.000 t. mensuales. Muestras analizadas por difracción de rayos X, dan un contenido de 30% de plagioclasa y componentes menores como cuarzo, muscovita, halloisita-caolinita.

En los sitios de Marcabellí y Capiro en la provincia del Oro, se explotan diques

feldespatos que atraviesan intrusivos graníticos. En los afloramientos las rocas exhiben una textura de color blanco. El material está constituido de feldespato, cuarzo,

muscovita y bajo contenido de ferromagnesianos. Otros depósitos se explotan en Gualaceo en la provincia del Azuay y en Las Guardias en la provincia de Bolívar.

En el Ecuador los feldespatos se utilizan en la fabricación de vidrio, cerámica de buena calidad, jabones y polvos limpiadores. Otros usos son en esmaltes, en la industria del caucho, plásticos, insecticidas, refractarios antiácidos y abrasivos. En el año 2.002, la provincia del Azuay ocupó el primer puesto en la producción de feldespatos con 17.378 t. y Bolívar el segundo con 11.030 toneladas.

PIEDRA POMEZ Y PUZOLANAS

En el callejón Interandino o graben de Quito, existen enormes depósitos de piedra pómez, pumitas y puzolanas, los cuales por el volumen de reservas se cuentan entre los 10 más grandes del mundo. Los depósitos se ubican alrededor de chimeneas volcánicas extintas y se acumulan formando largas colinas.

Alrededor de la ciudad de Latacunga afloran los yacimientos más importantes del país, los cuales forman verdaderas colinas. La explotación de pómez en el año 2.000 fue de 344.849 t. (Fig. No. 72), durante el año 2.002 es de 130.458 t., llegando a disminuir hasta 8.730 t. en el 2.006; para luego, en el año 2.008 llegar a 137.241 toneladas.

La pómez consiste de un aglutinado tobáceo no consolidado y material volcánico conglomerático en una matriz arcillosa, constituido por pedazos de piedra pómez de dimensiones variables (20-200 mm) y polvo volcánico (Foto No. 19). La piedra pómez presenta estructura fluidal porosa, con contenido de partículas finísimas de cuarzo, magnetita y pequeños fenocristales de piroxeno.





Foto. No 19.- explotación de capas de piedra Pómez

La piedra pómez en el país se utiliza para la producción artesanal de bloques alivianados, un gran porcentaje se exporta. En el futuro deberá emplearse en la fabricación de paneles, bloques alivianados y hormigones especiales que serán fundamentales para solucionar el problema de la vivienda.

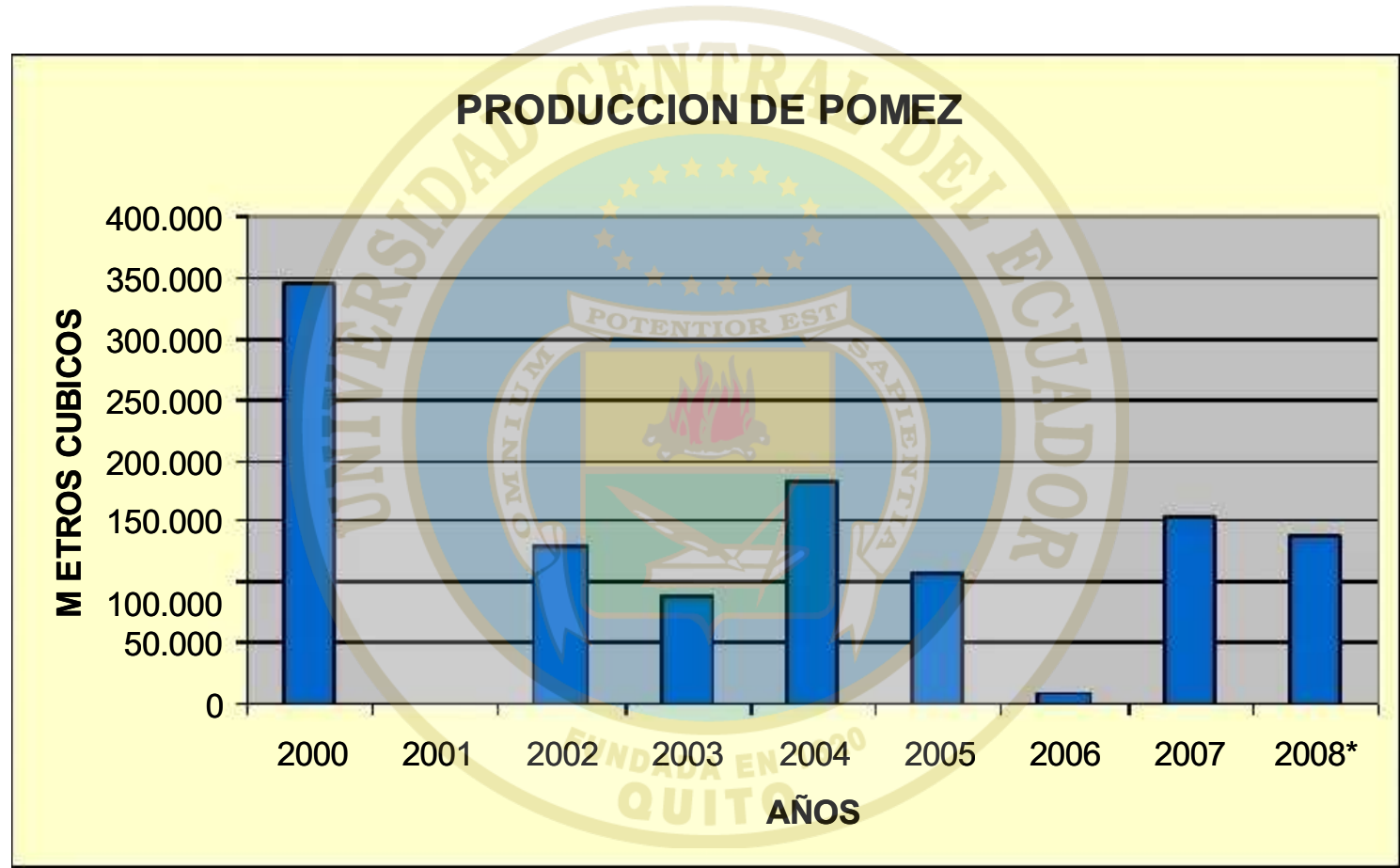


Fig. No. 72.- Producción anual de piedra Pómez

En los últimos años se ha incrementado mucho la producción de PUZOLANAS en el país, lo cual se refleja en la producción de cemento puzolánico en las fábricas de cemento del país, así como en la elaboración de bloques alivianados para la construcción de viviendas.

Las puzolanas están constituidas de polvo y cenizas volcánicos. Las principales reservas se localizan dentro del graben de Quito o fosa Interandina alrededor de la ciudad de Latacunga. Las puzolanas al igual que la piedra pómez genéticamente están relacionadas a la actividad volcánica Plio-pleistocénica de los grandes estrato-volcanes localizados al centro y norte del país. Se trata de las dos filas de volcanes, que están limitando al graben de Quito y que majestuosamente coronan a las cordilleras Central y Occidental al norte de los 2°30' de latitud sur.

En el año 2.000 la producción de puzolanas llegó a 27.686 t. luego en el 2.002 la cifra alcanzó 519.089 t. llegando a incrementarse a 900.000 t. en el 2.008 (Fig. No. 73). los

alcanzó 919.000 toneladas y aumentó a 960.000 t en el 2000 (Fig. No. 72), los dos primeros puestos en producción los ocuparon las provincias de Cotopaxi e Imbabura.

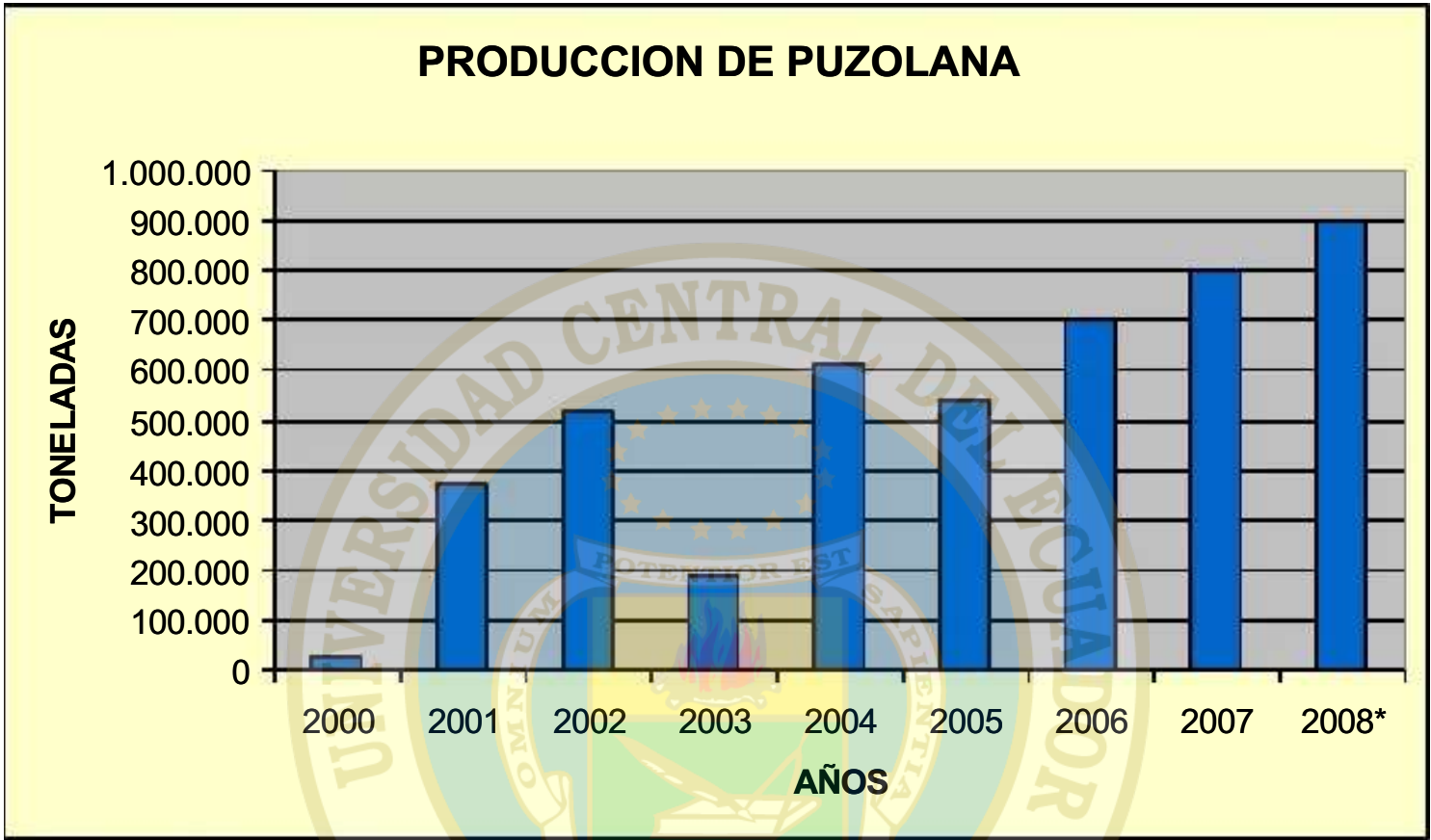


Fig. No. 73.- Producción anual de Puzolana

YESO

En el país se explota yeso en 22 áreas mineras, localizadas en la cuenca sedimentaria terciaria de origen lacustre de Malacatos y en la zona Costanera. En el año 2.002, la producción de yeso alcanzó 4.730 t y en el 2.006 disminuyó a 1.478 t (Fig. No. 74).



En la cuenca de Malacatos la depositación yesífera va asociada a la formación San José (Foto No. 20), la cual está constituida de capas decimétricas de lutitas y arcillas intercaladas con niveles de areniscas, entre las cuales se localiza un manto masivo de yeso y anhidrita. Este manto se extiende en una longitud de 8 k. tiene una potencia media de 2.5 m en lugares alcanza hasta 11m. Las reservas probables de yeso son del orden de 200.000 t. En el área de Bramaderos localizada al sur occidente de la provincia de Loja (Foto No. 21), el yeso se encuentra cubriendo a las andesitas de la formación Celica. Junto al contacto con el yeso las andesitas han sufrido un fuerte proceso de alteración hidrotermal y presentan una anomalía polimetálica. La potencia del manto residual de yeso tiene de 1 a 5 m. las reservas posibles se estiman en 3 millones de toneladas.



Foto No. 20.- Yacimiento de yeso de origen sedimentario en Malacatos (Loja).

Foto No. 21.- Yacimientos de yeso de origen hidrotermal en Bramaderos (Loja).

Estudios geológicos han determinado en la zona Subandina oriental la presencia de yeso asociado a las capas rojas pertenecientes al miembro inferior de la formación molásica Chapiza de edad Neocomiana. Las facies yesíferas de la formación Chapiza, relacionadas ha ambientes lagunares evaporíticos y procesos regresivos constituyen los depósitos de yeso más importantes del país y requieren ser estudiados para conocer su verdadero potencial.

En el río Mangosiza en el sitio Mina de Sal, parroquia Taisha, afloran capas de yeso. Las reservas probables de este depósito son de 1.280.000 t. y más de 5.000.000 t. de reservas posibles, el contenido de $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fluctúa entre 64.5 y 98.9%. En la cuenca Progreso existen pequeñas explotaciones artesanales de yeso de origen residual, que abastece en parte las necesidades de la empresa Cemento Nacional, la más importante del país.

En el Ecuador el yeso es empleado en forma natural (crudo) o calcinado. En forma calcinada se emplea para la industria del cemento, para elaborar placas, paneles, molduras; yesos especiales se utilizan en la fabricación de moldes en medicina y

moladuras, yesos especiales se utilizan en la fabricación de moldes en moldes y ortodoncia. En el año 2.002, la provincia de Loja fue la primera productora de yeso con 4.730 Toneladas.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Como materiales de construcción se conoce a todas las rocas y minerales naturales que se emplean en la construcción de obras civiles como: carreteras y caminos, presas, puentes, edificios, viviendas, canales, etc.

En el Ecuador la explotación de estos recursos se intensificó a partir de la década de 1.970. En esta década se inicia la explotación de petróleo en nuestro país y está relacionada al cambio de vida de su población, la cual paso a ser en su mayoría urbana. Con el boom petrolero se intensifica además la construcción de carreteras, grandes presas, canales, nuevos pueblos y ciudades, motivando con ello un enorme incremento del sector de la construcción y de la producción de materiales de construcción.

En el país existen 6.000 canteras de materiales de construcción, de las cuales 1.200 son activas y 4.800 intermitentes. La producción de materiales de construcción en el año 2.000 fue de 2.595.542 m³, producción que se duplicó en el 2.004 a 5.833.890 m³, alcanzando una producción de 10.829.000 m³ en el 2.008 (Fig. No. 75), sin embargo estas cifras no reflejan el verdadero volumen de empleo de materiales de construcción en el país (es necesario ilustrar esto con un ejemplo). En la Zona costanera y en el Oriente ecuatoriano se ha construido una gran red de carreteras y caminos vecinales en las últimas décadas y continúa en la actualidad. Como se trata de zonas bajas pantanosas o susceptibles de inundarse en épocas de lluvias, para construir carreteras es necesario previamente construir la sub-base elevada. Esto requiere utilizar entre 40.000 y 60.000 m³ de piedra por k. Afortunadamente en estas dos regiones existe una enorme cantidad de materiales de construcción. Se trata de depósitos aluviales y formaciones molásicas constituidas de conglomerados no consolidados que se explotan con esta finalidad, así como para la construcción de obras civiles.

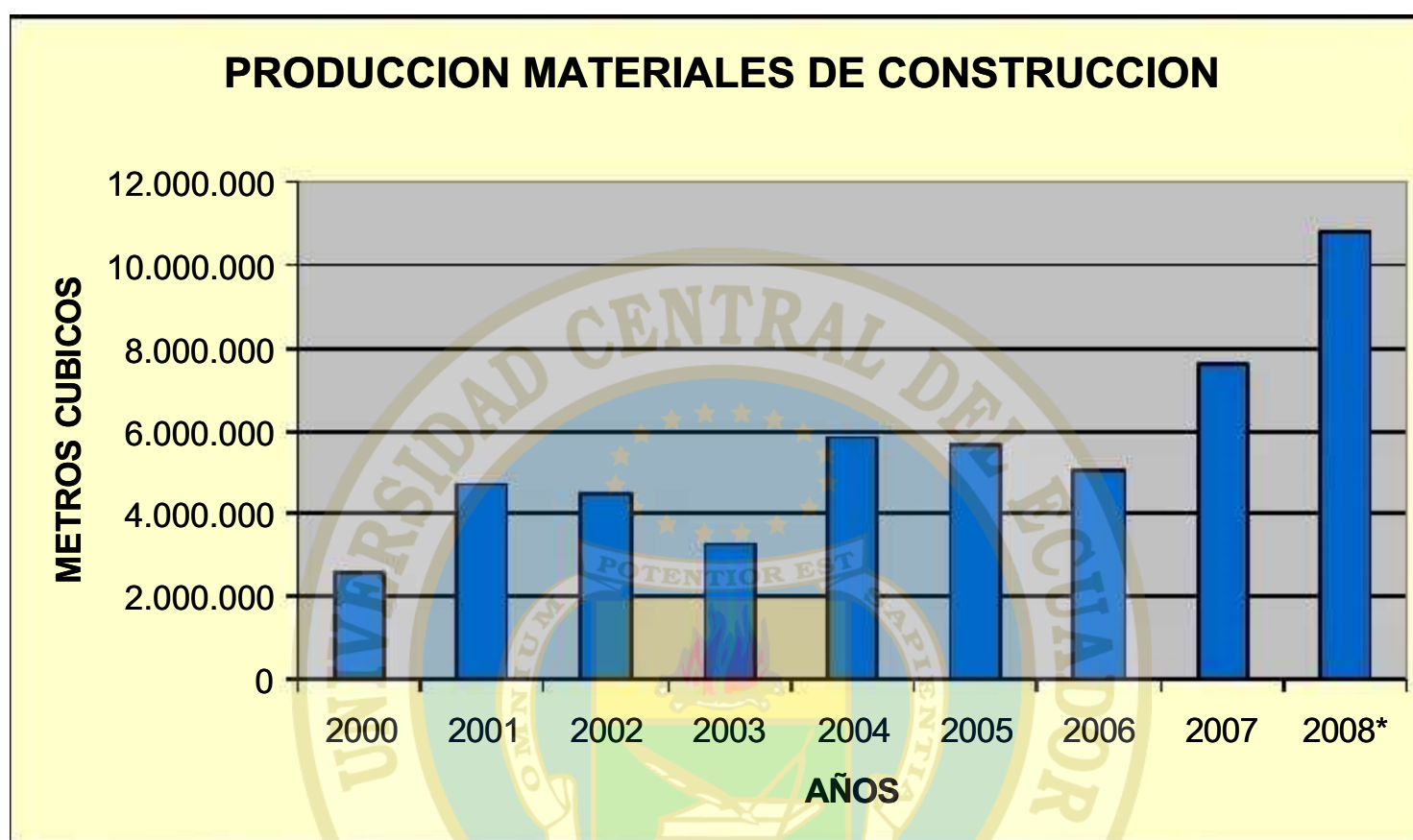


Fig. No. 75.- Producción anual de materiales de construcción

En las ciudades de la Costa la región más poblada del país, en calidad de materiales de construcción se utilizan además los basaltos toleíticos, que constituyen la corteza oceánica, la cual aflora en el núcleo de las cordilleras de Chongon-Colonche, Jama Cuaque y Río Verde, así como rocas de origen sedimentario y volcano-sedimentario, que afloran alrededor de Guayaquil (Foto No. 22), la ciudad más poblada del Ecuador, que cuenta con más de 2 millones de habitantes.





Foto No. 22.- Cantera de materiales de construcción (Guayas)

221

En el Ecuador un 40% de la población se concentra en las ciudades localizadas a lo largo del callejón Interandino o graben de Quito. En esta región existen enormes volúmenes de rocas de origen volcánico: lavas, aglomerados, tobas volcánicas, y depósitos piroclásticos, los cuales están constituidos de polvo, arena volcánica, lapilli, fragmentos y bloques, así como piedra pómez, pumita y puzolanas de composición andesítica, que son las que principalmente se emplean en la construcción de obras civiles.

Es importante señalar, que la red de carreteras que se construyó dentro de la región Interandina durante los siglos 19 y mediados del 20 al norte del país fueron de piedra (cantos rodados), los cuales se colocaban y ajustaban directamente sobre las tobas volcánicas (cangaguas). Estas carreteras todavía se usan como caminos vecinales en las haciendas del Agro. Así mismo en algunos centros históricos de las principales ciudades, aun se conservan calles, veredas, muros de piedra, edificios y joyas arqueológicas construidas con bloques de rocas andesíticas y dacíticas.

El Centro Histórico de Quito, en honor del cual la ciudad fue declarada primer Patrimonio Cultural de la Humanidad, es el mejor ejemplo de lo que se puede hacerse con la simple piedra andesítica en obras de construcción.

La cordillera Central o Real del Ecuador está constituida de rocas metamórficas. Se trata de esquistos metamórficos, cuarcitas, gneises, migmatitas de diferente composición, las cuales están intruidas por rocas magmáticas de composición calcoalcalina como granitos, granodioritas y pórfidos. Así mismo la cordillera Occidental está constituida de rocas volcano-sedimentarias y magmáticas, que se caracterizan por tener buenas propiedades como materiales de construcción. De hecho son los materiales que se utilizan en el sector de la Construcción y Vialidad en estas dos regiones del país (Foto No. 23).





Foto No. 23.- Basaltos columnares que se explotan como materiales de construcción, Baños (Tungurahua)

FOSFORITAS

El contenido medio de fósforo en la corteza terrestre es de 0.10-0.12%. En la naturaleza el fósforo se encuentra en forma de fosfatos. Importancia práctica tienen dos tipos de fosfatos: la apatita y las fosforitas.

Las fosforitas son formaciones de minerales de origen sedimentario, que contienen mezclas de muchos minerales (cuarzo, calcedonio, glauconita, dolomita, calcita, arcillas y otras.). El contenido de P_2O_5 en las fosforitas varía de 5 al 36%.

La explotación de fosforitas se realiza con métodos subterráneos y a cielo abierto. Las fosforitas que tiene el Ecuador deberán explotarse en forma subterránea, ya que la sobrecarga es muy potente del orden de 20 m. o más. El contenido mínimo de P_2O_5 para que la explotación subterránea sea rentable debe ser de 5%, además deben tener buena aptitud al enriquecimiento mineralúrgico, condiciones que tienen las fosforitas del nororiente ecuatoriano.

Las reservas mundiales de fosforitas son del orden de 40 mil millones de toneladas, ocupan los primeros puestos EE.UU., Marruecos, Rusia, Perú, en relación a las reservas se consideran grandes a los yacimientos con más de 200 millones de toneladas, medianos con 50 a 200 millones y pequeños con menos de 50 millones. Los yacimientos de nuestro país tienen reservas del orden de 185 millones, en la clasificación mundial son de tamaño medio.

Las fosforitas se utilizan para la producción de abonos fosfatados, superfosfatos, harina de fosforitas, productos que se emplean para elevar la productividad del sector agropecuario. De ahí la importancia, que tiene para un país agrícola como el nuestro, la existencia de rocas fosfóricas de buena calidad en la zona del Reventador-Lumbaquí en la región oriental. Las fosforitas se ubican en la base del miembro superior de la formación Napo de edad cretácica, se trata de tres capas de fosforitas que en conjunto tienen una potencia de 1-1.2 m. y buzan hacia el este con un ángulo de 5°.

La inversión que el país realizó en el estudio y evaluación de las fosforitas fue del orden de un millón de dólares. Lamentablemente al término de la fase de exploración se suspendieron los estudios. Sin embargo, como resultado de las investigaciones realizadas quedó claro, que se trataba de un importante yacimiento. Así lo reportaron las firmas consultoras BRGM-CIEPER en su informe: “El conjunto de los resultados obtenidos hasta la segunda fase ponen en evidencia un depósito importante desde el punto de vista de las reservas, ubicado al borde de la vía de acceso, con un tenor generalmente superior al 20% de P_2O_5 , con buena aptitud al enriquecimiento mineralúrgico y explotable con métodos subterráneos.”

Las reservas de los yacimientos del nororiente son del orden de 185 millones de toneladas, comprendidas dentro de las siguientes categorías de reservas.

223

Reservas probables	47 millones de toneladas.
Reservas posibles	122 millones de toneladas.
Reservas potenciales	17 millones de toneladas.

De este monto cerca de 100 millones de toneladas se localizan al borde de la carretera Quito-Lago Agrio entre los kilómetros 70-90. Dos áreas son prioritarias. En ellas es imperativo continuar los estudios. Se trata de la “Loma del Tigre” que tiene una superficie de 13 km² y 17 millones de reservas probables; y la “Zona Wilkinson” que tiene una superficie de 11.5 km² y 12 millones de toneladas de reservas probables. En estas áreas es urgente e impostergable continuar con los estudios de evaluación, mineralúrgicos y de prefactibilidad de las fosforitas. Solo estas dos áreas garantizan al país reservas para 300 años con un consumo de 100 mil toneladas anuales. Con estos datos, se recomienda llegar a la fase de factibilidad del proyecto, con la finalidad de reducir las importaciones de fertilizantes que realiza el país.

En base a estudios realizados, se ha comprobado, que con el uso de abonos fosfatados, la productividad de los suelos del país, podría duplicarse y, en algunas zonas como la amazonía y la costa, llegar a triplicarse.

En Colombia, cabe destacar, que fosforitas de igual calidad, provenientes de la misma provincia fosforítica relacionada a la formación Napo de edad Cretácica, se explotan y a precio de producción se les distribuye a los campesinos y pequeños productores.

AZUFRE

Asociados al volcanismo reciente, a lo largo del graben de Quito o fosa Interandina existen algunos depósitos de azufre. En Tixán-Shucos en la provincia del Chimborazo (Foto No. 24), la mineralización de azufre es del tipo exalativo y está relacionada a unas andesitas de color gris, muy fracturadas, el azufre esta relleno los poros de las andesitas o en estado nativo relleno fracturas. Las minas de Tixán actualmente están abandonadas. En este yacimiento existen reservas remanentes del orden de 90 mil toneladas con leyes del 18% de azufre.

En el área del volcán Chiles en la provincia del Carchi al norte del país, la formación de azufre está relacionada con la acción fumarólica. El mineral se deposita alrededor de los conductos, alternando con las rocas circundantes o relleno fracturas en las lavas. La mineralización esta asociada a una falla de rumbo N45°E, que controla los depósitos de azufre del Azufra, Cumbal, Chiles y Chiltazón. En otros depósitos como Cerro Negro y Santa Marianita el azufre esta asociado a fracturas de dirección este-oeste. Las reservas de Cerro Negro se estiman en 770 mil toneladas de mineral y en San Camilo de 28 mil toneladas con un contenido del 48% de azufre.

Como fuente alterna para la obtención de azufre en el país, debe mencionarse también el yacimiento de Pungarayacu, en el cual las arenas silíceas saturadas de petróleo pesado y asfalto contienen el 3% de azufre. Las reservas de Pungarayacu son del orden de 5.000 millones de barriles. El azufre es muy importante en la producción de

abonos fosfatados, pues tiene la propiedad de volver solubles a los superfosfatos, por lo que las industrias de obtención de estos dos elementos suelen ir unidas. Las arenas con asfalto y azufre de Pungarayacu, se localizan cerca de las fosforitas del Reventador al noreste del país.



Foto No. 24.- Minas de azufre de Tixán en la actualidad abandonadas (Chimborazo)

BARITINA

El bario es un elemento poco difundido en la naturaleza. El clark del bario es de 0,05%. Genéticamente el bario está relacionado con rocas magmáticas de composición ácida (granitos, granodioritas) y forma parte de algunos minerales: feldespatos, muscovita, biotita y otros, sin embargo interés económico solo tienen dos minerales de bario: la **baritina** (barita) y la **witherita** (espato pesado).

La baritina es un sulfato de bario (SO_4Ba), contiene 65.7% de BaO y mezclas isomorfitas de Ca, Sr, Pb, Ra, en calidad de mezclas extrañas algunas veces contiene óxidos de Fe y Mn, arcillas y materia orgánica. En la naturaleza la baritina se presenta en forma de agregados de minerales de grano grueso y medio, rara vez forma grandes

en forma de agregados de minerales de grano grueso y medio, rara vez forma grandes cristales transparentes (baritina óptica).

225

La whiterita es un carbonato de bario (CO_3Ba), contiene 77.7% de BaO y se encuentra en forma de agregados de minerales granulares. Las propiedades físicas de la baritina y la whiterita son similares. La densidad de estos minerales varía de 4.3-4.6 g/cm^3 la dureza de 3.0-3.5 (la baritina es poco más dura que la whiterita), el color es blanco. El color varía en relación a la composición y cantidad de mezclas que contienen: la baritina varía de celeste, amarillo, rosado, ladrillo y rojo (por los hidróxidos de Fe y Mn) hasta gris oscuro (por la materia orgánica), la whiterita hasta amarillo.

Las propiedades químicas de estos dos minerales son diferentes. Así, la baritina es prácticamente insoluble en el agua y en ácidos poco concentrados. La whiterita fácilmente se disuelve en ácidos poco concentrados e incluso en el agua.

Se destacan los siguientes tipos de menas sencillas de baritina-whiterita: monominerales, cuarzo-baritínica, fluorita-baritínica, arcillo-baritínica, areno-baritínica y sulfuro-baritínicas. Las menas complejas se dividen en oro-baritínicas y baritino-polimetalicas. La baritina de este tipo de menas se obtiene al tratar los concentrados.

El empleo en la industria tanto de la baritina como de la whiterita están relacionados con las propiedades que poseen: 1) gran densidad; 2) gran contenido de bario; 3) químicamente la baritina es inerte; 4) color blanco; 5) la whiterita es venenosa; 6) defensa contra los rayos X; 7) propiedades ópticas de los grandes cristales.

La baritina se emplea en la industria hidrocarburífera, para volver pesadas a las arcillas de perforación de pozos para petróleo y gas, para esta finalidad la baritina debe tener una densidad de 4-4.2 g/cm^3 y el contenido de sales solubles en agua no mayor de 0.35%, en perforaciones se emplea el 70% de la producción de baritina. En segundo lugar se la emplea en la industria química en la producción de pinturas, papel y cartón. La baritina se emplea en la producción de vetón especial, para aislar las instalaciones de rayos X.

Las reservas mundiales de baritina son del orden de 200 millones de toneladas. A nivel mundial, China se ha convertido en pocos años en el dominador del mercado mundial de barita, acaparando el 48.5% de la producción total. De acuerdo con las estadísticas oficiales chinas de comercio exterior, sus exportaciones de barita ascendieron a cerca de 2 millones de toneladas (de los que 1.56 m.t. fueron a EE.UU.), siguiendo otros países como India, EE.UU., Marruecos, México, Irán, Tailandia, Turquía, Bulgaria, Alemania, y otros. Aproximadamente el consumo mundial de baritina es del orden de 5 millones de toneladas anuales (Tabla No. 13).

PAIS	2004	2005
China	3900	3900
India	723	1000
Estados Unidos	532	500
Marruecos	357	360
Irán	204	210
Tailandia	125	210
Turquía	120	135
Vietnam	101	100
Bulgaria	95	95
Alemania	110	94
Francia	82	82
Corea del Norte	70	70
Rusia	60	60
Reino Unido	60	60
Brasil	48	48
Argelia	48	48
Otros países	296	350
Total	7238	7619

Tabla No. 13.- Producción Mundial de Barita (millones de toneladas)

El Ecuador tiene reservas muy limitadas de baritina. En el sector de Bomboiza, en la provincia de Morona Santiago existe la mina de baritina más importante que se explota a nivel nacional; se trata de una veta de 0.7 m. de potencia que atraviesa un intrusivo granítico y buza con 50 grados contra la pendiente del terreno. El análisis de una muestra representativa dió un contenido de 88% de BaSO_4 y una densidad del material de 4.3 g/cm^3 , hasta 1990 se habían explotado 5000 toneladas de mineral. Rodados de baritina se localizan en algunos ríos que atraviesan el batolito de Zamora, posiblemente se trata de vetas o diques de baritina que cortan al intrusivo granítico.

Otros indicios de baritina están relacionados a vetas hidrotermales localizadas en el cantón de Limón Indanza provincia de Morona Santiago, se presenta en forma de una veta de 0.5 – 1.0 m. de potencia, tiene una densidad de 4.33 g/cm^3 y presenta impurezas de óxido de hierro con pequeñas incrustaciones de limonita. En la zona de Pascuales provincia del Guayas, las vetas están constituidas de magnetita y hematita masiva, la baritina es el mineral de ganga, estas vetas no tienen interés económico para hierro y hasta el presente no se explotan. Es de importancia también mencionar el alto contenido de baritina que contienen las colas provenientes de los yacimientos de Macuchi y la Plata (Sigsig), se trata de yacimientos de sulfuros masivos volcanogénicos SMV, en los cuales uno de los minerales de ganga es la baritina.

La producción de baritina en el Ecuador en el año 2.000 fue de 1.470 toneladas, luego la producción se triplicó en el 2.004 a 3.695 toneladas (Fig. No. 76).

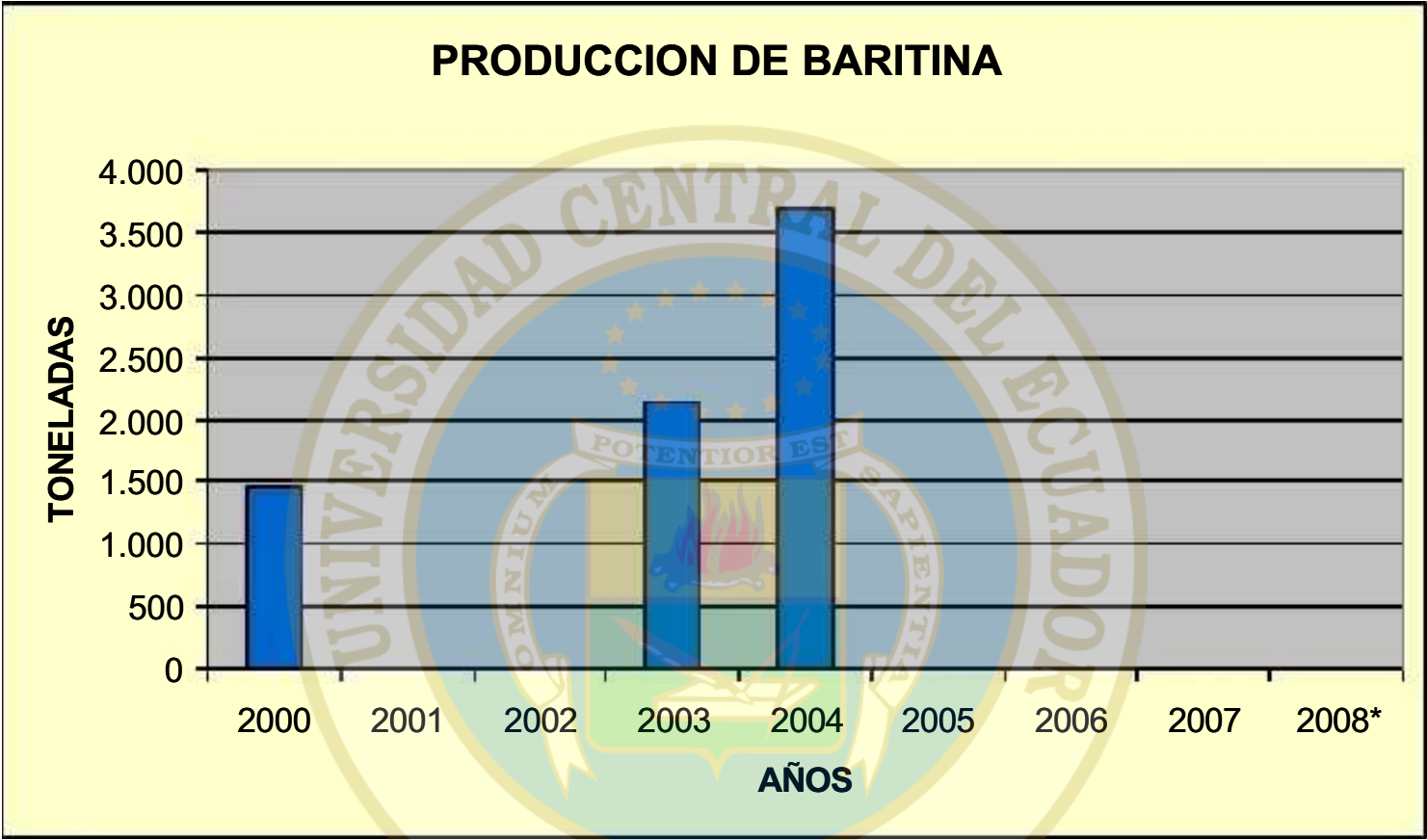


Fig. No. 76.- Producción anual de Baritina

ZEOLITAS:

Las zeolitas “piedras que hierven”, como minerales se conocen por más de 200 años. En la actualidad existen cerca de 50 formas naturales y más de 100 artificiales de zeolitas. La producción mundial de zeolitas naturales en la actualidad es del orden de 3 a 4 millones de toneladas al año, el primer productor es China con más s de 2.5 millones de toneladas, otros productores son: Corea del Sur, Canadá, México, Cuba, Hungría, Bulgaria, Estados Unidos, Japón, Italia, Turquía, en el Ecuador la explotación de estos minerales se inicia en la última década (Fig. No. 77).

Los cationes de las zeolitas alcalinas y alcalino-terreas, pueden fácilmente ser remplazados por los cationes de otros metales pesados (propiedad de reemplazo de cationes), así mismo el agua que contienen las zeolitas fácilmente se separa o elimina, al calentarlas lentamente hasta 150-400° C., sin que se destruya su armadura esqueleto, las zeolitas deshidratadas tienen la propiedad de absorber nuevamente agua (rehidratarse) u absorber otro tipo de líquidos o gases (propiedad absorbente). Debido a que las zeolitas poseen un sistema de canales transversales, de tamaño igual al de los átomos, moléculas o iones, los cristales de las zeolitas pueden permitir el paso de muchas partículas siempre que el diámetro de las mismas sea menor (efecto de filtro-molecular). Las propiedades descritas de las zeolitas se determinan en base a su

zeolitas con una composición mineralógica idéntica (con una alta relación Si/Al) mayoritariamente por una alta porosidad.

Las zeolitas que en la actualidad tienen la mayor utilidad (o sea que forman grandes concentraciones industriales, que se caracterizan por tener una gran capacidad absorbente, gran actividad catalítica, estabilidad térmica, resistencia a los ácidos etc.) son la clinoptilolita, la mordenita y la shabasita.

El empleo de las zeolitas es diverso y cada vez su uso es mayor. En diferentes ramos de la industria con el empleo de zeolitas se secan y limpian casi todos los tipos de gases y líquidos, se obtiene oxígeno y nitrógeno del aire, introduciéndoles platino, renio y otros catalizadores se las emplea para el craqueo y desintegración del petróleo, para separar a los metales y obtener sales limpias, para absorber los metales de las aguas de minas y subterráneas, se las emplea en calidad de agregados en la producción de papel, explosivos, cartón, polímeros, resinas, pinturas y otros materiales, como agregados hidráulicos en la producción de cementos portland etc., etc. Cerca del 20% de la producción de zeolitas se emplea en la construcción, para la elaboración de materiales livianos y decorativos. En la agricultura el empleo de las zeolitas es muy efectivo para retener en los suelos los abonos y la humedad, para la preparación de alimentos balanceados para pollos y ganado, como desodorante (absorbente de gases pestilentes), para la preparación de suelos artificiales y otros.

En el campo de conservación del medio ambiente, se emplea las zeolitas para limpiar los gases desechados de anhídrido sulfúrico, nitrógeno, carbono, amoníaco, para limpiar las aguas industriales de desechos de metales claros y radioactivos, cloro, estroncio, productos de desecho de refinerías, se las emplea para limpiar las aguas de los mares y océanos al producirse derrames de petróleo y productos tóxicos. Las zeolitas son fundamentales para la preparación de medicamentos y otros productos de la industria farmacéutica y perfumería. Las zeolitas naturales se emplean para realizar la síntesis de algunos tipos de zeolitas artificiales, las últimas se emplean para obtener combustible para naves espaciales, productos para limpiar y lavar que luego se destruyen. Las zeolitas que tienen un alto contenido de arcillas, se utilizan para obtener óxido de aluminio.

La formación de las zeolitas naturales se origina en diferentes ambientes geológicos: postmagmáticos, hidrotermales, metamórficos, diagenéticos y meteorización. En términos generales el mecanismo de su formación, esta representado por la reacción que se produce entre el agua contenida en los poros de la roca con el vidrio volcánico, los sedimentos arcillosos poco recristalizados, las plagioclasas y el sílice. En dependencia de la composición de las rocas primarias y la situación físico-química (temperatura, presión, presión parcial del agua, la actividad de los iones y otros) se produce la formación de diferentes tipos de zeolitas. Así, la clinoptilolita y la mordenita generalmente se forman de las nefritas ácidas, mientras la fillipcita y la analsima, frecuentemente se forman de las nefritas básicas. Las zeolitas formadas inicialmente con el paso del tiempo pueden transformarse en otros tipos de zeolitas

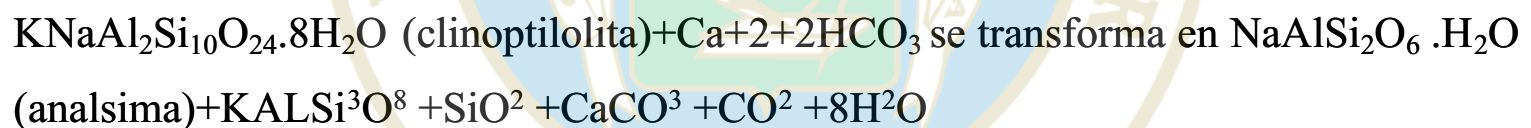
más estables. Muy bien se conoce el reemplazo de la clinoptilolita por la analsima, y esta última por la limonita.

229

Las zeolitas más difundidas son las del tipo diagenético-sedimentario, las únicas que forman concentraciones industriales altas, generalmente tienen edades cainozoicas y mesozoicas. En formaciones de edad paleozoica y más antiguas prácticamente no existen. Condiciones propicias para la zeolitización diagenética se presenta en las tobas marinas de composición ácida, el vidrio de las cuales a profundidades del orden de 100 m. y a temperaturas de decenas de grados reaccionan con las aguas de los poros, como resultado se origina la clinoptilolita o la mordenita:



La determinación directa del pH de las soluciones, extraídas de las tobas ácidas zeolitizadas de edad miocénica superior, dan valores de 8.3 hasta 9.5 en promedio 8.9; Así mismo, al elevar la temperatura hasta 85-125°C (como resultado del metamorfismo incipiente o por acción de soluciones hidrotermales) las zeolitas descritas se transforman en analsima:



El vidrio de las tobas ácidas, depositado en lagos de agua salada, que contiene iones de CO_3^{2-} y HCO_3^- con un pH, de 9.5 generalmente se transforma en fillipsita, clinoptilolita, raramente en mordenita o shabasita. Estos lagos son típicos para zonas con climas áridos. En estas condiciones la sedimentación presenta una zonación horizontal, cuando en una misma capa se fijan las siguientes fases (desde la orilla): tobas y arcillas, luego zeolitas, mientras en el centro del lago se forman feldespatos potásicos. En dependencia a las condiciones de formación de zeolitas lacustres o marinas en la actualidad claramente se destacan dos tipos de yacimientos industriales:

- 1) Depósitos de capas y lentes, enriquecidos en clinoptilolita, mordenita y otras zeolitas formados en condiciones marinas (volcano sedimentarias) de edad Mezo-Cainozoica.
- 2) Depósitos de capas y lentes, enriquecidas en shabasita y en menor cantidad de otras zeolitas, formadas en ambientes fluvio-lacustres de edad Cainozoica.

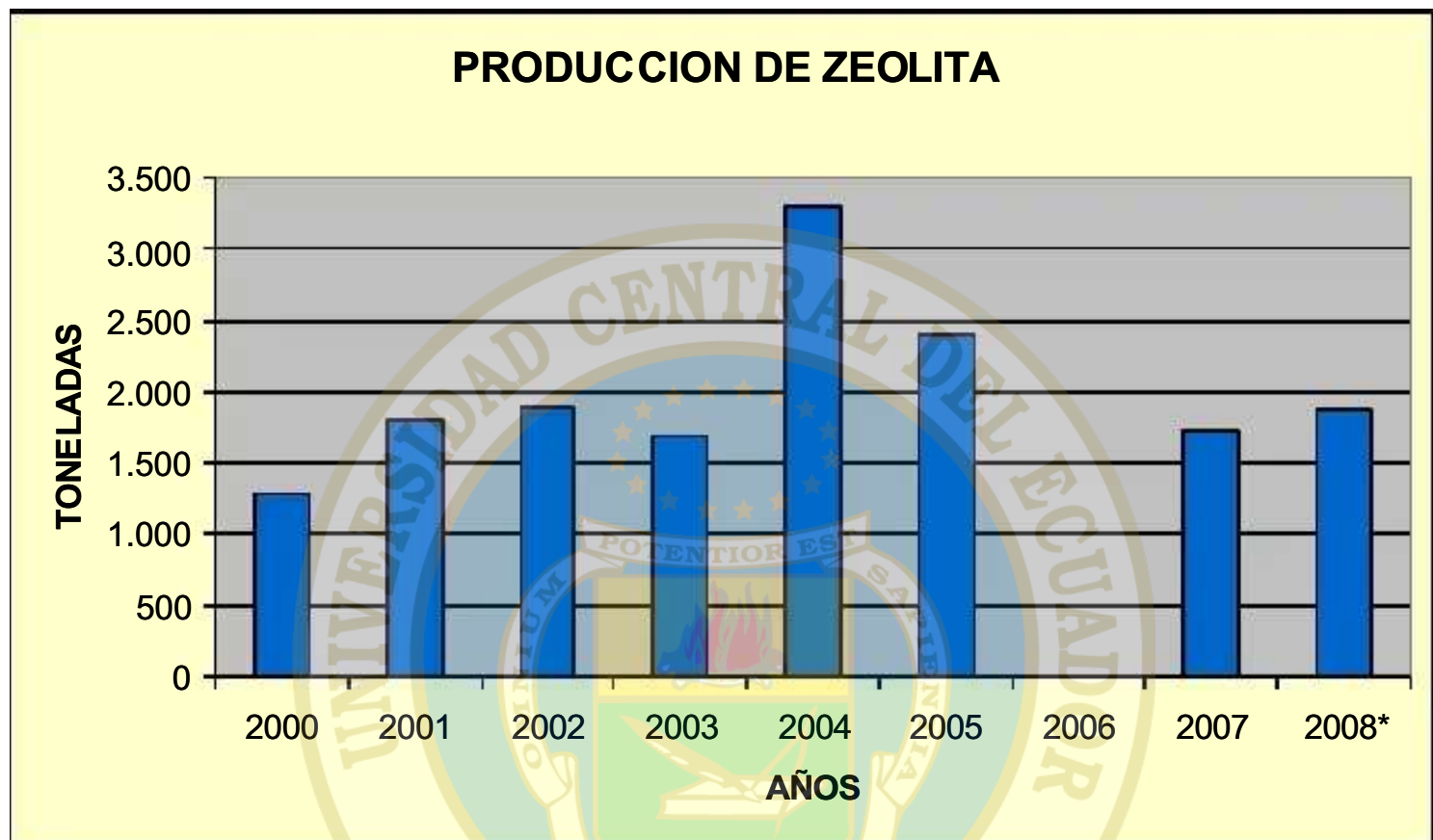
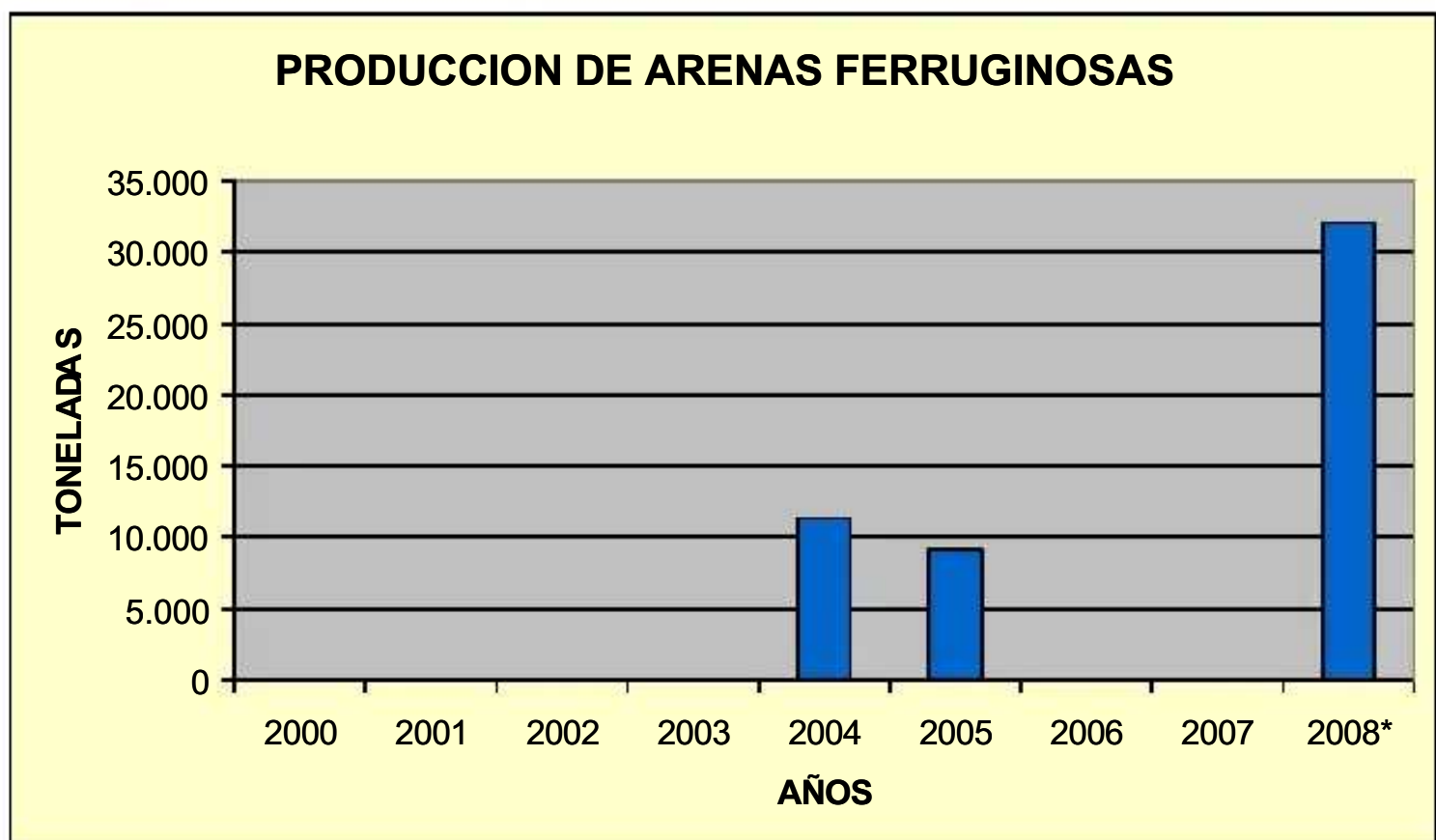


Fig. No. 77.- Producción anual de Zeolitas

ARENAS FERRUGINOSAS COPIAR DEL LIBRO.....



ROCAS ORNAMENTALES

La explotación y producción de los minerales metálicos siempre ha constituido un aporte significativo en el desarrollo de los pueblos, sin embargo no se puede olvidar el gran aporte que genera la producción de rocas y minerales industriales que crece continuamente en todo el mundo. En este grupo se encuentran las rocas ornamentales, que forman parte del desarrollo económico variando su importancia de acuerdo a la utilización en los diferentes países.

Se consideran rocas ornamentales, aquellas rocas, que tras un proceso de elaboración, son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario o escultórico y objetos artísticos variados, conservando íntegramente su composición, textura y características física-químicas.

Las rocas ornamentales, como materiales naturales que son, presentan el atractivo de su carácter imprevisible, ya que a pesar de su aparente homogeneidad en su uso en la construcción, siempre encontramos dentro de la misma cantera, matices y formas diversas que pueden mostrarse en el acabado final de las piezas; y con mayor motivo si nos movemos de una zonas geológicas a otras, donde las rocas no aparecen con absoluta uniformidad, sino con pequeñas y sutiles variaciones que hacen a cada elemento único e impredecible en sus calidades y acabados. Su interés económico y comercial se basa en características tan variadas como vistosidad, propiedades físico-mecánicas y aptitud para el pulido.

Las rocas ornamentales o piedras naturales son el material de construcción más antiguo, abundante y duradero, que ha utilizado el hombre para construir obras civiles. La utilización de las rocas ornamentales se encuentra en aumento en el mercado de la construcción y su popularidad ha crecido entre arquitectos y público en general. De acuerdo con algunos observadores se considera que el consumo de rocas ornamentales aumentará en el año 2.010, a 1.200 millones de metros cuadrados, el doble del consumo actual.

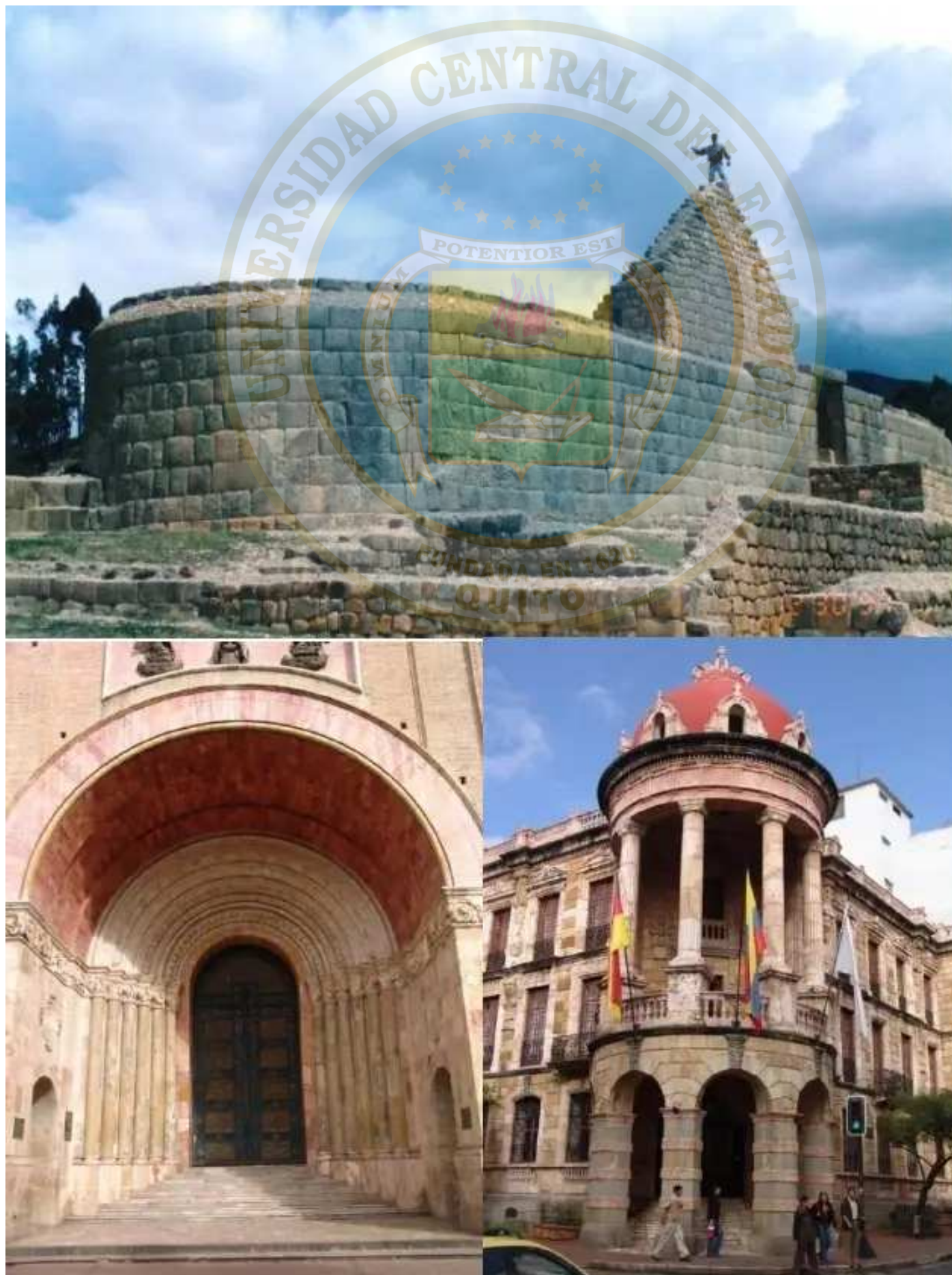
Dentro de las proyecciones de oferta es muy importante considerar las restricciones ambientales que pueda aplicar la Comunidad Económica Europea, en el corto plazo, a las actividades mineras. Estas restricciones podrán causar un gran impacto en la producción mundial de las rocas ornamentales, teniendo en cuenta que más del 40% de la producción mundial se origina en países de Europa como Italia, España, Grecia, Portugal y Francia, y que más del 80% de la producción mundial procede de diez países en su orden: China, Italia, España, Turquía, Brasil, Portugal, Grecia, Corea del Sur, Francia y Estados Unidos.

En nuestro país, el uso de la roca en edificaciones se ha notado a lo largo de su

En nuestro país, el uso de la roca en construcciones se ha notado a lo largo de su historia, citando casos como el de Ingapirca desde el tiempo incaico, y en la construcción de iglesias, residencias, calles, etc., en el tiempo de los conquistadores españoles. Actualmente en todas las ciudades podemos apreciar el uso de estos materiales para decorar fachadas, pisos, calles, mausoleos, monumentos, iglesias,

232

interiores de casas, etc.; estos materiales son rocas que se extraen de las canteras y que luego de un adecuado proceso quedan listos para su utilización industrial o artesanal (Fotos No. 25-26-27).



La provincia de Loja y su ciudad no son la excepción, en ellas es notorio el uso de estos materiales: en la provincia el hospital de Macará en cuya fachada utilizaron andesitas dendríticas, la Iglesia de Saraguro en la cual se emplearon bloques de tobas riolíticas en su fachada, así mismo, en la ciudad de Loja se han utilizado estos materiales y además las filitas, lutitas calcáreas, como lo es el caso de la puerta de la ciudad, conventos y parques.

A continuación se hace una descripción de las diferentes tipologías de las Rocas Ornamentales de NUESTRO país, a saber:

Granitos (de origen ígneo, constituidos principalmente por cristales de cuarzo, feldespatos y micas, que le confieren una textura granulada y diferentes tonalidades); en nuestro país se conoce los siguientes cuerpos graníticos: El batolito de la Cuchilla o Bonita (sector del río Chingal y Santa Bárbara); El batolito de Abitagua (que se extiende desde Mera a Baeza); y el más grande, El batolito de Zamora (provincia de Zamora Chinchipe); Metagranito Tres Lagunas (en Amaluza, Zumba,...); batolito de Tangula y Plutón de San Lucas (provincia de Loja); y los de Pascuales (Guayas), entre los más característicos (Fotos No. 28-29-30).



Calizas, Mármoles y Travertinos.- Las calizas, son rocas de origen sedimentario, constituidas por precipitados de carbonatos de calcio y partículas carbonatadas (Foto No. 31); *mármol*, en el sentido geológico y petrográfico se denomina mármol a la roca caliza que ha sufrido transformación a consecuencia de altas temperaturas y

presión, es decir, ha sufrido metamorfismo, originándose un alto grado de cristalinidad apreciable a simple vista. Travertino, el carbonato de calcio que se redeposita por aguas hidrotermales se purifica durante este proceso y forma una roca conformada por varias capas paralelas, cavernosas denominada travertino (Foto No. 32).



Foto No. 31 Caliza





Foto No. 32 Travertino

Dependiendo de las características físicas y mecánicas de estas rocas, sus principales usos son: pisos, fachadas, mesones de baños y cocinas; en forma de granos y polvo para revestimiento de paredes (Foto No. 33). En el Ecuador se conocen varios depósitos de rocas calcáreas que afloran en sus tres regiones: Cerro Azul, San

Metabolilla (Guayas); Peshob (Chimborazo); Selva Milagros, Santa Rosa (Azuay); Pucará (Cotopaxi); Guapán, Zhirincay, Mangan (Cañar); Isimanchi (Zamora Chinchipe), Puyango, Nambacola y Belén (Loja), entre otros.

Foto No. 33.- Utilización de la caliza en la fachada de edificios

Areniscas y Cuarcitas (rocas sedimentarias, detríticas constituidas por granos fundamentalmente de cuarzo, trabados por medio de una matriz también detrítica); utilizadas en estado arenoso en las fachadas de edificios, y las cuarcitas para el adoquinado de las ciudades y fachadas (Foto No. 34). Las zonas más importantes donde se ubican areniscas, es a lo largo de la zona Subandina, que corresponden a la formación Hollín. Mientras que las cuarcitas están constituyendo parte importante de las rocas metamórficas que conforman la cordillera Central del Ecuador.



Pizarras, filitas y esquistos.- (roca metamórfica de origen sedimentario de grano fino y colores oscuros con una intensa foliación plana, favorecida por la disposición de los minerales laminares (filosilicatos) que básicamente la constituyen. Su foliación le permite “deshojarse” fácilmente, de allí su preferencia para la utilización en forma de

planchas tanto para fachadas (Foto No. 35) como en mesones, etc. Siempre que cumpla con las características requeridas. Los sectores en los que se pueden encontrar son dentro del complejo metamórfico de la faja central de la cordillera Real: entre Zamora y Loja, Gualaceo-Paute, la división Alao-Paute (frente Baños), al sur de Azogues (Huarangu Grande), así como en la cordillera de Tahuin.



Foto No. 35.- Pizarras verdes utilizadas en fachadas de edificios

Lutitas calcáreas.- También conocidas como **margas** son de origen marino o lacustre, y están formadas por una mezcla de arcillas con materiales calizos, otros minerales como cuarzo o mica y trazas de materiales orgánicos. En algunas ocasiones contienen fósiles. Su textura es de clastos de grano muy fino.

En nuestro país están asociadas a cuencas sedimentarias de origen lacustre y edad miocénica, como son las cuencas de: Loja, Cuenca, Biblián-Azogues. (Foto No. 36).



Foto No. 36.- Uso de las lutitas calcáreas, (puerta de la ciudad-Loja)

Andesita- Las andesitas proceden de la fusión a profundidad y el ascenso a la superficie a través de los conductos volcánicos de un magma de composición media, a menudo asimilando material continental siálico y que en general, ha experimentado cambios en su composición química a causa de la presión del agua. En la provincia de Loja, en el sector de Bramaderos existen unas andesitas de tipo dendríticas que son utilizadas en las fachadas de algunas construcciones (Foto No. 37).





Foto No. 37.- Andesitas dendríticas

238

En Quito el centro histórico de la ciudad en honor al cual fue declarada como la primera ciudad PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD, los monumentos más importantes son de material andesítico. Todos los grandes estratovolcanes del norte del país están constituidos mayormente de lavas, tobas y materiales piroclásticos de composición andesítica (Foto No. 38).



Foto No. 38.- Tobs de composición andesítica, utilizada en la fachada de edificios

Tobas riolíticas.- Rocas volcánicas de composición ácida (Foto No. 39-40-41), regionalmente se encuentran caolinizadas y presentan tonalidad blanca. Están constituyendo principalmente en el arco volcánico continental Saraguro (formaciones Saraguro, Tarqui, Sarapa).





Foto No. 41.- Objetos tallados de tobas volcánicas acidas

En el año de 1999, la Dirección Nacional de Geología, DINAGE, en su afán de aportar con información técnica a la comunidad geológica minera, inició un proyecto institucional denominado "INDUSTRIALIZACION DE MATERIAS PRIMAS MINERALES", donde se planteó como objetivo principal disponer de propuestas para emprender el camino de la sustitución de importaciones de las materias primas minerales en el Ecuador, enmarcado dentro del potencial geológico minero nacional.

Con la finalidad de continuar con este trabajo, se ha ideado una nueva propuesta que consiste en la producción de la serie denominada "ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN EL ECUADOR" (Napoleón Báez, y otros), la misma que se orienta a dos niveles, una para el público en general y otra especializada para técnicos.

Por tanto es importante impulsar el desarrollo de la industria de rocas ornamentales tanto por parte del estado como de la empresa particular. Dado que aún no existe suficiente información en nuestro medio sobre el uso de estos productos, sus ventajas, su normalización, capacitación técnica para el tratamiento de estos.

Por ello es importante y casi urgente generar mayor información sobre las rocas

ornamentales y promover una mayor explotación de estas materias primas con mejores estándares de calidad, capaces de ingresar al mercado con mayores ventajas que los productos importados. Y así generar un mayor desarrollo económico para el país

CAPÍTULO X

AGUAS TERMALES, MINERALES Y NATURALES

En el Ecuador se han documentado 167 manantiales de aguas termales y minerales; y, más de 1.000 manantiales de agua fresca de montaña (Foto No. 42), ubicadas principalmente en el callejón Interandino y alrededor de los grandes volcanes. El agua es el mineral más importante del Planeta. El uso racional de este recurso, podría generar decenas de miles de puestos de trabajo, así como cuantiosos ingresos económicos. A mediano y largo plazo el agua de montaña embasada, podría exportarse y generar recursos como los que por ahora genera el petróleo. Algo similar podría ocurrir, con el uso científico, económico y técnico de las aguas termales y minerales, en bien de la salud, el descanso y el turismo.



Foto No. 42.- Cascada de agua natural de montaña ("La Poderosa" dentro del Parque Nacional Podocarpus, Zamora Chinchipe), y mapa de ubicación de pozos y manantiales.

El científico Alemán Teodoro Wolf, en su obra capital "Geografía y Geología del Ecuador" publicada en 1.892, al referirse a las aguas termales y minerales del país decía: "El Ecuador es muy rico en aguas termales y minerales, de toda clase,

especialmente en las regiones andina e interandina; pero el uso que se hace de ellas es casi nulo. Es conocido cuantos progresos ha hecho en el mundo civilizado la Hidrología Medicinal, también podemos determinar cuán preciosos remedios poseemos en ciertas aguas minerales para el tratamiento de varias enfermedades. El

Ecuador posee tales aguas en abundancia; pero sus médicos no las conocen, dejan su aplicación a la gente pobre e ignorante, y las tratan con el mismo desprecio como a los remedios naturales del País”

Han pasado 128 años desde que Wolf escribió sobre la bondad y propiedades de las aguas termales y minerales del país. Lamentablemente hasta ahora, salvo casos aislados, no se ha hecho nada por conocer e investigar nuestras aguas minerales. Existe un total desconocimiento de las mismas, incluso de parte de instituciones que deberían prestarles atención e investigarlas como son las facultades de Química y Medicina de las universidades del país, del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IESS, de los ministerios de Salud, Turismo y del Ambiente.

Las aguas termales y minerales en nuestro país, genéticamente están relacionadas con el volcanismo Plio-pleistocénico y Reciente. Se trata de un recurso finito -agotable-, por este motivo su explotación debe hacerse en forma racional, observando severas técnicas de producción. De otra manera podría perderse este recurso invaluable.

Es imperativo dedicar esfuerzos que se orienten al estudio e investigación sistemático y planificado de nuestras aguas termales, minerales y naturales de montaña, así como ha preparar el personal técnico y científico para aprovechar este recurso mineral, posiblemente el máspreciado de este nuevo milenio.

Es hora de iniciar el uso integral de nuestras aguas termales y minerales, así como desarrollar programas de Termalismo Social, Medicina Preventiva y Turismo.

Por datos publicados por el Dr. José Muñoz (1975), Profesor Honorario de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Central, en su artículo “Aguas Minerales y Termalismo Social”, conocemos que en 1.974 en Checoslovaquia el movimiento

turístico a los balnearios de ese país fue el 100% de 3.165.868 de turistas nacionales y 65.120 extranjeros, que constituyeron el 100% de los turistas, en Italia en el mismo año 6.175.340 turistas extranjeros y 4.568.248 nacionales se movilizaron a los balnearios.

11.1 ORIGEN DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES

Las aguas termales y minerales en nuestro país, genéticamente están relacionadas con el volcanismo Plio-pleistocénico, el cual es muy difundido dentro de la región interandina. El mayor número de aguas termales y minerales generalmente se encuentran distribuidos alrededor de los volcanes como ocurre con el Ilaló, Tungurahua, Imbabura, Cotopaxi y otros (Foto No. 43-44-45), o alineadas junto a fallas regionales de dirección andina. En especial nos referimos a los dos sistemas de fallas tectónicas de dirección andina, el sistema de fallas de dirección andina y el sistema de fallas de dirección interandina.

fallas que están limitando al graben de Quito o fosa interandina, se trata del sistema Peltetec-Baños, por el flanco oriental del graben y el sistema Calacalí-Pallatanga-Palenque por el flanco occidental.

242



Foto No. 43.- Volcán Tungurahua, con el cual genéticamente se relacionan las aguas termales y minerales de Baños.



Foto No. 44-45.- Volcán Cotopaxi, con el cual genéticamente se relacionan las aguas minerales de Machachi.

Quisiera ilustrar esto con un ejemplo, el cual se basa en las observaciones hechas por el autor en el volcán Pichincha a partir de 1983. El monitoreo geológico y las

observaciones hechas a partir de esa fecha, ponen en evidencia que la actividad del volcán, esta relacionada a una falla activa y un sistema de fisuras paralelas de dirección este-oeste. Esta falla a la cual hemos denominado falla principal, es la que

243

une a la cámara magmática en permanente proceso de desgasificación con un sistema hidrotermal abierto (Paladines A. Revista Oro y Petróleo, Quito 2.001).

En la actualidad la actividad del sistema hidrotermal se evidencia en la existencia de manantiales de agua termal y fumarolas con emanaciones gaseosas intermitentes, que ocurren a lo largo de la falla principal y las fisuras paralelas. Las observaciones hechas demuestran, que la localización de los pequeños focos por donde han emanado las fumarolas y las aguas termales, lentamente se han desplazado hacia el oeste. En el terreno, se puede observar dos focos apagados, localizados hacia el este del cono que se originó en la explosión freática del 5 de octubre de 1.999.

En relación al aparecimiento del último domo ocurrido en esa fecha, es indudable que el control y localización del mismo, está relacionado a la falla activa, como se señaló esta falla, une verticalmente, a la cámara magmática, con el sistema hidrotermal. El domo es parte de este sistema y se ha formado debido a la actividad hidrotermal de los gases, los cuales durante tiempos geológicos han fisurado y alterado hidrotermalmente (cocinado) a las rocas del conducto. Otro hecho que confirma la actividad hidrotermal del Guagua Pichincha, es la afluencia anómala de aguas termales que se observó luego de la explosión y que fluyeron hacia el río Cristal, el cual nace junto al cráter del Guagua Pichincha. Durante las explosiones freáticas del Pichincha ocurridas en 1.999, las aguas de este río aumentaron notablemente su volumen y la temperatura de las mismas subió hasta 40°C. Los focos y manantiales de aguas termales y minerales originados en otros volcanes del norte del país tienen una génesis similar.

En la región austral, en cambio es común encontrar fuentes de aguas termales y minerales junto a yacimientos de minerales de origen hidrotermal especialmente epitermales de oro y plata; o junto a depósitos de travertino y vetas de travertino – onix. La génesis de los yacimientos de travertinos esta relacionada con el transporte del carbonato de calcio disuelto en las aguas termales, el mismo que debido al cambio de las condiciones físico-químicas luego es depositado en condiciones superficiales o en fisuras, como ocurre con los depósitos de travertino de Baños y Guapán en la cuenca de Biblian (Azoguez - Fotos No. 46), los travertinos de la mina “La Cría” y la veta Duxe de onix - travertino en la zona de San Isidro y Manú en el limite de las provincias de Azuay y Loja.



Foto No.46.- Manantiales de aguas termales que afloran en el sitio de la cantera donde se explotaron los travertinos de Guapan, en la actualidad se desperdician.

11.2 UBICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS TERMALES Y MINERALES

En el país como se anotó antes, una de las pocas publicaciones sobre este apasionante tema es la hecha por el Dr. Muñoz y data de 29 años atrás, sin embargo son los únicos datos de que disponemos. En ella se señala que en el Ecuador a esa fecha se conocían 152 fuentes de aguas minerales y termales, a las cuales los autores han añadido 15 adicionales que conocen, por lo que en la actualidad el número de manantiales o fuentes sería de 167, distribuidas de la siguiente manera: 55 en Pichincha, 20 en Imbabura, 17 en Loja, 13 en Cotopaxi, 11 en Carchi, 10 en Tungurahua, 9 en Chimborazo, 9 en Manabí, 6 en Napo, 5 en Cañar, 5 en Azuay, 2 en Pastaza, 2 en Bolívar, 2 en El Oro y 1 en Guayas. (Tabla No. 13)

AGUAS MINERALES DEL ECUADOR
(Summary of the Mineral Waters of Ecuador)
Clase o Sub-clase

Provincia	Cloruradas	Acidulo-alcalinas Bicarbonatadas	Alcalinas y mixtas	Ferruginosas (y arsenicales)	Sulfuradas	Sulfatadas alcalinas y mixtas	Radioactivas	Raras	No. estudiadas	TOTAL
Carchi	-	4	5	1	-	-	-	-	1	11
Imbabura	2	3	4	5	-	1	-	-	5	20
Pichincha	2	7	16	5	1	1	1	-	22	55
Cotopaxi	1	3	7	1	-	-	-	1	-	13
Tungurahua	-	1	1	-	-	3	-	-	5	10
Chimborazo	1	-	1	1	1	-	1	1	5	9
Azuay	1	-	1	-	1	-	-	-	2	5
Loja	1	-	1	2	1	1	-	-	11	17
Bolivar	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Los Ríos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guayas	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
El Oro	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2
Manabí	-	-	-	-	-	1	-	-	8	9
Esmeraldas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Napo-Pastaza	-	1	3	-	-	-	-	-	4	8
Galapagos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santiago-Zamora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SUMAN										167

Tabla No. 13.- Cantidad y ubicación de las aguas minerales del Ecuador.

Por su composición mineralógica las aguas del país se clasifican en: Cloruradas 9, Acídulo-alcalinas 19, Bicarbonatadas alcalinas y mixtas 40, Ferruginosas y Arsenicales 15, Sulfuradas 5, Sulfatadas alcalinas y mixtas 7, Radioactivas 2, Raras 2 y No estudiadas 68.

“El agua mineral natural (se define) como el agua no contaminada, que ha surgido del suelo y que, por sus propiedades físicas o físico-químicas, por sus componentes químicos o por sus gases disueltos, o por todos esos factores, es susceptible de aplicaciones dietéticas y de producir acciones fisiológicas en el organismo humano”

Para comprender mejor la clasificación de las aguas minerales según Parabino Amadeo (Tabla No. 14), que se da más adelante, es necesario previamente dar algunos criterios fundamentales de clasificación como lo hace el Dr. Muñoz.

Clasificación de las aguas minerales:

- Según la salinidad global, tenemos aguas: Oligo-metálicas (con residuo seco de hasta 0.2 g.), de media mineralización (con residuo seco de 0.2-1 g.), de fuerte mineralización (con residuo seco de 1-2 g.), de muy fuerte mineralización (con más de 2 g. de tipo marino).
- Según la termalidad, tenemos: aguas: Frías o atermales (con temperaturas de menos 20°C), Hipotermas (con temperaturas de 20-30°C), Mesotermas (con temperaturas de 30-40°C), Hipertermas (con temperaturas de más de 40°C).
- Según la tonicidad, tenemos aguas: Hipotónicas, si la presión osmótica es menor a 6.5 at. Isotónicas, si la presión osmótica es igual a 6.5 at. Hipertónica, si la presión osmótica es mayor a 6.5 at.

AGUAS MINERALES

De acción fisiológica	Modalidad	Aguas correspondientes
I. DIGESTIVA	Eupéptica	Acídulas, alcalinas,
		Cloruradas, sulfuradas
	Purgativa	Cloruradas (acción suave)
		Sulfurosas
		Sulfatadas
	Alterante	Bromuradas
Ioduradas		
II. CARDIOVASCULAR	Estimulante	Cloruradas
		sulfurosas
	Diluyente	Alcalinas (en altas dosis)
	Reconstituyente	Acídulas
Ferruginosas		
III. RESPIRATORIA	Sedativa	Acídulas
	Alterante	Alcalinas, ferruginosas, ioduradas y sulfurosas
IV. URINARIA	Diluyente	Acídulas, cloruradas, sulfurosas, sulfatadas (de base alcalina)
	Estimulantes	Alcalinas
V. GENITAL	Estimulante	Alcalinas, sulfurosas, ferruginosas
	Emenagoga	Sulfurosas
	Específica modificadora	Ioduradas, sulfurosas, bromuradas
		Ioduradas
	Sedante	Sulfatadas
	Estimulante	Acídulas, alcalinas, sulfurosas

VI. NERVIOSA	Acidulas, alcalinas, sulfurosas	
	Sedantes	Sulfatadas

Tabla No. 14.- Clasificación de las aguas minerales, según Barabino Amadeo

En el Ecuador es imperativo dedicar esfuerzos que se orienten al estudio e investigación sistemático y planificado de nuestras aguas termales, minerales y naturales de montaña, así como a preparar el personal técnico y científico para aprovechar este recurso posiblemente el máspreciado de este nuevo milenio.

Es hora de iniciar el uso integral de nuestras aguas termales y minerales, así como desarrollar programas de **TERMALISMO SOCIAL OBLIGATORIO Y DE MEDICINA PREVENTIVA** (Fotos No. 47).



Fotos No. 47.- Aguas termales del salado (Baños Tungurahua).

Las aguas termales se usan también como un valioso metalotecto o guía, para la búsqueda de zonas mineralizadas en especial del tipo epitermal. En el territorio nacional es muy común encontrar aguas termales asociadas a yacimientos auríferos de origen hidrotermal. Esta consideración parte de la experiencia de los trabajos de campo realizados, en los cuales generalmente coincide, que trazando un circulo de 10 k. tomando como centro una vertiente de agua termal, en dicha superficie existe la posibilidad de encontrar una concentración mineral de tipo epitermal, esta experiencia deberá ser probada por el lector, considerando casos conocidos como en Cuellaje, Aguas Calientes, Puyo, Machala y otros.

CAPÍTULO XII

EL PETROLEO

El petróleo es uno de los primeros minerales que conoció y utilizó el hombre. Existen indicios de que en el Neolítico, el hombre empleó asfaltos naturales en la construcción; “los sumerios los utilizaron para calefatear sus barcas, y los egipcios en la conservación de momias. Los japoneses usaban aceite de roca para la iluminación hace 2.000 años. Los chinos parece que hicieron perforaciones en busca de petróleo hacia el año 221 a.C. Herodoto cuenta que los romanos lo emplearon para el alumbrado”. (Enciclopedia Salvat, 2.004 Tomo 16).

En el Ecuador en la región nororiental, las arenas saturadas de petróleo pesado y asfalto, afloran a lo largo de las riveras de los ríos Hollín, Jondachi y Napo, por lo que

se le llama “petróleo de las arenas”. Los nativos de esta región desde siempre han utilizado el asfalto para sellar sus canchales y para proteger a las canchales, como los shuar, hasta ahora. En el caso de Santa Elena en la costa ecuatoriana de igual manera, el petróleo aflora a la superficie y posiblemente fue utilizado con las mismas finalidades por los nativos de esta región.

El petróleo se define como un “Líquido natural oleoso, inflamable, de olor característico, color amarillo oscuro o negro, compuesto generalmente de hidrocarburos, con densidad entre 0.8 y 0.95; está constituido en un 50-98% de hidrocarburos (parafinas, naftenos e hidrocarburos aromáticos) y el resto de materias orgánicas que contienen O, N, S y otras trazas de compuestos orgánicos metálicos (Salvat, 2.004).

La aparición del petróleo como fuente de energía alterna al carbón es reciente. Las primeras explotaciones comerciales se hicieron en Rumania en 1.857. En la actualidad es el combustible preferido. El 90% del petróleo consumido se destina a la combustión de motores, además se emplea para obtener productos químicos, medicamentos, lacas, disolventes, plásticos, antisépticos y otros.

El petróleo se refina por destilación, que consiste en separar fracciones que hierven a diferentes intervalos de temperatura. La primera fracción (-165 a 30°C) está constituida por vapores destilados, denominados gases de refinería, que se emplean como combustibles de uso doméstico e industrial. La segunda fracción (40-180°C) está constituida por gasolinas que se usan en automóviles, la tercera fracción (180-250°C) está constituida por el queroseno y se emplea como combustible de aviones.

entre 190-350°C) para obtener los 30% se utiliza como combustible y sobre los 360°C se obtiene los aceites lubricantes. El último residuo que se obtiene está formado por una mezcla de alquitranes que constituyen el asfalto, estos últimos productos

249

derivados se emplean en diferentes ramas de la industria, en la construcción y la vialidad.

El petróleo sin lugar a dudas es de origen orgánico, y se encuentra en cuencas sedimentarias de edades comprendidas entre el Cámbrico (Centroamérica) y el Plioceno (California, Iran, Irak, Rusia y otras). Sin embargo es necesario señalar que es durante el periodo Terciario cuando se forman los depósitos más importantes. Los yacimientos industriales de hidrocarburos se encuentran por lo general localizados en arenas, areniscas, conglomerados, calizas y dolomías porosas.

La compactación (diagénesis) de los sedimentos donde se origina el petróleo, da lugar a una roca sedimentaria impregnada de petróleo que se denomina roca madre. Luego de su formación se produce la migración de los hidrocarburos, “en un proceso lento y todavía no conocido perfectamente, los fluidos buscan presiones mas bajas y, si nada los detiene, alcanzan la superficie. Para que se forme un yacimiento es necesario que el petróleo encuentre algún obstáculo, constituido por rocas impermeables, que le impida continuar progresando antes de alcanzar la superficie. Las estructuras que cumplen esta finalidad se denominan trampas petrolíferas y la roca donde finalmente se acumula el petróleo recibe el nombre de roca almacén y debe tener una porosidad adecuada para contenerlo” (Salvat, 2.004).

Los yacimientos petrolíferos del Oriente ecuatoriano, son de edad cretácica, la roca almacén está constituida por las areniscas de la formación Hollín y por niveles superiores de areniscas localizados de preferencia en la parte inferior de las formaciones Napo y Tena, la roca madre posiblemente es la formación Napo. Las trampas petrolíferas están constituidas mayormente por estructuras de pliegues sencillos (anticlinales) y por fallas, las trampas estratigráficas tienen un gran potencial de desarrollo. En la península de Santa Elena el petróleo se encuentra almacenado en areniscas de edad Neogénica, las trampas petrolíferas son principalmente de fallas y estratigráficas, tectónicamente esta región está constituida por un sistema de bloques





Fotos No. 48.- Pozo Lago Agrio No. 1 (16 de febrero 1967) con el cual se descubrió el petróleo; el gas asociado al petróleo se quema, constituyéndose en fuente de contaminación.

250

Como se señaló antes, las primeras explotaciones comerciales de petróleo, se realizaron en Rumania (1.857). Años más tarde con el descubrimiento del motor de explosión y luego con el estallido de la primera Guerra Mundial, la producción de petróleo se incrementó notablemente: entre 1.860-1.920 la producción se centuplicó, de 1.926-1.937 se duplicó y de 1.937-1.951, debido principalmente al estallido de la Segunda Guerra Mundial, se produjo una cantidad de petróleo mayor que en todos los años precedentes. Para asegurar el abastecimiento de petróleo a los países aliados durante la guerra, se aceleró la explotación de los recursos del Oriente Medio. Después de la guerra, la demanda de petróleo por parte de los Estados Unidos y los países de Europa, acentuaron la explotación de hidrocarburos en los países árabes, así como en Canadá y Venezuela. Por estos años los países del Oriente Medio satisfacían el 50% de las necesidades mundiales, convirtiéndose en los primeros productores, puesto que lo mantienen hasta la actualidad. Entre los años 1.953-1.963 la producción de petróleo nuevamente se duplica.

En contraste de lo que ocurría con la producción que creció vertiginosamente, el precio del barril de petróleo durante los 100 primeros años 1.860-1.960, no llegó a sobrepasar 1-1.5 dólares. Además, era evidente que se producía un despilfarro de este recurso por parte de los países capitalistas (máximos consumidores). Esto motivó a que los países productores se organizaran y en la década de los sesenta formen la organización de Países Exportadores de Petróleo OPEP, organismo al cual se integró el Ecuador en la década de los setenta.

La finalidad de la OPEP, fue como se señaló, la de defender la producción y los precios del petróleo, evitando una explotación irracional de este recurso estratégico por parte de las grandes compañías explotadoras y comercializadoras. En esta lucha justa “los países de la OPEP, solicitaban el aumento del precio de los crudos y la elevación del tipo impositivo fijado para las exportaciones. Apoyaban su demanda fundamentalmente en el desigual reparto del beneficio obtenido del petróleo, pues mientras los navieros y las Haciendas de los países consumidores se quedaban con el 75.5% del mismo, los países productores solo disfrutaban del 6.3%. Es decir los países de la OPEP estaban en realidad financiando una parte del desarrollo europeo, en lugar de potenciar sus propias economías. Las compañías, por su parte, sostenían que la aportación de los países productores al proceso de extracción y distribución del petróleo era nula, por lo que cualquier aumento era injustificado” (Salvat, 2.004).

En esta lucha triunfaron los países de la OPEP, gracias a su organización y tenacidad al defender una causa justa, en la próxima década, entre 1.971-1.981, el precio del barril de petróleo subió de 2.55 dólares a 34 dólares, que fue el precio de referencia establecido para el barril de petróleo Arabia Ligero (34 grados API) en noviembre de 1.981. En la década de los 70 se inicia también la nacionalización de las grandes

compañías petroleras; Libia nacionaliza la British Petroleum (enero de 1972) e Irak la Irak Petroleum, ejemplo que seguirían luego otros países de la OPEP.

Durante las décadas de los 80 y 90 el precio del barril de petróleo fluctúa alrededor de los 20 dólares. En agosto del 2.004 (Diario El Comercio), el precio del barril de

petróleo vuelve a dispararse, hasta alcanzar la cifra de 46.91 dólares y luego de 50 dólares y más; durante el año 2.008 el petróleo alcanza cifra record que llega los 150 dólares el barril, el alza de los precios del petróleo en la última década se ha producido debido a la crisis de Irak provocada por la guerra, a lo que se suma la inestabilidad en Venezuela, la creciente demanda de petróleo por parte de China y los problemas legales de la petrolera rusa OAO Yukos.

A continuación los países y compañías que poseen las mayores reservas petroleras del mundo (Tablas No. 15 y 16; Fig. No. 79 y 80); así como: productores por país y región (Fig. No. 81-82), consumidores (Fig. No. 83), y exportadores líderes (Fig. No. 84). Las cifras provienen de la agencia de Información de Administración de Energía (AIE) y su más reciente información estadística, publicada en junio del 2.008, incluyendo datos de fines del 2.007, y otros datos recolectados por periodistas de Reuters (Londres).

*Datos de Revisión Estadísticas de Energía Mundial BP junio 2.008.

** Datos de Administración de Información de Energía EEUU.

*** Cifras de reporte anual Exxon Mobil abril 2.008 **** Cifras basadas en guías de Sociedad de Ingenieros del Petróleo.

++ Datos de Investigación de Inteligencia de Energía (Compilado por Alastair Sharp).

Mayores Reservas de Petróleo en el mundo

RESERVAS COMPROBADAS DE PETROLEO			
No.	País	(Mil millones de toneladas)	(Mil millones de barriles)
1	Arabia Saudita	36,3	264,3
2	Irán	19	138,4
3	Irak	15,5	115
4	Kuwait	14	101,5
5	Emiratos Arabes Unidos	13	97,8
6	Venezuela	12,5	87
7	Rusia	10,9	79,4
8	Libia	5,4	41,5
9	Kazajistán	5,3	39,8
10	Nigeria	4,9	36,2
11	EEUU	4,6	29,4
12	Canadá	4,2	27,7
13	Qatar	3,6	27,4

14	China	2,1	15,5
15	Brasil	1,7	12,6

Tabla No. 15.- Los 15 principales países con las mayores reservas de petróleo*

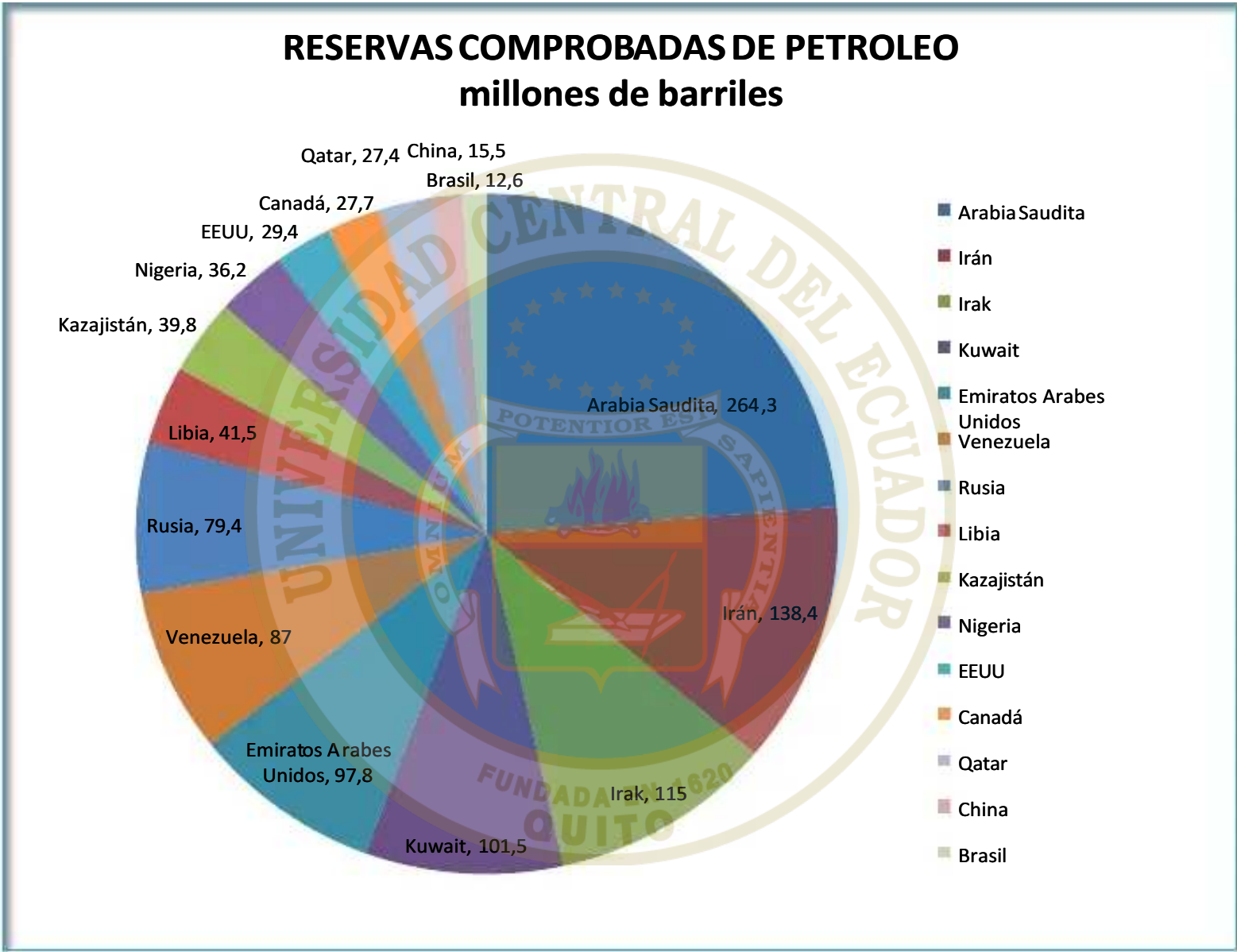


Fig. No.79.- Los 15 principales países con las mayores reservas de petróleo (miles de millones)*

No.	COMPAÑÍA	PAÍS	RESERVAS millones de barriles
1	Saudi Aramco	Arabia Saudita	264.300
2	NIOC	Irán	138.400
3	INOC	Irak	115.000
4	KPC	Kuwait	101.500
5	PDVSA ++	Venezuela	79.700
6	Adnoc ++	Emiratos Arabes Unidos	59.269
7	Libya NOC ++	Libia	30.544
8	NNPC ++	Nigeria	21.720

9	CNPC ++	China	19.748
10	Rosneft ++	Rusia	15.963
11	Pemex ++	México	12.849

12	Lukoil ++	Rusia	12.742
13	Sonatrach	Argelia	11.587
14	Exxon Mobil ***	EEUU	11.074
15	QP ++	Qatar	10.944

Tabla No. 16.- Principales 15 compañías poseedores de las mayores reservas mundiales de petróleo (año 2.006)

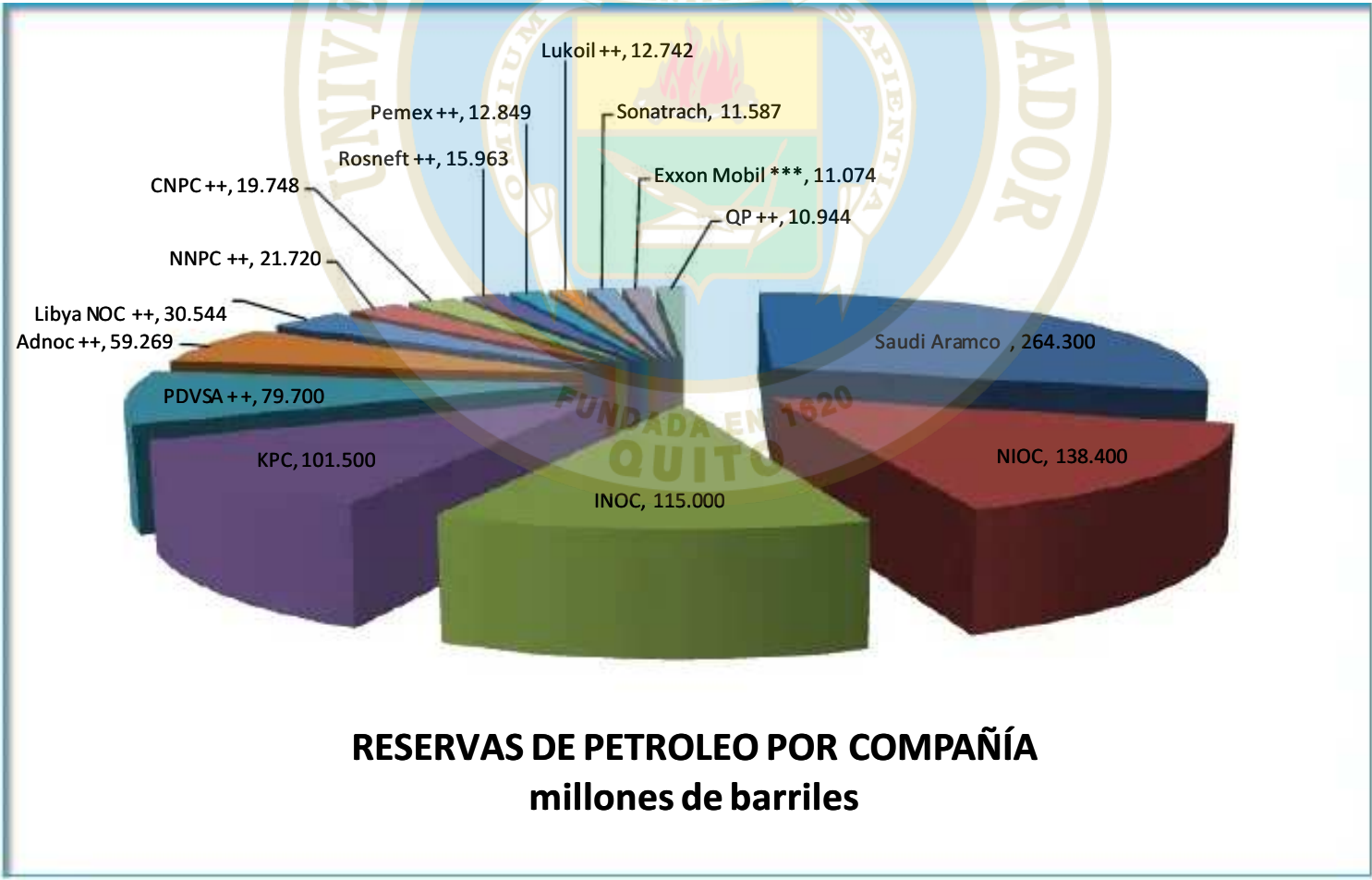


Fig. No. 80.- Principales 15 compañías poseedores de las mayores reservas mundiales de petróleo (año 2006)

Mayores Productores de Petróleo en el mundo

Entre los primeros países productores (en miles de barriles diarios) están: Arabia Saudi con 10.413, Rusia con 9.978, Estados Unidos con 6.879, le siguen Irán, China, México, Canadá, Emiratos Árabes, entre otros. Esto se resalta en las figuras No 81-82.

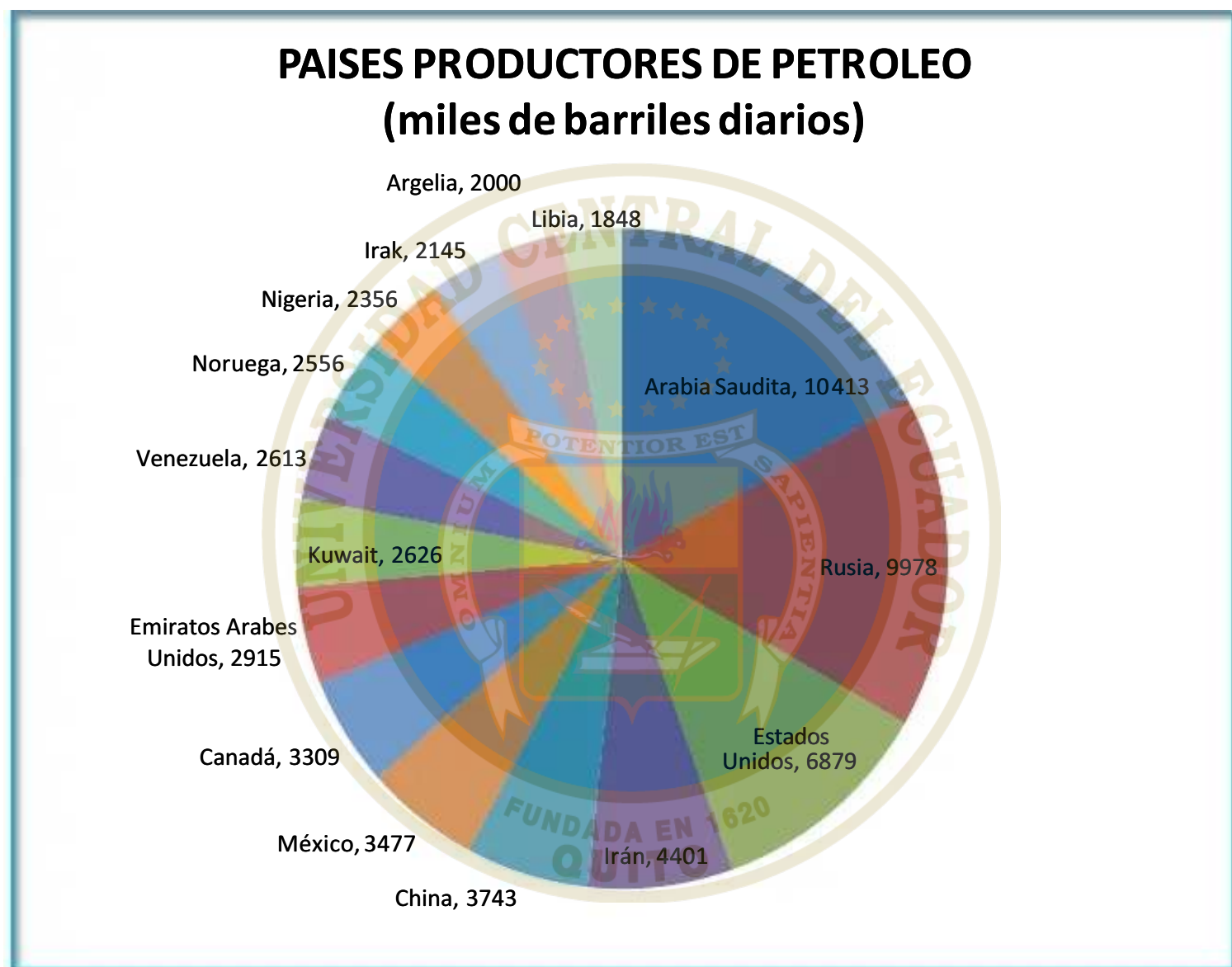


Fig. No. 81.- Principales 15 países productores de petróleo, (año 2007)*



Mayores Consumidores de Petróleo en el mundo

255

Entre los primeros países consumidores de petróleo (en miles de barriles diarios) están: en primer lugar los Estados Unidos con 20.698, le siguen China con 7.855, Japón con 5.051 luego: India, Rusia, Alemania, entre otros (Fig. No. 83).

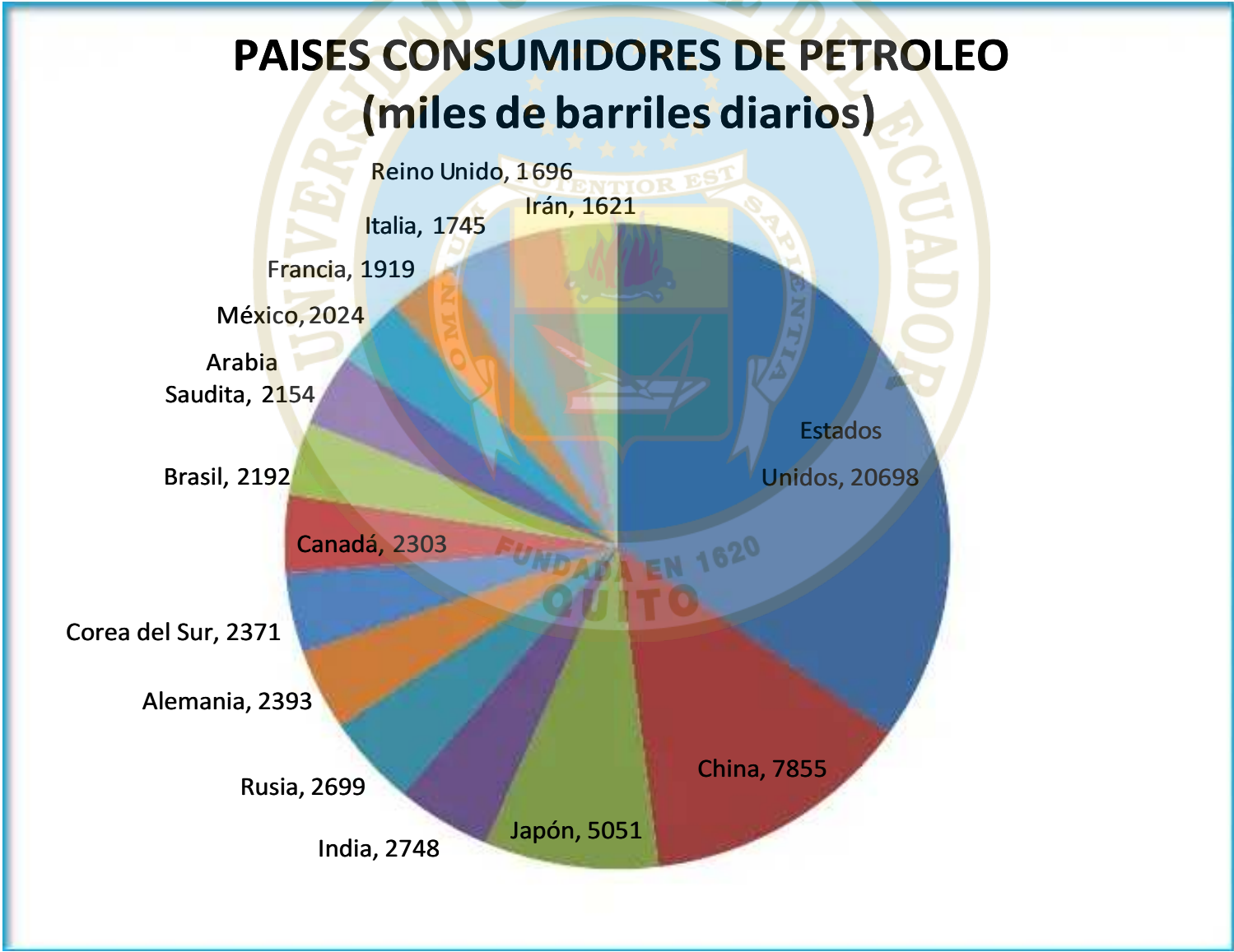


Fig. No. 83.- Principales 15 países consumidores de petróleo (año 2007)*

Una de las paradojas de este siglo entrante es que, a pesar de la transformación creciente de la sociedad y de nuestras vidas diarias, el mundo del siglo XXI sigue basado en el medio que ha servido para mover el siglo XX: el petróleo, la mayor fuente de energía primaria utilizada hoy en día. El 38%,* del consumo de la energía primaria mundial proviene del petróleo, y actualmente se consumen 75 millones de barriles por día (mb/d), tendencia que no ha parado de crecer en las últimas décadas. Por otro lado, es obvio que la utilización del petróleo no es igual en todo el planeta. Así, EEUU. por ejemplo, consume 8 veces más que toda África.

Asia, EEUU, por ejemplo, consume 6 veces más que toda África.

El principal consumidor de petróleo del mundo es EEUU, con un 26% del consumo mundial, a pesar de que representan solo el 5% de la población mundial.

Asimismo, el continente que registra una mayor subida en el uso del petróleo es Asia, que en los diez últimos años ha visto aumentada su cifra de consumo petrolífero en un tercio, alcanzando la cifra de 20.9 mb/d. Dentro del continente asiático China es el país que mayor aumento ha sufrido: se han duplicado sus necesidades, pasando de 2.5 mb/d en el 1.991 a 5 mb/d en el 2.001. Teniendo en cuenta esta tendencia, en los próximos 20 años se prevé que esa cifra alcance 10 mb/d.

Tras EEUU y Asia, Europa es la tercera en consumo de petróleo (16 mb/d). La única región en la que ha habido un descenso neto del consumo de petróleo es la formada por los países de la ex URSS. Con un descenso de más del 50%, pasa en 1.991 de 8 mb/d a 3.5 mb/d en 2.001.

Mayores Exportadores de Petróleo

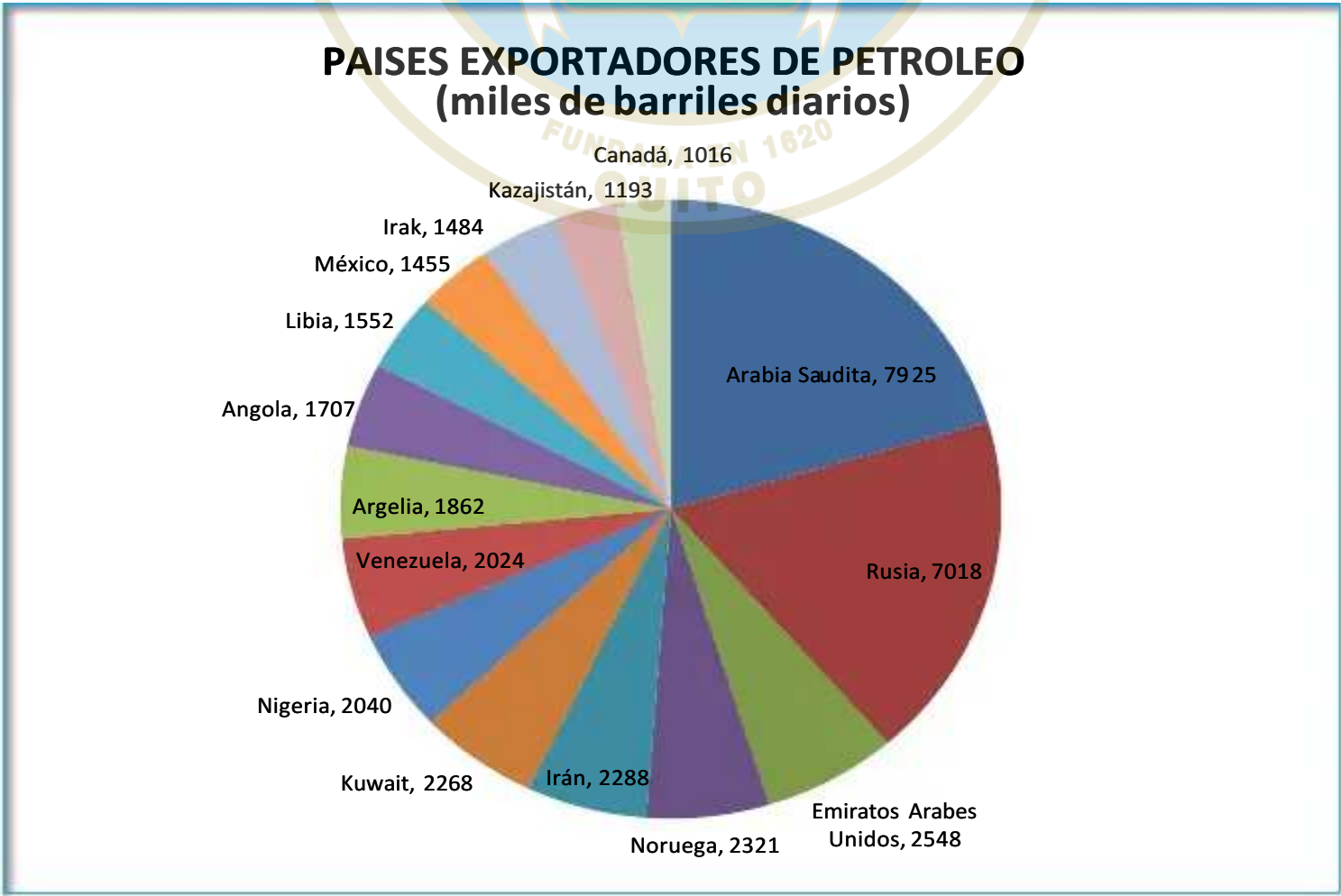


Fig. No. 84.- Principales 15 paises mayor exportadores petróleo (año 2007)**

Principales Exportadores de Crudo a los EE.UU.

Los principales exportadores de petróleo a EEUU son: Canadá, Arabia Saudita, Venezuela, México, Nigeria y paradójicamente Irak (Fig. No. 85).

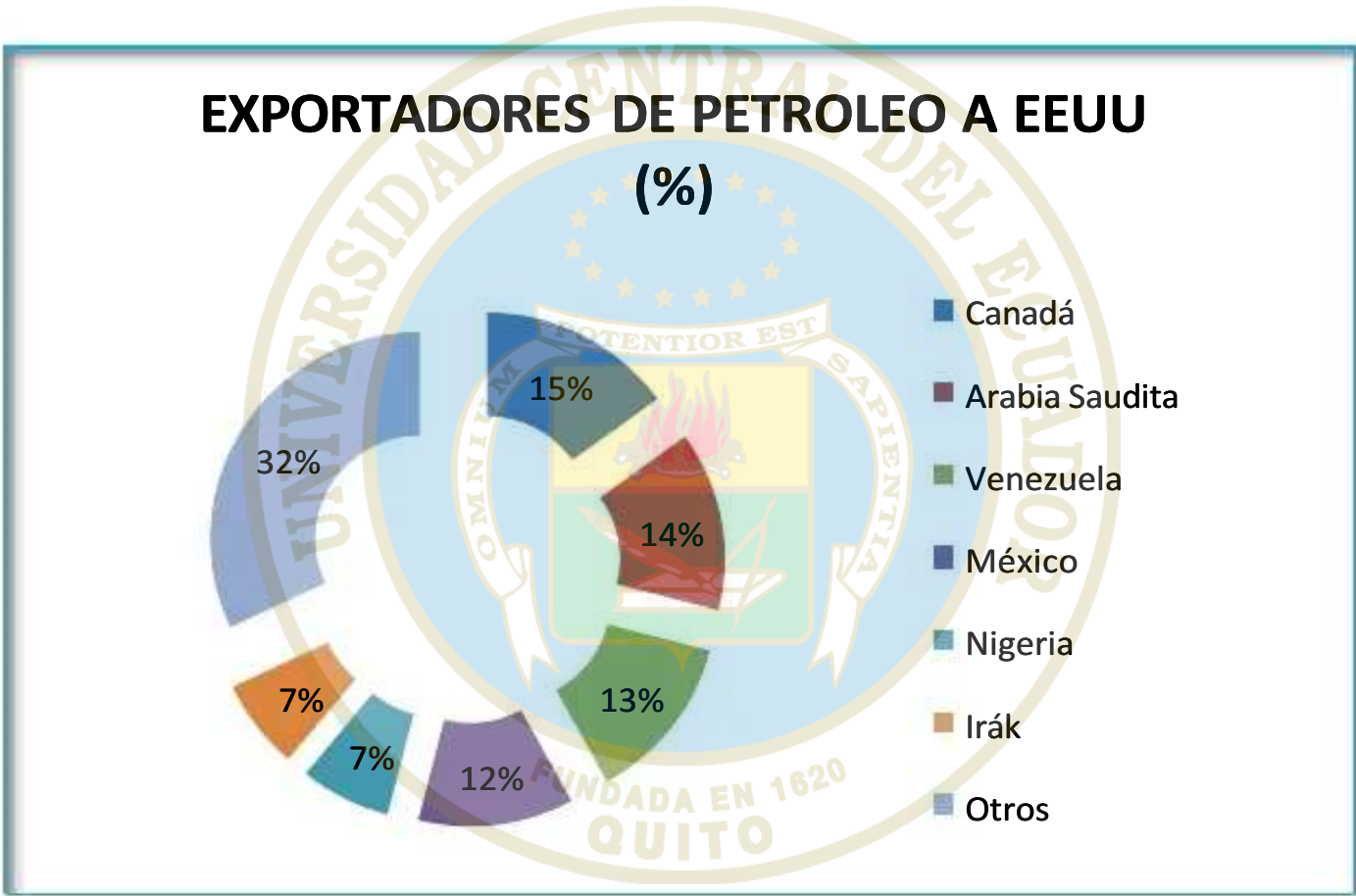


Fig. No. 85.- Principales exportadores de petróleo a EEUU.

El mundo ha gastado sólo el 18% de las reservas de petróleo. Esta es la conclusión a la que ha llegado el presidente de la petrolera estatal saudí Arabian Oil, Abdallah S. Jum'ah, en la última reunión de la OPEP en Viena. En una lectura optimista, y suponiendo un consumo constante de petróleo, esto es, que todos los años se consumiera lo mismo que el ejercicio actual, tendríamos petróleo para 140 años. En el otro lado de la balanza, si suponemos un incremento anual del consumo en un 2% y atendiendo a las cifras aportadas por los expertos, que reducen en un 12% las reservas de crudo y que incluyen nuevas reservas que aún no se han descubierto, las existencias del preciado oro negro se agotarían en el 2.070.

En conclusión podemos decir que el petróleo es un recurso importante, ya que el 90% de nuestras industrias y transporte utiliza este recurso, creo que debemos tomar conciencia en la forma como lo explotamos y darle el mejor uso, para que dure muchos años mas y no pasemos una escasez que en muchos casos nos conllevan a guerras y conflictos.

El Ecuador tiene reservas del orden de 4500 millones de barriles la producción diaria

El Ecuador tiene reservas del orden de 4500 millones de barriles, la producción diaria en los últimos 5 años ha fluctuado alrededor de los 500 mil barriles diarios, en base a los últimos estudios con una producción similar, el país tiene reservas hasta el año 2.045.

258



12. 1 LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS PETROLÍFERAS EN EL PAIS.

El territorio del Ecuador se encuentra localizado en el borde occidental activo de Sudamérica, a lo largo del cual en forma permanente chocan, las placas de Nazca y Cocos de origen oceánico que derivan hacia el este, con la placa Sudamericana de origen continental que deriva hacia el oeste.

La construcción tectónica y desarrollo de los Andes ecuatorianos, al igual que todo el cinturón orogénico Andino, esta determinado ante todo por un tipo de zonificación geotectónica y mineralogénica orientado en sentido longitudinal, el cual se refleja en un cambio lateral paulatino desde el antiguo continente sudamericano (estrucho Brasileño-Guayanes), hasta el océano Pacífico. Si consideramos la evolución y migración de la zona de subducción de oeste a este, en los Andes ecuatorianos se destacan seis bloques o unidades geotectónicas:

Cuenca antearco de la Costa,
Cordillera Occidental,
Cuencas intermontañas,
Cordillera Central o Real,
Zona Subandina y
Cuenca transarco de Iquitos

Para los fines de este trabajo son de interés la cuenca antearco de la Costa, así como la zona subandina y la cuenca transarco de Iquitos las cuales juntas conforman la cuenca Oriental.

12.1.1 CUENCA ANTEARCO

Esta zona geotectónica comprende la parte baja del país y se extiende al oeste de la cordillera Occidental. En territorio del Ecuador tiene una extensión de más de 500 k. y un ancho promedio de 120 k. y esta conformada de norte a sur por las siguientes cuencas: Borbón y sur de Esmeraldas, norte de Manabí y sur de Manabí y Progreso o Guayaquil que continúa hacia el sur con la cuenca de Talara, localizada al noroeste del Perú.

Desde el punto de vista mineralogénico, es de interés la cuenca Progreso o Guayaquil, por contener petróleo y gas. La cordillera de Chongón - Colonche, límite norte de la zona transversal Puna-Méndez (Paladines, 1989), es a su vez el límite norte de la cuenca Progreso.

La región localizada al norte de la cordillera de Chongón - Colonche se caracteriza por la ausencia total de afloramientos de complejos de rocas metamórficas de edad precretácica, las cuales no se fijan incluso con métodos sísmicos, y, por altas anomalías gravimétricas positivas del orden 100-150 mg. Estas dos características permiten contraponer esta región, a la región localizada al sur de la cordillera de Chongón-Colonche, para la cual es característico el afloramiento de rocas metamórficas de edad Precámbrica y Paleozoica que constituyen el núcleo de las cordilleras de Tahuín-Larga y los Amotapes y su continuación en las cordilleras de la Costa del Perú y Chile, así mismo es característico el desarrollo de cuencas antearco sobre corteza de tipo continental, la cual se fija incluso a lo largo de la fosa Perú-Chile.

En los Andes nórdicos la región costanera esta constituida por dos pisos estructuro-formacionales: el inferior que aparece plegado y el superior que no esta plegado.

El complejo plegado esta compuesto de rocas de edad jurásico-cretácica y aflora en la serie de elevaciones de bloque tipo horst, entre las cuales se destacan: las cordilleras de Chongón-Colonche, Jama Coaque y Río Verde y la cordillera de la Costa colombiana (sierra de Baudó), la cual en el norte se dirige hacia el occidente y constituye la sierra de Darién en Panamá. En el núcleo de estas estructuras afloran rocas volcánicas constituidas de lavas y brechas submarinas de composición basáltica, piroclastos turbidíticos débilmente estratificados con restos de capas pelágicas., que en conjunto constituyen las formaciones Cayo y Piñón de edad Cretácica. Las lavas se caracterizan por tener estructura masiva tipo “pillow” generalmente son porfiríticas y químicamente son basaltos toleíticos de tipo oceánico.

Entre las estructuras levantadas están localizadas las cuencas o grabens, rellenas por formaciones sedimentarias marinas que constituyen el piso estructural no plegado de edad terciaria, de norte a sur tenemos las siguientes cuencas: Atrato-San Juan, Borbón y Manabí, en estas cuencas hasta ahora no se ha encontrado hidrocarburos.

260

Hacia el sur de la cordillera de Chongón-Colonche tenemos la cuenca Progreso o de Guayaquil localizada sobre corteza de tipo transicional, cuya continuación al sur es la cuenca de Talara en el noroeste peruano. Las cuencas Progreso y Talara están constituidas por un sistema de bloques levantados y hundidos tipo block-faulting y son de enorme importancia por la producción de petróleo liviano de gran calidad desde principios del siglo XX. La región de la depresión costanera está separada de la cordillera Occidental, por un sistema de fallas profundas -zona de sutura-, la potencia de la corteza terrestre en sus límites es del orden de 30-35 k.

La secuencia estratigráfica de la cuenca Progreso empieza con las calizas de la formación San Eduardo, que afloran a lo largo del flanco sur de la cordillera de Chongón-Colonche, en donde tienen al igual que esta última un rumbo cercano al transversal. La formación San Eduardo está compuesta por calizas clásticas y por turbiditas con areniscas calcáreas bien estratificadas y con raras intercalaciones de lutitas y sílice, su potencia alcanza 200 m, su fauna está representada por Archelithotamnium, discocyclina Anconensis y otros, lo que le da una edad del Eoceno inferior -medio, esta formación constituye un flysch calcáreo depositado en condiciones abisales.

La formación San Eduardo esta cubierta por el complejo Olistostrómico alóctono de Santa Elena, en el cual se destacan tres olistostromas:

El complejo basal olistostrómico “wildflysch” descansa sobre las formaciones Piñón y Cayo. El olistostromo, esta constituido de olistolitos que contienen basaltos y argilitas de las formaciones cretácicas, su potencia varia de 200 a 1.000 metros, las rocas de la matriz están compuestas por areniscas que contienen foraminíferos: Bolivina, Bulimina del Eoceno medio- superior (Bristow y Hoffstetter, 1.977).

El segundo olistostromo “Azúcar “, es el más importante. Su potencia alcanza 3.500 metros, esta compuesto por olistolitos muy grandes, con longitudes de más de 10 k. constituidos por areniscas, conglomerados y rocas de las formaciones Cayo y Piñón.

El tercer complejo olistostrómico o “Clay Pebble Bed” contiene olistolitos de las formaciones Cayo y San Eduardo y también conglomerados y areniscas del complejo Azúcar, su matriz esta constituida de arcillas arenáceas que contienen fósiles de Hastigerinella de edad eocénica- media.

El complejo Santa Elena está constituido además por tres pequeños olistostromas, compuestos por rocas del Paleógeno, Eoceno inferior y medio de origen desconocido. El complejo de Santa Elena está difundido exclusivamente al sur de la cordillera Chongón-colonche

En la parte sur de la cuenca Progreso, en el golfo de Guayaquil, tienen gran difusión sedimentos areno-arcillosos de origen marino y edad pliocénica de gran potencia (más de 1.500 m) los cuales constituyen un complejo único con los sedimentos de edad miocénica y paleogénica representados por arenas arcillosas de la serie infrayacente

Tosagua, (la formación Tosagua esta descrita en el libro “Zonificación Geotectónica y Metalogenia del Ecuador, Paladines, 1.989). No obstante en esta Cuenca, tan solo, los sedimentos neogénicos tienen una potencia de más de 4.000 m.

Indiquemos también que en la zona costanera del norte del Perú, la potencia de los sedimentos marino-continetales paleogénicos y neogénicos, conforman un complejo estructural único con sedimentos marinos areno – arcillosos del Cretáceo superior, de 15.000 m de potencia, de los cuales 13.000 m corresponden al Paleógeno (Bellido, 1.969). Es posible que esto sea un testimonio directo del hecho, de que en la era terciaria la zona de máximo hundimiento migro al oeste, delante del frente que agrandó la corteza y que la fosa profunda Peruano-Chilena esta marcando su posición actual.

Desde el punto de vista estructural, como se señaló antes las cuencas Progreso y Talara, están constituidas por un sistema de bloques levantados y hundidos tipo block-faulting, las trampas petrolíferas son de tipo estructural, son las fallas las que sirven de pantalla y entrapan el petróleo en areniscas de edad terciaria. En los campos de la península de Santa Elena en la costa ecuatoriana se han perforado cientos de pozos, los cuales produjeron petróleo de excelente calidad durante todo el siglo XX, las reservas remanentes son pequeñas. Sin embargo las reservas exploradas y potenciales de gas en el golfo de Guayaquil en un futuro se presentan como una real alternativa al petróleo de la cuenca Oriental.

12.1.2 LA CUENCA ORIENTAL

Las primeras investigaciones de la cuenca Oriental, se inician a fines del siglo XIX. Teodoro Wolf en 1.892, publica su libro “Geografía y Geología del Ecuador”. En este libro el autor resume las investigaciones geológicas realizadas en el país hasta esa fecha, así como los estudios realizados por el, durante dos décadas. Con su libro publica además el primer Mapa Geológico del Ecuador a escala 1: 2000000, con sobrados meritos Wolf es considerado el pionero de la geología del Ecuador.

En la primera mitad del siglo XX, en la cuenca Oriente, se intensifica la búsqueda y exploración de yacimientos de hidrocarburos por geólogos de la compañía Shell. Durante ese tiempo se publican muchos trabajos de investigación, artículos y monografías sobre la geología del Oriente: Wasson Th., Sinclair J., 1.927, Oppenheim H., 1.943, Thalman H., 1.943-1.947, Tschopp H., 1.945-1.956. Estos trabajos son sin duda los que más han contribuido al conocimiento de la geología de la cuenca Oriente.

En 1.965 es nuevamente un científico alemán, el Dr. Walter Sauer, quien publica su

En 1.905, es nuevamente un científico alemán el Dr. Walter Sauer, quien publica su libro “Geología del Ecuador” junto al cual aparece el primer Mapa Geológico del Ecuador a escala 1:1.000.000, la obra de Sauer, es la que más ha aportado al conocimiento de la geología del país. En la década de los 60 se crean la Dirección Nacional de Geología DNG y la Dirección Nacional de Hidrocarburos DNH y se inicia en forma sistemática el mapeamiento geológico y el estudio de la geología del

Ecuador y del Oriente. En los años de 1.979, 1.982 y 1.994 se publican nuevas versiones del Mapa Geológico del Ecuador a escala 1: 1.000.000, así como algunas hojas geológicas de la cordillera Real y la zona Subandina a escala 1:100.000.

Posteriormente aparecen nuevos trabajos que aportan al conocimiento de la geología del país y de la cuenca Oriente. Fenninger P., 1.980, Paladines A. 1.989, Aspden G., Litherland M., McCourt J., 1.992-1.995, una enorme cantidad de información se encuentra repartida en informes geológicos y temáticos concentrados en los archivos de Petroecuador y de las compañías petroleras, entre los cuales mencionamos los publicados por Almeida J. P., y Rivadeneira M., Baby P., 1.999. En septiembre del 2.004 se publica la obra “La cuenca oriente, geología y petróleo”, en la cual se describe la estratigrafía, estructura y evolución geodinámica de la cuenca Oriente; en la segunda parte se describe la historia de la exploración y los principales campos petrolíferos de petroproducción (Baby P., Rivadeneira M., Barragan R., 2.004).

La descripción detallada de las formaciones geológicas de la cuenca Oriente, se la puede encontrar en la mayor parte de los trabajos enumerados. En este trabajo nos limitaremos en forma cronológica a enumerar estas formaciones – de abajo arriba- (el termino formación, se considera como una asociación de rocas que tienen una génesis común o sea, en el sentido clásico).

- Basamento cristalino de edad Precámbrica.
- Formación esquistosa de edad Devónica (Pumbuiza).
- Formación carbonatada marina del Carbonífero Superior (Macuma).
- Formación carbonatada marina del Jurásico Inferior (Santiago).
- Formación laguno-continental terrígeno-rojiza de cuenca pericratónica del Jurásico Superior-Neocomiano (Chapiza).
- Formación marina carbonato-terrágena de cuenca pericratónica del Aptiano-Senoniano (Hollín-Napo).
- Formación molásica marino-continental del Maestrichtiano-Eoceno Inferior (Tena).
- Formación molásica continental-lagunar del Oligoceno Superior-Plioceno (Tiyuyacu, Chalcana, Arajuno, Chambira).
- Formación malásica tosca del Pleistoceno-Holoceno (Mesa).

Con la ayuda de esta información, trataremos de descifrar la evolución geológica y paleotectónica de la cuenca Oriente (Fig. No. 86).

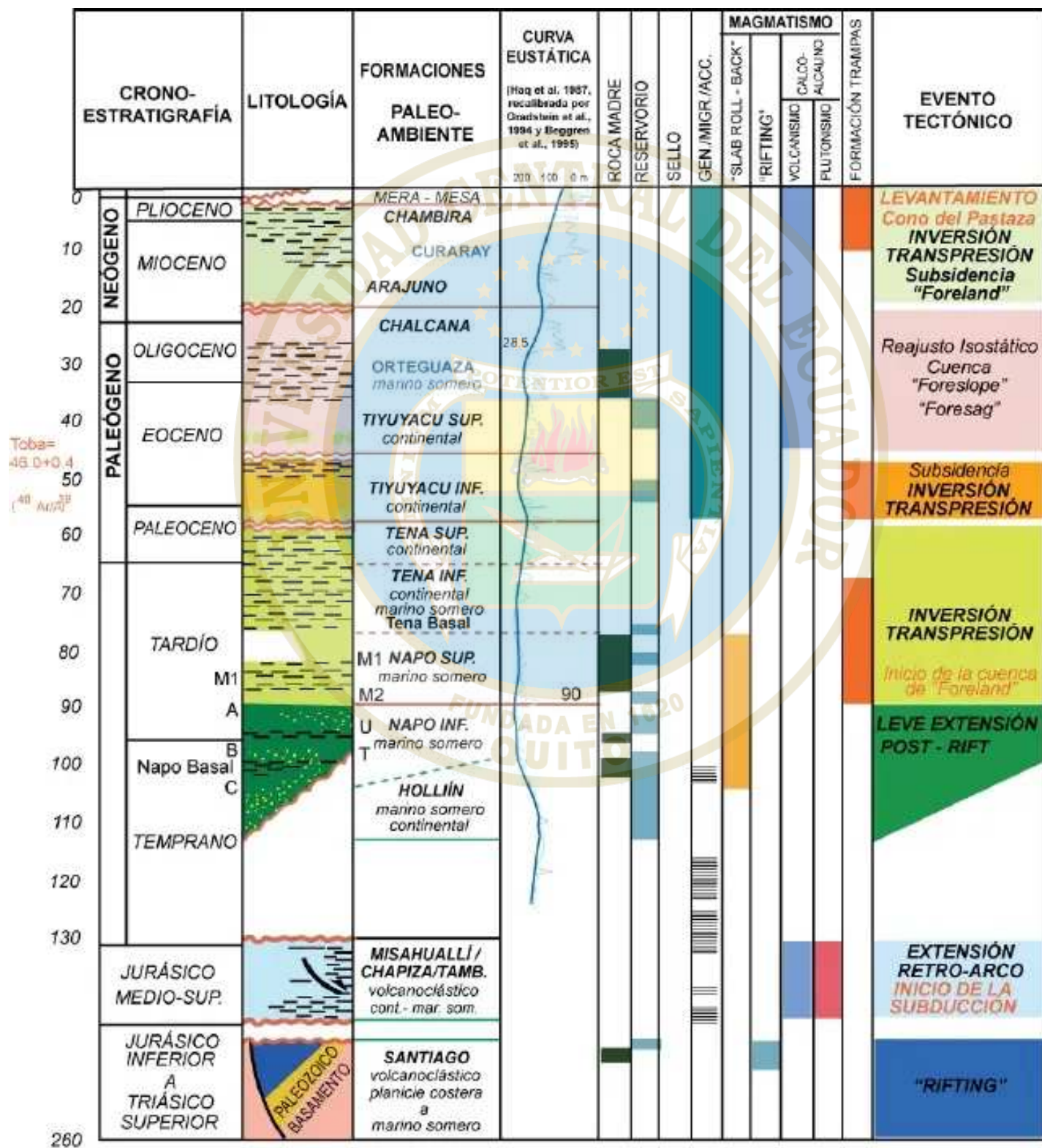


Fig. No. 86.- Columna estratigráfica de la cuenca Oriental (Baby y Rivadeneira).

12.1.2.1 Historia del desarrollo geológico de la cuenca Oriental

“La cuenca se divide en tres dominios estructurales-petrolíferos con características propias como son: el Sistema Subandino, el corredor Sacha-Shushufindi y el Sistema Invertido Capirón-Tiputini” (Fig. No. 87 Rivadeneira M., Baby P. 1999), con anterioridad Paladines A. (1989) divide a la cuenca Oriental en dos unidades

anterioridad, Paladiniés P.I., (1969) divide a la cuenca Oriental, en dos unidades geotectónicas o zonas estructuro-formacionales: zona Subandina y cuenca de Iquitos; y, señala que si bien en el esquema estructural-geotectónico actual, la zona Subandina pertenece al cinturón Andino, durante el Cretácico ella junto con la cuenca de Iquitos formaron parte de la cuenca pericratónica Oriental, limitada al occidente por la cordillera Real.

264

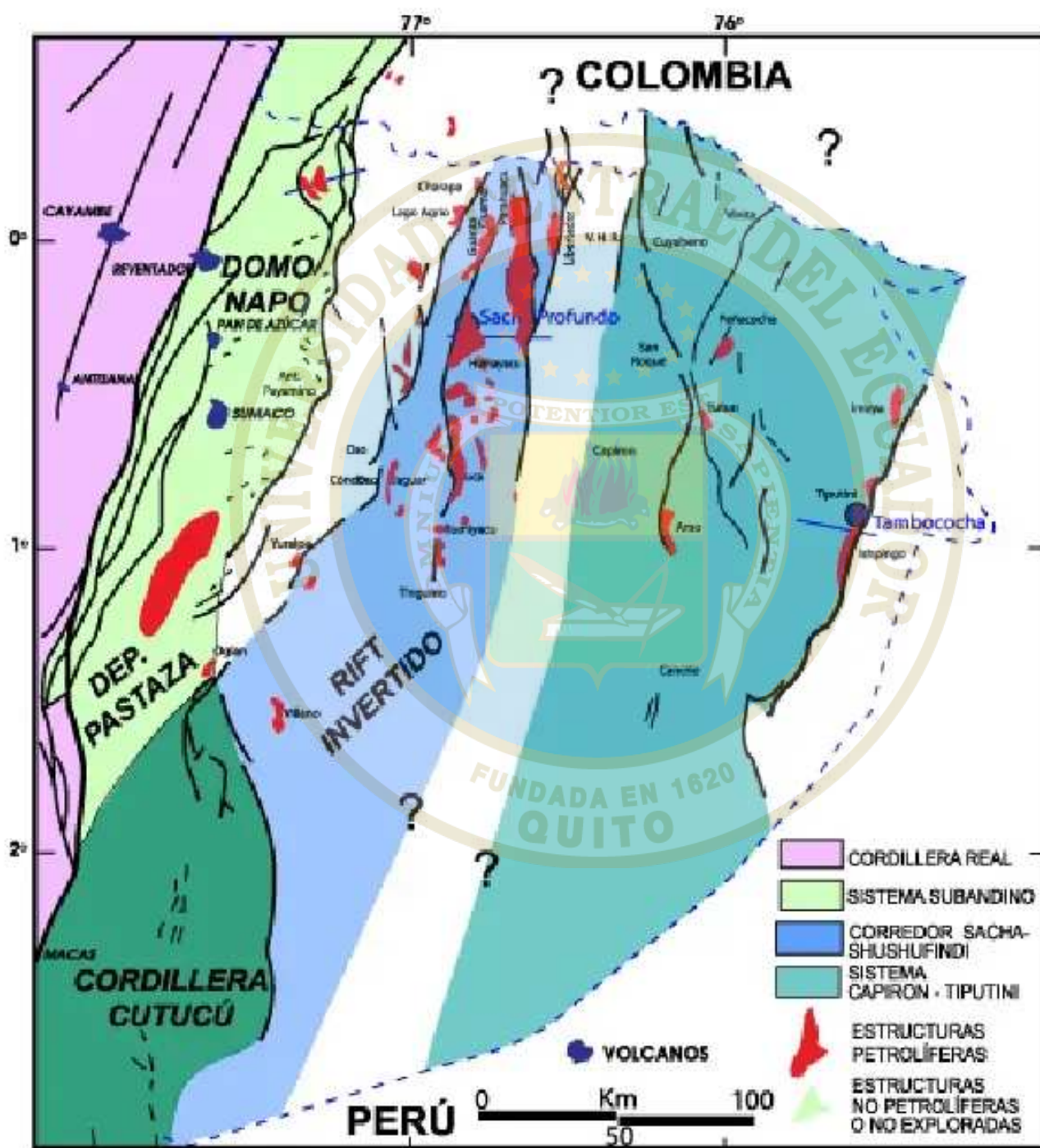


Fig. No. 87.- Mapa tectónico de la cuenca oriental (modificado de Baby et al.)

Es tan solo a fines del Campaniano, durante el ciclo orogénico peruano, en que se inicia el levantamiento de la cordillera Real y el régimen de desarrollo de la cuenca Oriente cambia significativamente (en que consiste el cambio).

- En primer lugar, su límite occidental que alcanzaba antes hasta la cordillera Real, se desplaza al oriente como consecuencia del levantamiento de la zona Subandina.
- En segundo lugar, la cuenca experimenta un descenso de sus aguas, en el cual en reemplazo de los sedimentos marino-someros de la formación Napo, en el transcurso del Maestrichtiano en condiciones regresivas, se acumulan

los sedimentos continentales areno-arcillosos rojo-grisáceos de la formación Tena y la cuenca pericratónica cambia su régimen a cuenca marginal avanzada y va adquiriendo la estructura actual.

265

A juzgar por los cortes pre-mesozoicos de la cuenca Oriente (Fig. No. 88), es evidente que durante el Paleozoico superior, la zona Subandina se presenta como zona de subsidencia. Durante este tiempo se produce la acumulación diferenciada de potentes series areno-arcillosas durante el Devónico (formación Pumbuiza) y carbonato-arcillosas durante el Carbonífero (formación Macuma).

El hundimiento durante el Paleozoico superior, es interrumpido en la zona Subandina, por el plegamiento Pensilvánico, que concluyó en el tiempo del diastrofismo hercínico, expresado en la deformación intensiva y en el metamorfismo zonal de las rocas en condiciones de las facies de esquistos verdes y amfibolítica.

El grado mas alto de metamorfismo de las rocas paleozoicas de la cordillera Real, en comparación con el de la zona Subandina, señala ya al final del Paleozoico el desarrollo geoanticlinal de la primera y el papel de barrera paleogeográfica y tectónica que jugara durante el Mesozoico.

La ausencia en los Andes ecuatorianos, así como en la mayor parte del cinturón Andino, de las formaciones magmáticas y sedimentarias sinorogénicas del final del ciclo hercínico, evidencia la no conclusión de este ciclo, lo que influyó posiblemente en el desarrollo tectónico activo de las estructuras andinas durante ciclos orogénicos y fases acresionales posteriores, ocurridas en el Mesozoico y Terciario.

A comienzos del Mesozoico la zona del anticlinorio de la cordillera Real (arco Central), originada, como ya se indico, al final del ciclo hercínico, empezó a jugar un papel de barrera estable paleogeográfica y tectónica entre la cuenca Oriental menos móvil y la cuenca occidental más móvil de los Andes ecuatorianos.

La ausencia de auténticos sedimentos pérmicos y del Triásico inferior en el territorio del Ecuador, nos permite pensar que durante este tiempo, este último experimentó un levantamiento, contrastando con la cuenca Oriental de Colombia que en este tiempo sufrió un intenso hundimiento y la acumulación de potentes series terrígeno-evaporíticas.

El hundimiento de la cuenca que empezó en el Triásico superior, se intensificó en el Liásico y abarcó mayormente la zona sur de la zona Subandina. Aquí, en una estrecha depresión se acumularon potentes paquetes de calizas organogénicas silíceas de la formación Santiago. En este mismo tiempo, a lo largo de la falla que separa la cordillera Real de la zona Subandina, la acumulación de sedimentos calcáreos fue acompañada de rocas de tipo volcánico – andesitas, basaltos e intrusiones de diques diabásicos. Más al norte en el pozo Sacha profundo (Rivadeneira y Sánchez, 1989),

en base a estudios palinológicos que dan una edad Triásica a capas rojas- muestras de testigos de perforación-, denominan a esta formación Sacha y la consideran como equivalente lateral continental de la formación Santiago, en el sur oriente los volcánicos continentales “Piuntza”, podrían ser también un equivalente lateral de la formación Santiago.

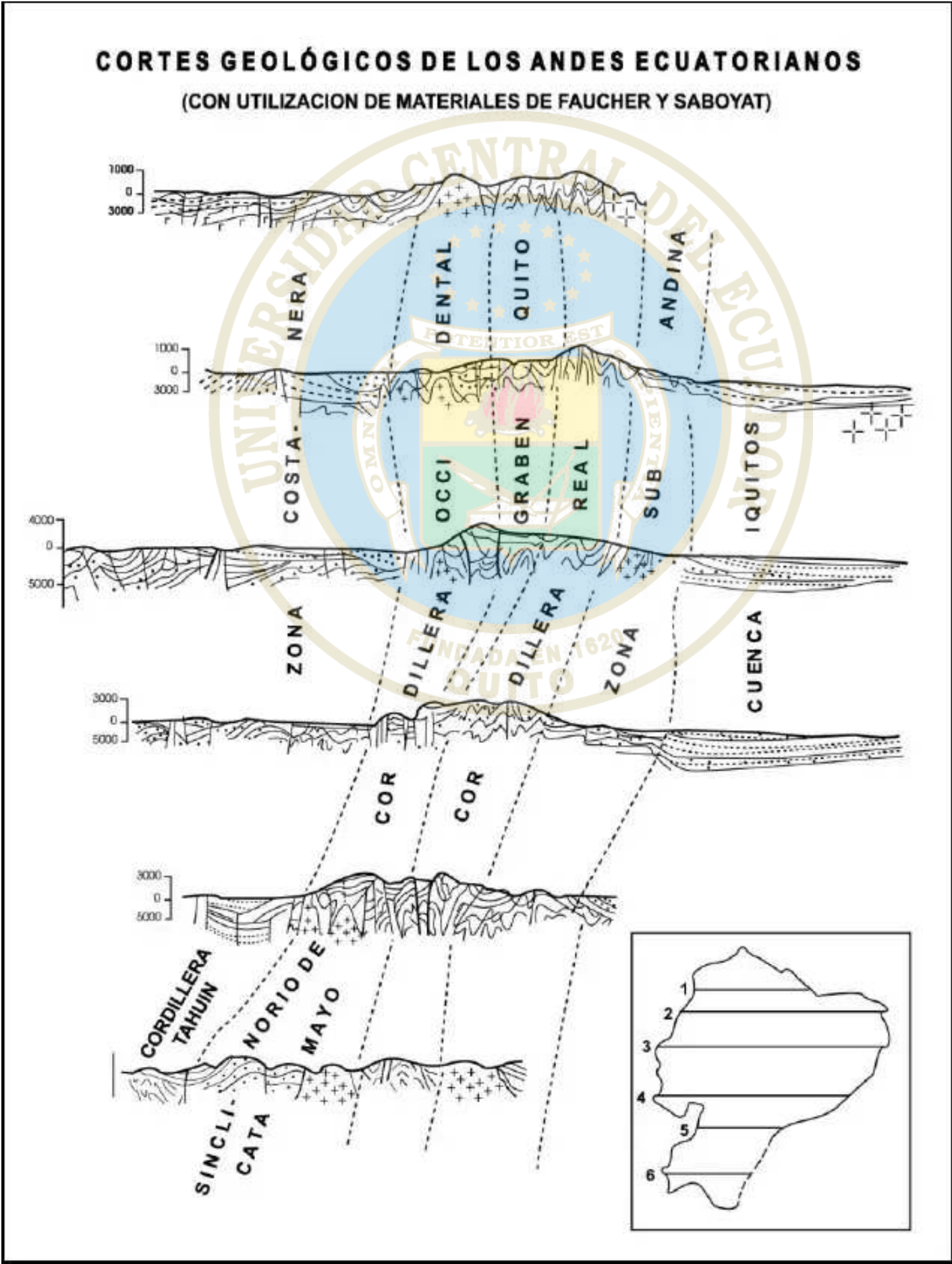


Fig. No. 88.- Cortes geológicos de los Andes Ecuatorianos

De este modo, existe una base para pensar, que la depresión del Jurásico inicial de la zona Subandina, se desarrolló en los límites de una gran zona levantada, localizada en la frontera entre dos complejos de rocas antiguas:

267

- El complejo oriental del Precámbrico temprano, que constituye el basamento del cratón Guayanés-Brasileño; y,
- El complejo Proterozoico-Hercínico, que constituye el basamento de las estructuras andínicas.

La depresión de la zona Subandina, acontecida en este tiempo por sus parámetros y condiciones de desarrollo, nos recuerda una estructura tipo Rift. (Paladines A., 1.989).

De esta manera tempranamente en el Mesozoico, en una etapa activa de distensión (rifting) ocurrida en el Liásico participó la zona de frontera antigua entre los Andes ecuatorianos y el cratón Guayanés, dispuestos a una gran distancia con respecto al extremo occidental del paleo-continente sudamericano.

Hacia el norte y sur de la cuenca Oriente ecuatoriana, los sedimentos del Jurásico inferior se acumularon en grandes depresiones pericratónicas, lo que esencialmente diferencia a estos segmentos de lo ocurrido en los límites de nuestra cuenca oriental. El desarrollo tectónico diferente en la zona Subandina se expresa también, en el hecho de que el potente corte de sedimentos acumulado en ella (formación Santiago) fue intensamente deformado en la fase nevadídica de plegamiento (antes del Jurásico tardío).

En este mismo tiempo en la amplia depresión oriental, que como ya se señaló esta limitada al oeste por la elevación de la cordillera Real, se acumuló la parte inferior de la formación Chapiza de tipo molásico-evaporítica-continental. Los sedimentos Chapiza en forma discordante cubren tanto a las rocas del basamento antiguo del cratón Guayanés, como a los complejos plegados de la zona Subandina.

A diferencia de las etapas anteriores de desarrollo, durante el Jurásico tardío, en el borde occidental de la cuenca se produce la intrusión de enormes batolitos graníticos, que intruyen incluso parte del flanco oriental de la cordillera Real. Se trata de los batolitos de Zamora, Abitagua y La Bonita. Luego de la intrusión de los macizos del Jurásico Superior, tanto la zona Subandina, como la zona del arco Central, adquieren gran estabilidad y los procesos de formación de pliegues no se producen más. En procesos posteriores, solamente junto a los sistemas de fallas de empuje (zonas de escamas) se forman pliegues.

Durante el Cretácico inferior, se produce la subsidencia de la cuenca Oriente en la cual conjuntamente con la depositación de sedimentos, aparece el magmatismo básico característico para el miembro Misahuallí (parte superior de la formación Chapiza), a continuación durante el Aptiano se depositan sedimentos bituminoso-

terrigenos de la formación Hollín y luego desde el Albiano hasta el Campaniano, la depositación de sedimentos carbonato-terrigenos de tipo marino de aguas someras de la formación Napo.

El material terrígeno transportado, como al principio, ocurrió fundamentalmente desde el este (cratón Guayanés), lo que señala la relativa y débil expresión de la

268

cordillera Real en ese tiempo. El eje de la depresión, al igual que durante la depositación de la formación Chapiza, estuvo localizado a lo largo de la zona Subandina, es decir, la depresión pericratónica de la zona Subandina conservó su asimetría transversal.

En el Campaniano superior, se inicia el levantamiento de la cordillera Real (arco Central) y el régimen de desarrollo de la cuenca Oriental cambia significativamente. Como se anotó antes, en primer lugar, su límite occidental, se desplaza al este como resultado del levantamiento de la zona Subandina. En segundo lugar, la cuenca experimenta un descenso de sus aguas, en el cual, en reemplazo de los sedimentos marino-someros de la formación Napo, en el transcurso del Maestrichtiano, en condiciones de una gran regresión, se acumularon con preferencia los sedimentos continentales areno-arcillosos de colores rojo y gris de la formación Tena. El mar se retiró hacia el sur, en donde cubrió extensas zonas que llegaron hasta el pongo de Retema en el Perú.

En el norte, la cuenca Oriental fue limitada por la gran elevación de Vaupes, que emerge de la depresión periférica de la cordillera Oriental de Colombia. En dicha estructura se levanta el basamento cristalino del cratón Guayanés (macizo Garzón).

Desde el tiempo de la depositación de la formación Tena, la cuenca sedimentaria oriental, cambia en su desarrollo de típica depresión pericratónica, a cuenca marginal avanzada (Iquitos). Si antes del Campaniano el material terrígeno entró a la depresión pericratónica desde el oriente, por el contrario, durante el tiempo de depositación de la formación Tena y las formaciones posteriores, el material es transportado fundamentalmente desde el occidente, como consecuencia de la erosión y deslave de los complejos metamórficos de la cordillera Real y en parte de la zona Subandina.

A fines del Cretácico, en la región ocupada por el arco Central y la cuenca Oriental, se produce un proceso de inversión tectónica (de extensivo a compresivo) en régimen transcurrente dextral. Durante este tiempo a lo largo de fallas normales, que limitaron los principales bloques o corredores estructurales: Sistema Subandino, corredor Sacha-Shushufindi y sistema invertido Capiirón-Tiputini, se produce un cambio en la dirección de los movimientos como consecuencia de la fase orogénica peruana, ocurrida a fines del Cretácico y que afectó mayormente a los Andes centrales. En tiempos posteriores, durante el Eoceno Medio (fase Inca) que coincide con la acreción del arco Macuchi (cordillera Occidental) al borde occidental activo del continente; y, por último a fines del Mioceno (fase Quechua) se producen intensos procesos compresivos, en los cuales se forman los sistemas de fallas inversas (zonas de escamas), así como estructuras clásicas para el entrapamiento de los

Durante el eoceno inferior, cuando el sistema de arco de islas Macuchi, concluye su desarrollo, en la cuenca Oriental se acumularon conglomerados, areniscas y arcillas abigarradas de la formación Tiyuyacu, la acreción del arco Macuchi en el Eoceno superior contra el borde occidental activo del continente, influyó en el proceso de

269

desarrollo de la cuenca Oriente, lo que se evidencia en la existencia de una “superficie de erosión existente entre la Tiyuyacu inferior y Tiyuyacu superior” (Rivadeneira M., Baby P. 1.999). La acreción del arco Macuchi, produce además un nuevo proceso de inversión tectónica. El régimen transcurrente dextral se conserva durante este periodo y continúa hasta la actualidad.

La cordillera comenzó a elevarse más activamente a fines del Eoceno y durante el Oligoceno, periodo en el cual tanto la velocidad relativa como absoluta de su levantamiento creció en forma progresiva. A partir del Oligoceno se extendieron las zonas adyacentes de los Andes ecuatorianos, las cuales paulatinamente empezaron a adquirir la orografía actual. Durante este tiempo en mares residuales se acumularon depósitos someros de areniscas y lutitas gris verdosas con foraminíferos y pirita de la formación Ortegua; y, luego ya en un ambiente continental las areniscas conglomeráticas y arcillolitas rojas con huellas de gusanos de la formación Chalcana. Por lo visto, los mares residuales se unieron a través de la depresión amazónica con el mar abierto, que ocupó, hasta el Oligoceno, las regiones Oriental y Noroccidental del Perú.

En la cuenca Oriental durante el Mioceno continúa la acumulación de sedimentos laguno-molásicos: conglomerados, areniscas con carbón y yeso de la formación Arajuno y luego areniscas con intercalaciones de arcillas y restos de plantas en la base; y, conglomerados con restos de árboles silicificados, areniscas tobáceas y arcillas en el corte superior de la formación Curaray.

Desde inicios del Plioceno los Andes ecuatorianos experimentan un rápido levantamiento de una amplitud total de 3-4 k., las tres cordilleras se elevan en forma diferencial, a través de las fallas antiguas y zonas de sutura que las separan. La cordillera Central se levanta más activamente y continúa como eje axial de los Andes. Se estima, que durante el Pleistoceno las cumbres divisorias de aguas no sobrepasaron los 2 k. de altura, mientras que actualmente el zócalo de los volcanes cuaternarios está levantado hasta alturas que alcanzan los 4 k. y más.

En el Plioceno a causa de los movimientos activos de bloques ocurridos en la faja limítrofe, localizada entre la cordillera Real y la zona Subandina, se produjo la formación de fallas de empuje y se reactivaron los movimientos transcurrentes dextrales (última inversión tectónica) a través de las cuales los complejos metamórficos del Paleozoico del arco Central se sobrecorrieron sobre las rocas sedimentarias de la zona Subandina. Un proceso similar ocurre a lo largo del sistema de fallas que separan a la zona Subandina del corredor Sacha-Shushufindi. Estos movimientos compresivos ocurridos en la fase de inversión Quechua, ocasionaron el

dislocamiento y plegamiento de las series mesozoicas y terciarias contiguas a los sistemas de fallas.

El levantamiento de los Andes ecuatorianos durante el tiempo Plioceno-Cuaternario, originó en la cuenca Oriente la acumulación de arcillas y areniscas tobáceas (formación Chambira); depósitos similares con bloques de granitos y gneises, que

alcanzan algunos metros de diámetro y que aumentan de tamaño en la parte superior de los cortes son característicos para las formaciones Mera y Mesa.

Durante este tiempo se produjo un intenso volcanismo, el cual inicialmente condujo a la formación de mesetas constituidas de lavas y tobas, sobre las cuales luego se originaron los enormes estratovolcanes, el volcanismo migró de occidente a oriente en sentido del proceso de subducción y cambió de composición andesítica a basalto-alcalina. Los basaltos alcalinos son característicos para los volcanes localizados en el frente volcánico activo como el Sumaco y en parte el Sangay y el Reventador, dispuestos en la zona Subandina.

Corte tectónica de placas
Fig. 89.- pag 188 Baby.

12.2 PETROLEO PESADO Y ASFALTO

Desde siempre se conocía la existencia de petróleo pesado y asfalto, en el valle del río Misahuallí, en donde, en las márgenes de los ríos Jondachi y Hollín, las arenas negras de la formación Hollín, saturadas de estos minerales afloran directamente a la superficie (Foto No. 48). Los nativos de la zona, desde tiempos anteriores a la colonia, fabrican sus canoas utilizando enormes troncos de árboles y emplean el petróleo pesado y el asfalto para revestirlas o para curar fisuras que se formaban en las mismas.



Foto No.48.- Arenas negras de la formación Hollín, saturadas de petróleo

evaluación previa de este yacimiento, al cual se lo conoce con el nombre de Pungarayacu (Fig. No. 90). La superficie explorada fue de aproximadamente 200 km² y esta localizada entre el levantamiento Napo-Galeras y la cordillera Real, al sur del batolito de los Guacamayos, al cual se encuentra asociado en forma estructural y posiblemente genética.

272



Fig. No. 90.- Ubicación y extensión del campo Pungarayacu en el hundimiento sur del levantamiento Napo (modelo numérico de relieves construido a partir de datos SRTM de la NASA, 2.000)

En el área seleccionada, se realizaron 14 perforaciones, algunas de las cuales alcanzaron hasta los 650 m. de profundidad; los testigos de perforación permitieron determinar, que el techo del yacimiento, va desde la superficie hasta una profundidad de 600 m. sin haberse delimitado aún en la zona sur.

Las reservas probables de este yacimiento son del orden de 5.000 millones de barriles, ³ el volumen de reservas recuperables de areniscas bituminosas es de 5.120.000 m³ ó 8.243.200 t. en la parte NE las areniscas petrolíferas de la formación Hollin afloran directamente a la superficie en una superficie de aproximadamente 30 km², mientras que en dirección sur y oeste se profundizan.

273

El espesor medio de las arenas bituminosas del yacimiento es de 64 m. en la zona NE la sobrecarga prácticamente no existe, o fluctúa entre 0-1 m. entre los parámetros petrofísicos del yacimiento tenemos: la porosidad promedio es de 25%, la saturación promedio del 40% de petróleo, la saturación aumenta con la profundidad, a 600 m. es de 70%, mientras que en la superficie es de 10-15%.

Entre las características físico-químicas del yacimiento, en base a los resultados obtenidos de las muestras analizadas en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central, tenemos que las arenas bituminosas contienen: aromáticos 40.79%, naftenos 32.50%, parafinas 26.71%, azufre en peso 3.29%, vanadio 38.3 ppm, níquel 243.2 ppm, sodio 92.,3 ppm., hierro 156.6 ppm, calcio 43.1 ppm, potasio 59 ppm, magnesio 41.4 ppm, contenido de petróleo 10% peso, contenido de sedimentos 61% peso. Estos resultados demuestran además, que las arenas asfálticas de Pungarayacu contienen azufre y posiblemente níquel en cantidades económicamente explotables.

El campo de Pungarayacu es de enorme importancia para el país, como se anotó gran parte de las reservas afloran directamente a la superficie o tienen una sobrecarga no muy potente, lo que permite emplear métodos mineros de explotación a cielo abierto, con los cuales se puede obtener hasta un 90% de recuperación del petróleo pesado, asfalto y otros minerales, además de los minerales señalados, podrá utilizarse la roca encajante, o sea las areniscas silíceas, que son de excelente calidad, pues los análisis de laboratorio dan los siguientes porcentajes de óxidos para las muestras analizadas: SiO₂ 98.2%, Fe₂O₃ 0.05%, Al₂O₃ 0.03%, CaO 1.07%, Na₂O 0.04%, K₂O 0.02%, o sea que son aptas para la producción de vidrio.

La comisión multidisciplinaria de la Universidad Central, que tuvo el honor de presidir (A. Paladines) y que visitó el campo de Pungarayacú en 1.983, recomendó utilizar las arenas de este campo para asfaltar las carreteras de la zona, así como hacer los estudios de factibilidad para explotar y aprovechar todos los minerales que existen en este enorme yacimiento que tiene nuestro país.

En la actualidad, luego de la firma de la paz con la hermana república del Perú, grandes posibilidades se abren para todas las materias primas minerales e insumos mineros que pueden producirse en Pungarayacu y en la región Oriental.

Para nuestro país es urgente construir una carretera que llegue al sitio más oriental de su territorio, localizado en la confluencia de los ríos Napo y Aguarico, y en este lugar construir un puerto fluvial. Esto garantizaría el comercio con todos los países de la cuenca amazónica y permitiría la salida al Atlántico, pues desde el sitio señalado el

río Napo es plenamente navegable. El proyecto, que se plantea en la actualidad, de llegar a puerto Coca y desde allí iniciar el comercio con los países amazónicos, no es recomendable, pues en periodos de estiaje entre los meses de Mayo a Septiembre, en el trayecto comprendido entre puerto Coca y Nuevo Rocafuerte, incluso pequeñas canoas con capacidad para transportar de 30-40 personas, encallan en las partes mas bajas del río.

BIBLIOGRAFÍA

- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, Dirección General de Geología DINAGE. “Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador” (Colección de 5 tomos). Publicado por el UCP PRODEMINCA proyecto MEM BIRF 36-55 EC. Noción Editores Quito, junio 2000
- Ciniakof, V. “Base de las Teorias de la Mineralización”. Editorial Niedra. Moscú, Rusia. 1987.
- “Complejos Ofiolíticos en Iberoamérica”. Guías de prospección para metales preciosos. Proyecto XIII.1- CYTED. Madrid, julio del 2004.
- “Estadísticas de la Dirección Nacional de Minas (DINAMI)”. Quito, 2010.
- **Eriomín, N. “Yacimientos de Minerales No Metálicos”. Editorial de la Universidad de Moscú. Moscú, Rusia. 2007.**
- “Estadísticas del Banco Central del Ecuador”. Quito, 2009
- Gemuts I., López G., Jiménez F. “Gold Deposits of Southern Ecuador”. (SEG). 1992
- Jaín, V., Lomize, M. “Geotectónica con Bases de Geodinámica”. Editorial KDY. Moscú, Rusia. 2005.
- Litherland M., Aspend J., y otros. “La Geología y potencial minero de la Cordillera Real”. INEMIN- MISIÓN BRITÁNICA, Quito 1990.
- Lomize M. “Cinturón Volcánico de Calipuy (Andes)”. Geología y Rasbiedka, Moscú, 1975. (12), p. 86-96.
- Memorias de los VI-XII-XIII-XIV-XV-XV-XVII-XVIII-XX-XXI “Cursos Internacionales de Postgrado en Metalogenia”. Universidad Central, Quito, 1987, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002.
- MISION DE BELGICA, “Informes de Comisión DINAGE”, 1989.
- Paladines A., Sanmartín H. “Primer Mapa Metalogénico del Ecuador”, escala 1:1.000.000. Editorial IGM Quito 1.980
- PALADINES A., Rosero G. “Zonificación Mineralogénica del Ecuador”. Laser Editores, Quito, 1996.
- PALADINES M. “Estudios mineralográficos sobre los yacimientos de Nambija, Bella Rica y Portovelo”, Quito 1994.
- Paladines A. “Zonificación Gotectónica y Metalogenia del Ecuador”. Quito,

- Baladines A. “Los Recursos No Renovables del Ecuador Base para la Planificación y Ordenamiento”. Editorial Universitaria. Universidad Central Quito 2005.
- Petrobskaya N. “Oro Nativo”. Moscú, Nauka, 1973.

- Smirnov V. I. y otros. “Curso de Yacimientos de Minerales”. Moscú, Nedra, 1986.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. “Minerals Commodity Summaries”. (2004).
- Bristow C., Hoffstetter R., Lexique stratigraphique International. Volumen V. Amerique Latine, Ecuador, Fascicule 5 a 2, París, 1997. p. 400.
- Fauchet B., Savoyat E. “Esquema geológico de los Andes Ecuatorianos”. Revue de Geographie et de Geología Dinamique (2), París, 1973. Vol. XV, Fasc. 12, p. 115-142.
- Informe Técnico 2. “Provincia del Napo”. Comisión Multidisciplinaria, Quito-Ecuador 1983.
- Muñoz J. “Aguas Minerales y Termalismo Social”. Quito, Universidad Central. 1975.
- Rivadeneira M., Baby P. “La Cuenca Oriente: Estilo Tectónico, Etapas de Deformación y Características Geológicas de los Principales Campos de Producción”. Quito. Petroproducción 1999.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. “Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica”. Madrid 2000.
- Tschopp H. “Bosquejos de la Geología del Oriente Ecuatoriano”. Bol. Inst. Sudam. Petr. 1, N. 5, Montevideo, 1945.
- B. G. R. (Alemania). “Informes técnicos de Investigaciones de Materias Primas no-metálicas en el Ecuador”. CODIGEM, 1993.
- R: G. CODIGEM. “Inventario de materiales de construcción en el área de Quito”. Tomos I y II B. 1990.