



Jornadas de Minería 2023 Aniversario 67 del Departamento de Minas UCV  
X Jornadas Venezolanas de Historia de las Geociencias



# **METALOGÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE Fe, Au y Al del ESCUDO DE GUAYANA, VENEZUELA**

**Prof. Sebastián J. Grande S.**  
**Ing. Geólogo, MSc. en Ciencias Geológicas**  
**Depto. de Geología, U.C.V.**

## METALOGÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE Fe, Au y Al DEL ESCUDO DE GUAYANA

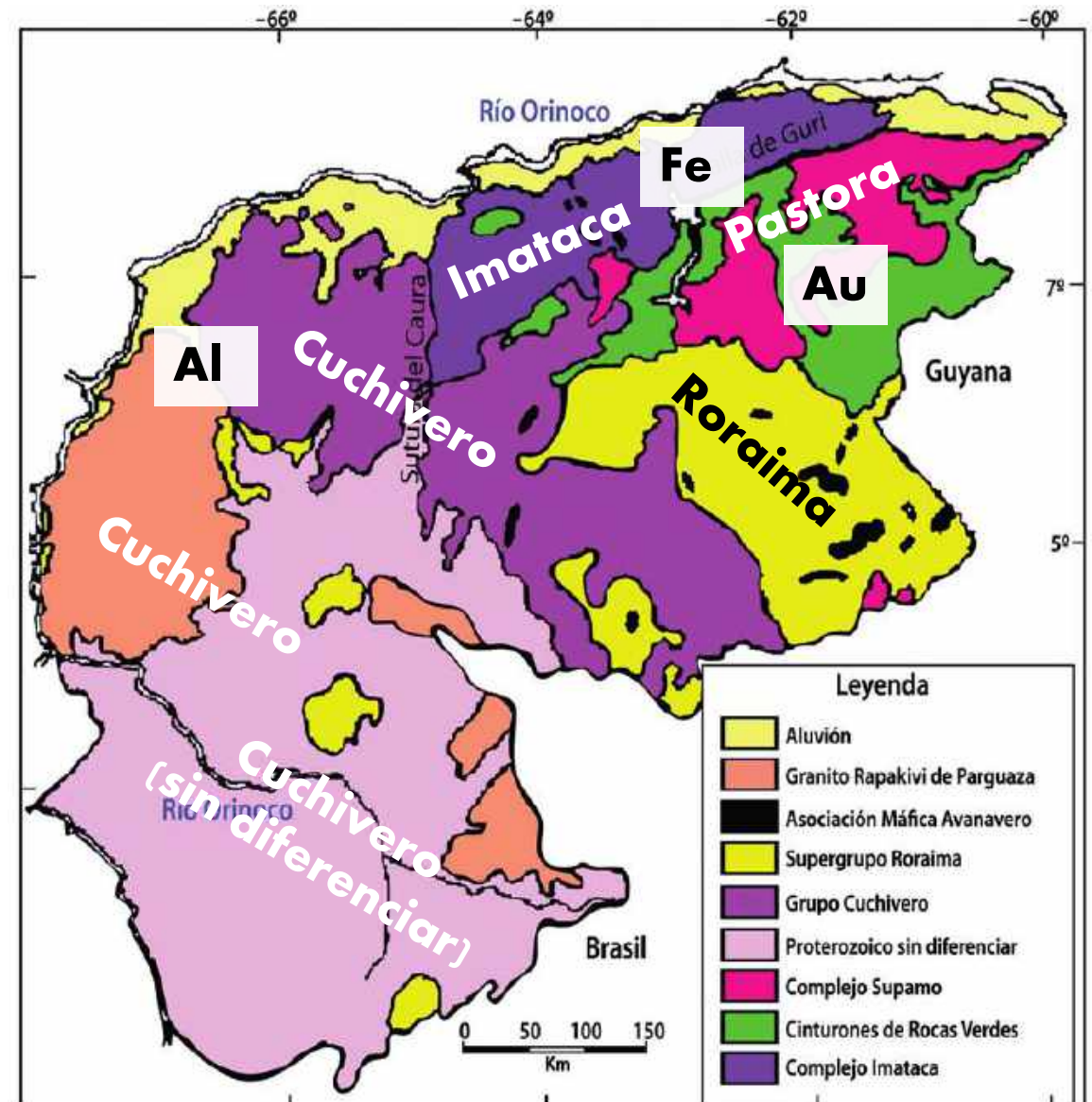
En esta charla se tratará de los depósitos más conocidos y estudiados de Fe, Au y Al, aunque es sabido que existen otros depósitos no muy bien descritos y que, en parte, están siendo explotados de modo ilegal o artesanal, sobre todo de REE, Nb-Ta-Sn, Cu-Zn, diamante y otras gemas y, posiblemente, de Ni-Cr-V-Ti y platinoides (PGE).

Los depósitos más antiguos, de edad Arqueano, son los de hierro, denominados formaciones bandeadas de Fe o Banded Iron Formations (BIF). Se limitan a la Provincia de Imataca, con edad Arqueano.

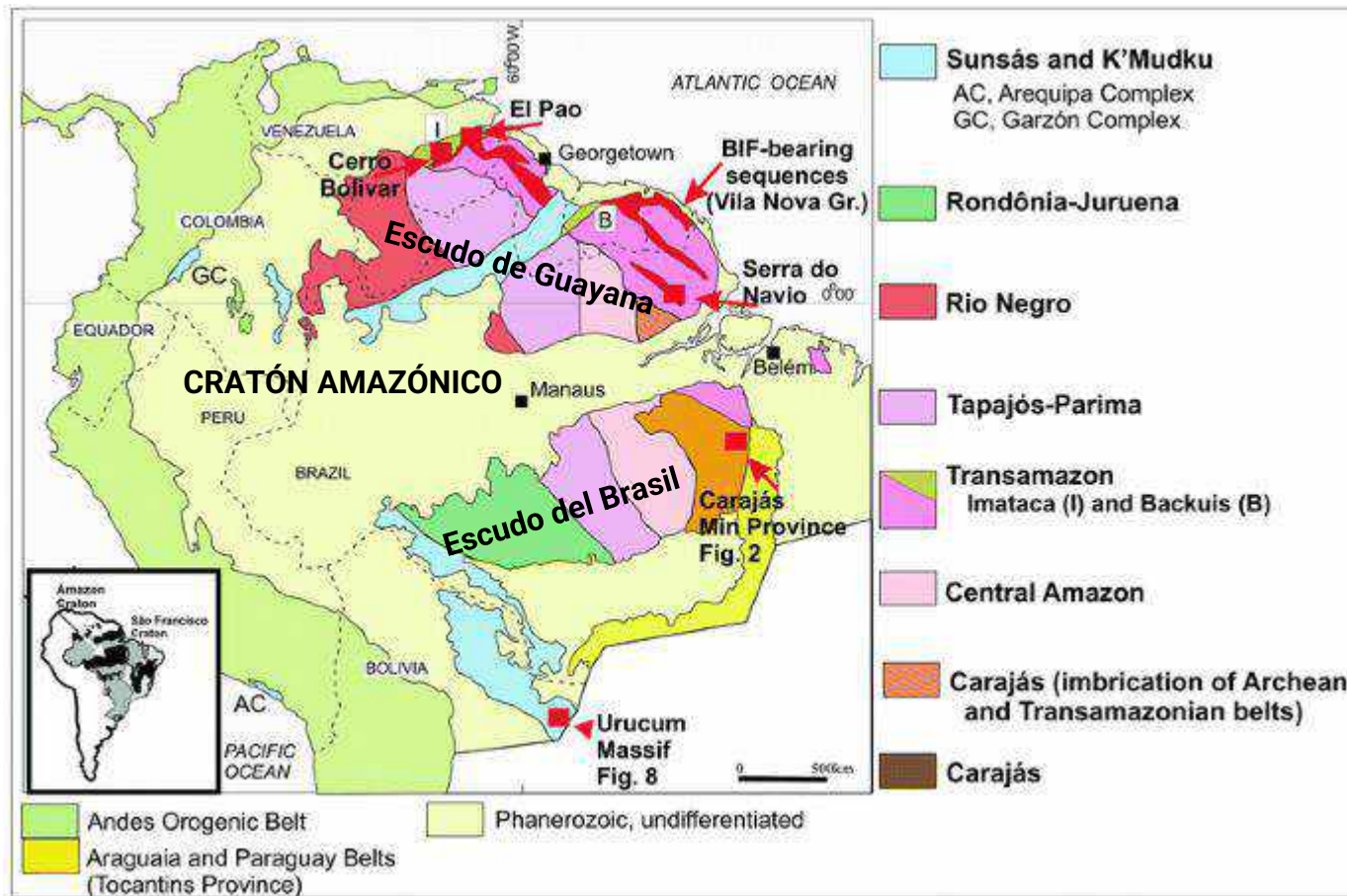
Le siguen los de Au, referibles a depósitos mundiales similares en los llamados CRV-TTG que en el EDG se hallan en la Provincia de Pastora-Botanamo y tienen edad Paleoproterozoico.

Los de Al (bauxita) se relacionan con intrusivos graníticos intraplaca de edad Mesoproterozoico, relacionados con la Provincia de Cuchivero, de edad Mesoproterozoico, pero se formaron en el Cretácico.

## PROVINCIAS PETROTECTÓNICAS DEL ESCUDO DE GUAYANA



## UBICACIÓN DE LO PRINCIPALES DEPÓSITOS DE HIERRO DEL CRATÓN AMAZÓNICO



El Escudo de Guayana constituye un macizo precámbrico que abarca una extensión de más de 1,5 Mkm<sup>2</sup>, desde el este de Colombia al NE del Brasil, incluyendo a las tres Guayanas. Limita por el norte con el río Orinoco, y por el sur, con el río Amazonas. Gran parte de este Macizo se halla en el sur de Venezuela.

En Venezuela comprende todas las rocas de edad precámbrica (> 542 Ma) que afloran en la margen derecha del río Orinoco y otros afloramientos al norte y al oeste del gran Río.

En general el relieve es peneplanizado, sin embargo sobresalen las mesetas de cuarcita del Súpergrupo Roraima que pueden sobrepasar los 3.000 m s.n.d.m. (cerros Marauaca y La Neblina).

Algunas de sus rocas (Complejo Imataca-Bachuis) están entre las más antiguas del continente y del mundo (3,4-3,2 Ga) y en su mayoría han sufrido metamorfismo de bajo a alto grado y varios eventos deformacionales.

La metalogénesis de esta vasta y *casi inexplorada* región es muy variada y se ha prolongado durante un lapso no menor a 3,2 Ga.

La gran mayoría de los depósitos de Fe, Au y Al hallados y explotados hasta hoy han sido productos directos o indirectos de la acción de varias plumas mantelares que han afectado la región y de, al menos, la formación de dos supercontinentes pasados: Kenorland y Columbia-Atlántica.



26

55,847  
2,3

3000  
1536  
7,86

Fe

(Ar)3d<sup>6</sup>4s<sup>2</sup>

Hierro

Mina  
Cerro Bolívar





# DEPÓSITOS DE HIERRO: ASOCIADOS A KENORLAND



★ Ubicación del Complejo Imataca-Kanukú en Kenorlandia durante el Neoarqueano.

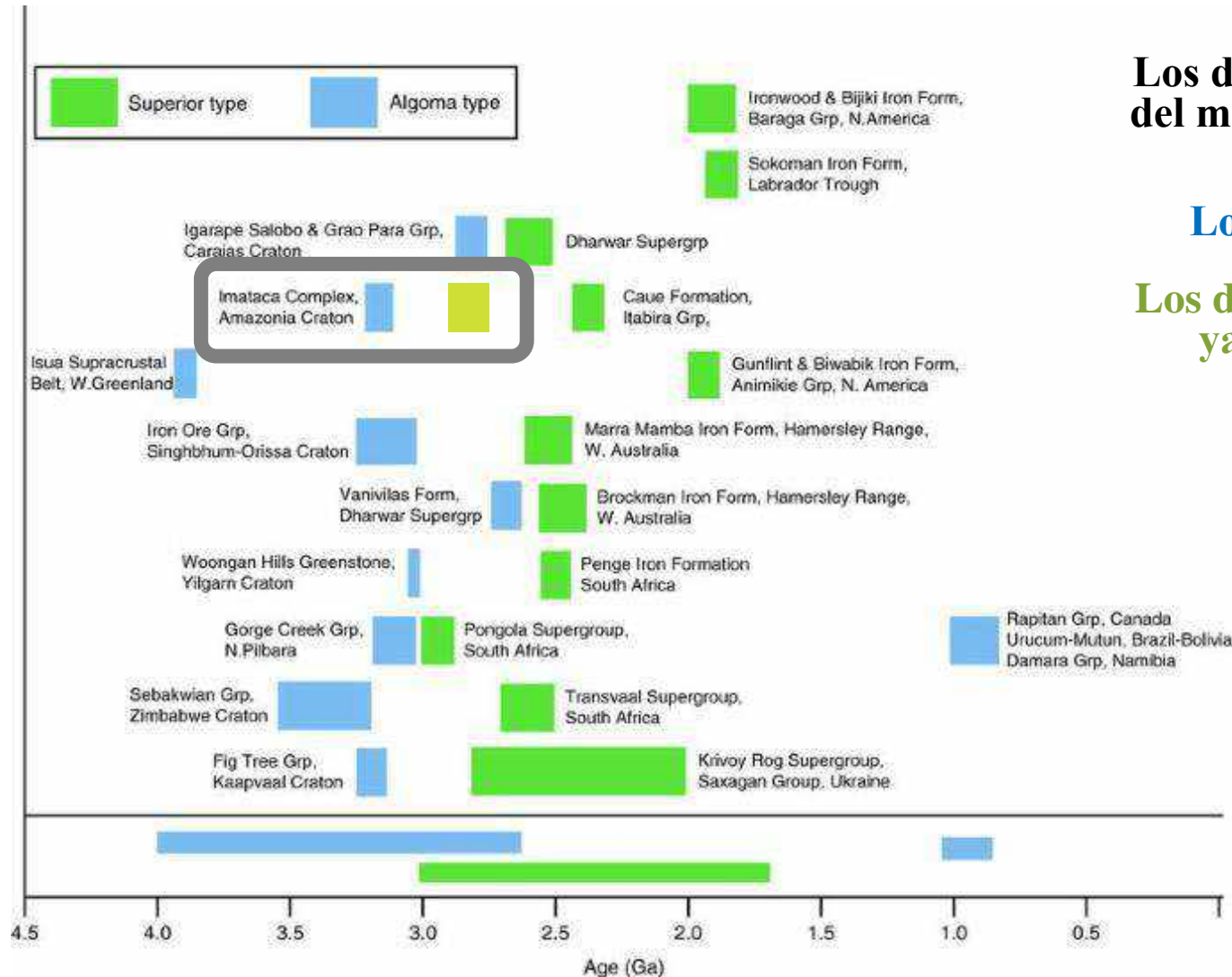
El primer supercontinente reconocible en el Escudo de Guayana es posiblemente una parte antigua de Kenorland, representada por los terrenos Imataca y Kanukú, cinturones metamórficos de medio-alto grado, cuya edad de protolito (U-Pb en circón) va desde 3,4 a 3,2 Ga y la de metamorfismo es de unos 2,8 Ga.

Según Mendoza *et al.* (2019) este supercontinente fue afectado hace 3,2 Ga por una primera pluma mantelar P1, responsable de la formación de los depósitos vulcanogénico-exhalativo masivos de Fe de El Pao-L, asociado a metakomatitas y metabasaltos, ahora granulitas ultramáficas y máficas, del tipo “Algoma”.

Su origen es muy controversial, dado que las rocas han sido metamorfizadas a alto grado y sufrieron plegamiento intenso y total recrystalización, de modo que no se preservaron ni las litologías ni las texturas originales, solo la mena de Fe.

# FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO

## CRONOLOGÍA DE LAS BIF AL NIVEL MUNDIAL

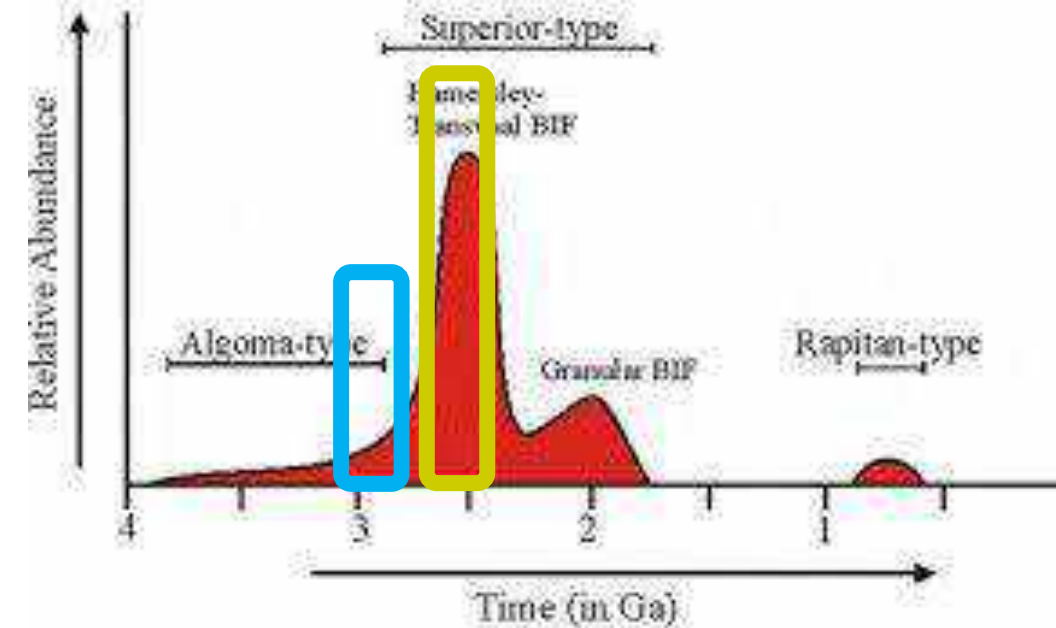


Se conocen al nivel mundial tres tipos de BIF:  
**ALGOMA, SUPERIOR Y RAPITAN**

Los de tipo “SUPERIOR” tienen las más grandes reservas del metal, le siguen en abundancia los tipos “ALGOMA” y “RAPITAN”

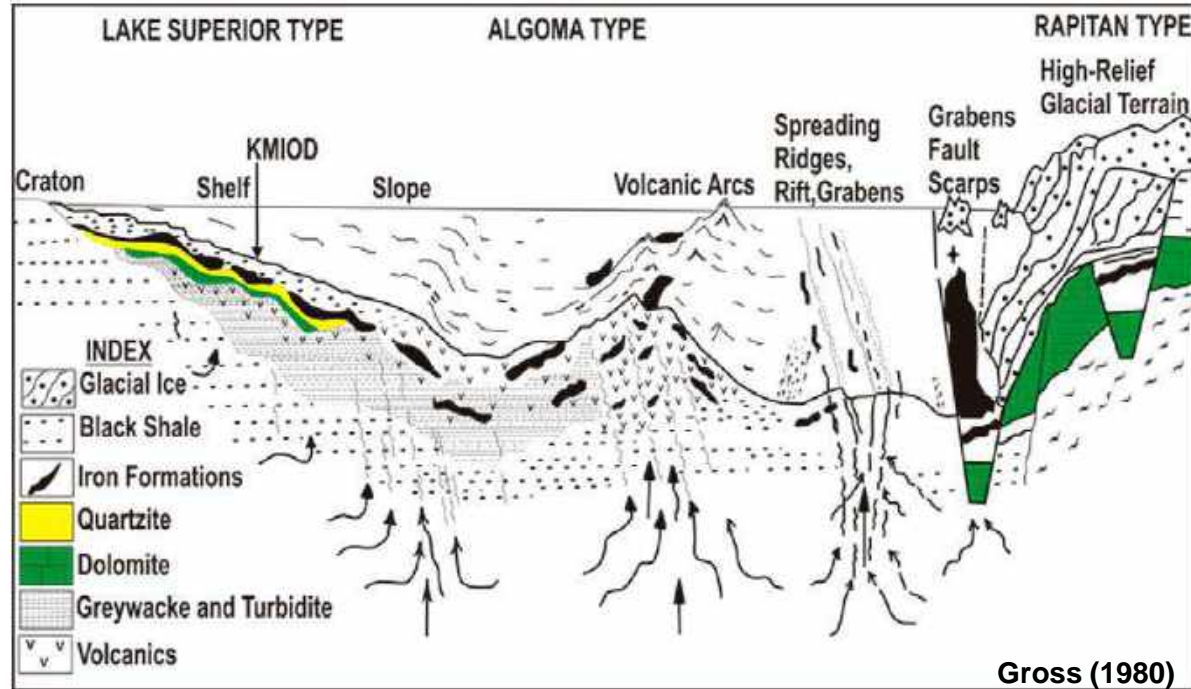
Los depósitos tipo “El Pao”, son del tipo “ALGOMA”.

Los depósitos del Cuadrilátero de San Isidro, que incluían al ya agotado Cerro Bolívar, son del tipo “SUPERIOR”.



# FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)

## Génesis de los depósitos tipo BIF



Formación bandeadada de Fe: roca sedimentaria química que contiene al menos 15% de Fe y presenta una estructura bandeadada, formada por alternancias de capas o láminas de óxidos de Fe y de sílice, como cuarzo o chert. Puede tener de pocos cm a centenares de metros de espesor y decenas de km de longitud. Se conocen tres tipos:

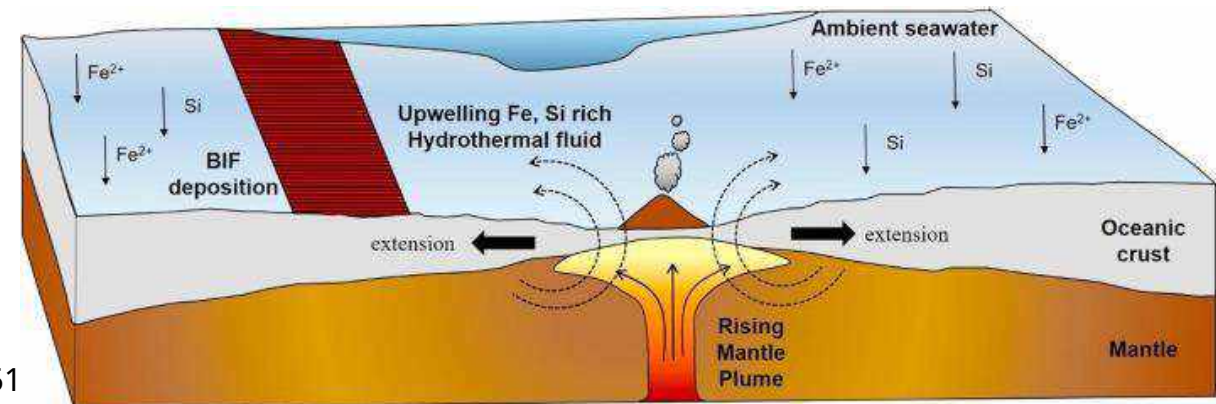
**Tipo “Algoma”:** asociados a arcos volcánicos del Mesorqueano al Neoarqueano.

**Tipo “Superior”:** asociados a plataformas continentales del Neoarqueano al Paleoproterozoico. Son las extensas y espesas.

**Tipo “Rápitan”:** asociados terrenos glaciales durante el Criogénico (Neoproterozoico tardío).

## Esquema de los tres tipos de depósitos BIF posibles

Modelo de BIF tipo “Algoma” asociado a la actividad hidrotermal submarina relacionada con una pluma mantelar que emana fluidos ricos en Si y Fe. El  $\text{Fe}^{2+}$  soluble es llevado por surgencia a zonas más someras donde es oxidado y precipitado por diversos mecanismos químicos o bioquímicos. Tomado de Moon et al. (2017)<sup>351</sup>

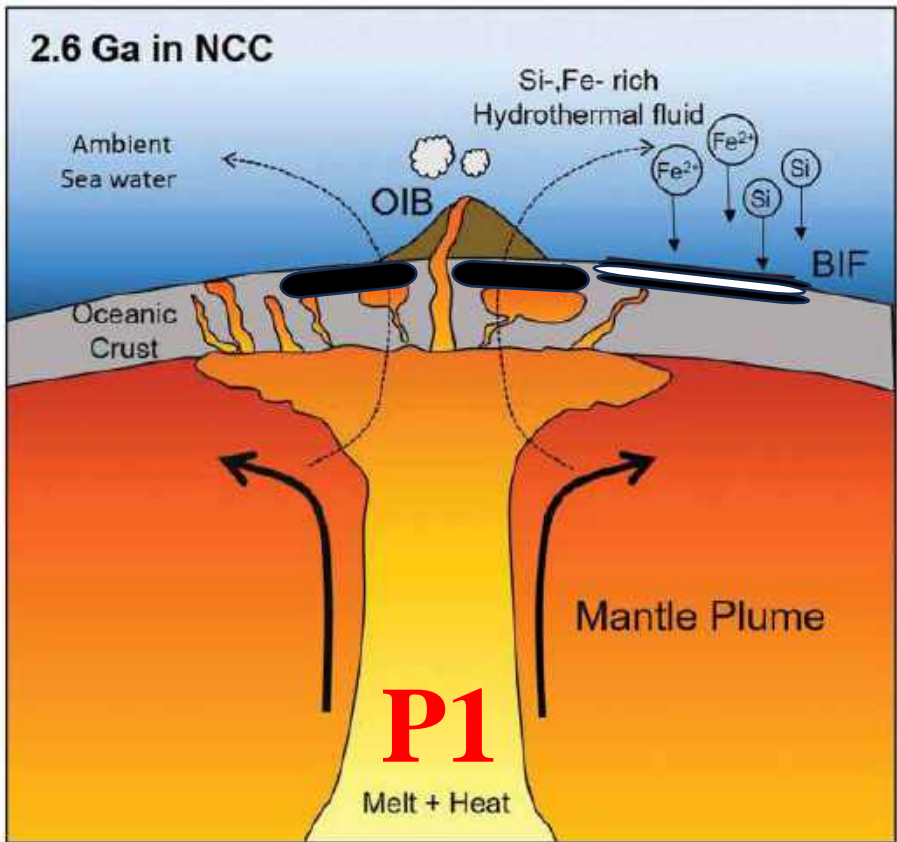




# BIF TIPO “ALGOMA”

## CREADOS DURANTE LA ALMALGAMACIÓN DE KENORLAND

### COMPLEJO IMATACA: MINA EL PAO



Modelo de OMV y BIF tipo “Algoma”, asociados a vulcanismo submarino debido a una pluma mantelar P1. Modificado de Moon *et al.* (2019)

● OMV-El Pao    ■ BIF-Algoma



Granulita ultramáfica  
(metakomatita)



Granulita máfica  
(metabasalto)



Mena masiva de  
magnetita-hematita (OMV)

La mena principal de El Pao es masiva, no estratiforme, es un BIF tipo “Algoma” retrabajado durante el metamorfismo de alto grado o un posible cuerpo de OMV (óxidos masivos vulcanogénicos), asociado directamente a exhalaciones submarinas. En la base de la mina existen BIF normales.



# BIF TIPO “ALGOMA”

## **MINA EL PAO**

**LAGUNA VERDE, EN LA MINA EL PAO**



**VISTA ACTUAL DE LA MINA EL PAO,  
AGOTADA Y CERRADA DESDE FINALES DEL SIGLO XX.**

353

**COMPLEJO IMATACA: MINA EL PAO**



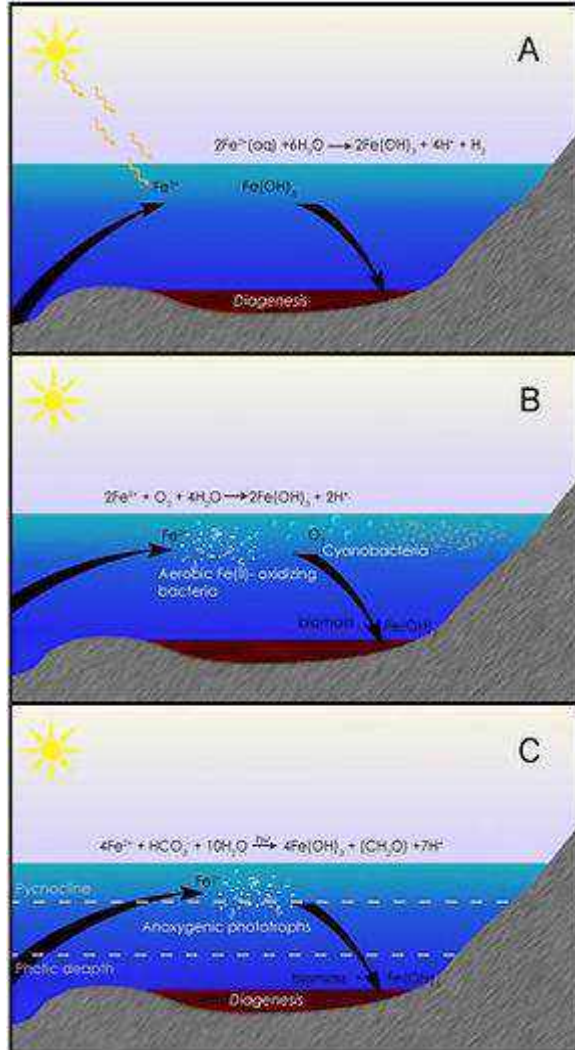
La mena de El Pao era tan rica en Fe que prácticamente no necesitó procesamiento alguno, su tenor era de más de 70% de metal y constituía un sinforme de unos 500 m de largo y 150 m de espesor con reservas de 111 Mt. Cuando el autor visitó la mina, en los años ‘90’s, los ingenieros allí indicaron la presencia de otro lente similar, antiforme, localizado por perforaciones, pero a una profundidad de más de 400 m, lo que no lo hacía rentable para un metal barato como el hierro.

De acuerdo a las tendencias características de la minería, las menas “fáciles”, de alto tenor, son las que tienen menores reservas y se agotan más rápidamente. Este fue justo el caso de la mina El Pao.

# DEPÓSITOS TIPO “SUPERIOR-CARAJÁS”

## Génesis de los depósitos tipo BIF

### MECANISMOS PROPUESTOS



Koehler et al. (2010)

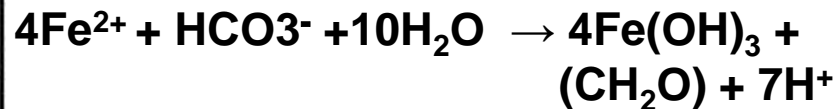
**A. Oxidación abiótica (LUV) (no había capa de ozono en la atmósfera)**



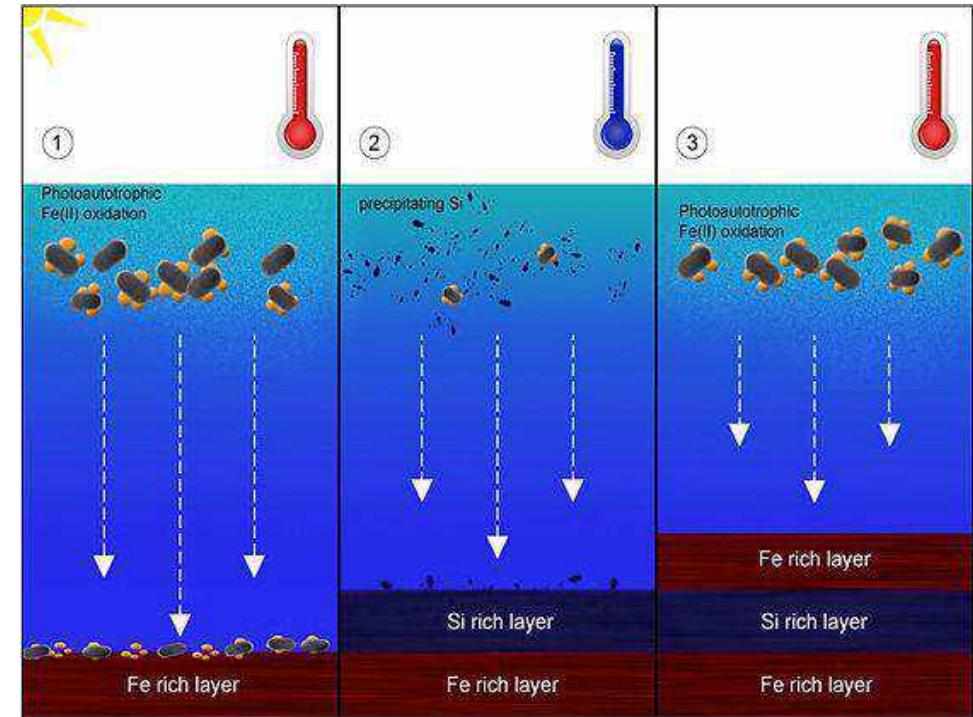
**B. Oxidación por bacterias aeróbicas oxidantes**



**C. Oxidación por bacterias anaeróbicas fototrópicas**



### ALTERNANCIA ESTACIONAL / EPISÓDICA



Koehler et al. (2010)

Acoplando la reducción del Fe<sup>3+</sup> con la oxidación de la materia orgánica – y posiblemente del metano CH<sub>4</sub> – se explicaría el bajo contenido de carbono orgánico en las BIF (< 0,5%).

La diagénesis causaría la deshidratación del Fe(OH)<sub>3</sub> a hematita o goethita:  $2\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$



# DEPÓSITOS TIPO “SUPERIOR-CARAJÁS”

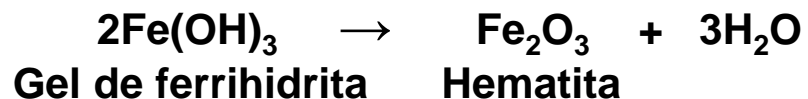
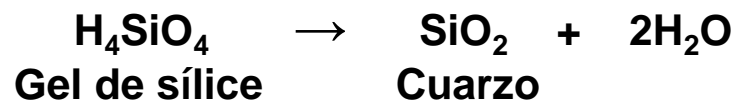
La amalgamación de Kenorlandia generó cinturones orogénicos granulíticos, cuya edad de metamorfismo es de 2,8-2,7 Ga (Imataca-Kanukú).

Una segunda pluma P2, distal, fue responsable de la formación de los depósitos sedimentario-exhalativos estratiformes de Fe de tipo “Superior-Carajás”, como los de Cerro Bolívar y San Isidro.

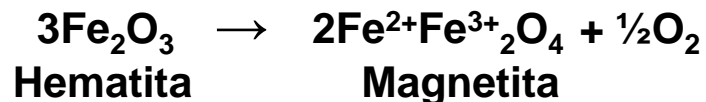
Dichos depósitos sufrieron metamorfismo granulítico con gran deformación y plegamiento isoclinal durante la OROGÉNESIS GURIENSE (hace 2,8 Ga), generando cuarcitas magnéticas o BIF del tipo “Superior” modificado:

BIF original: alternancias de geles de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4$

Durante la diagénesis sufren deshidratación:

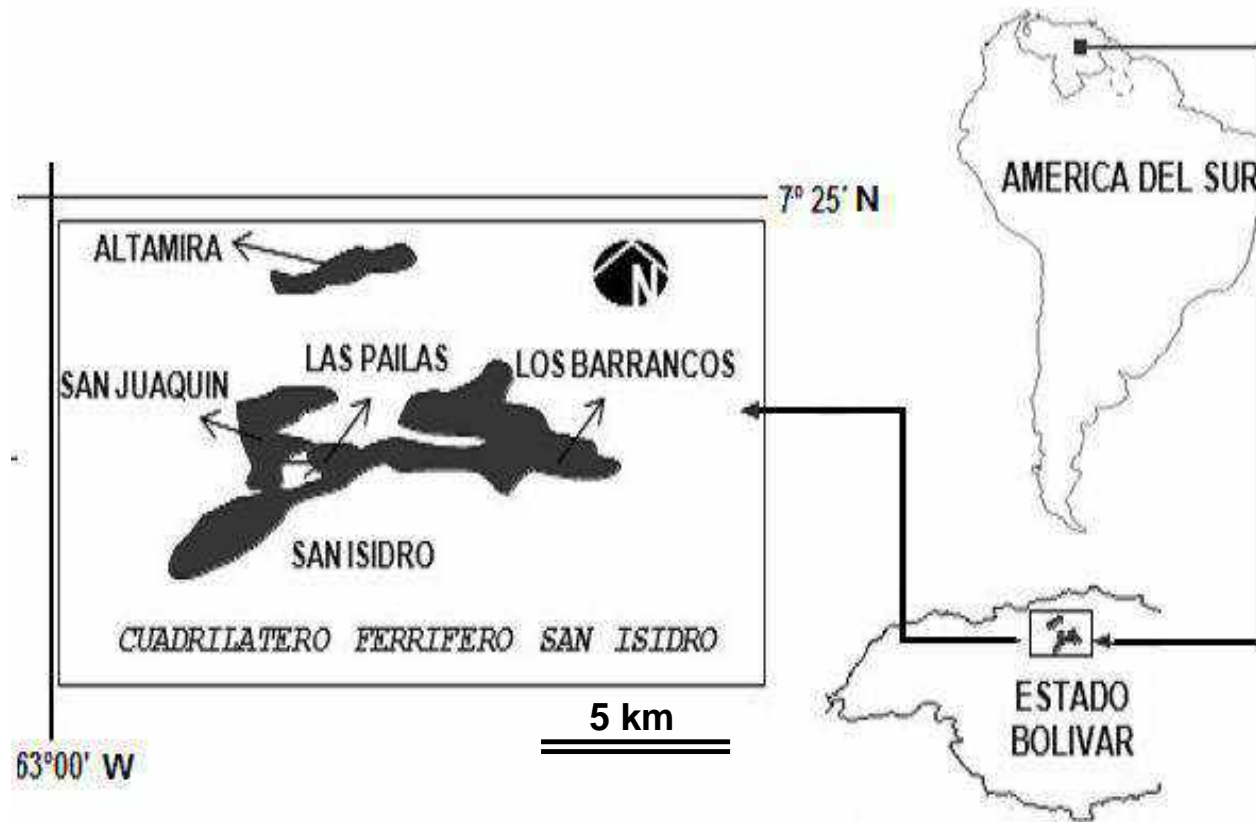


Durante el metamorfismo regional progrado, ocurre la reducción parcial de la hematita a magnetita  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :



Cuarcita magnética o itabirita, mena de bajo tenor, pero con gran volumen de reservas. Cerro Bolívar.   
Nótese el plegamiento isoclinal en las bandas de cuarzo.

# DEPÓSITOS TIPO “SUPERIOR-CARAJÁS”



Depósitos tipo “Cerro Bolívar-Carajás” o “Superior” modificado.

Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro, en el norte del estado Bolívar. Constituye una de las más grandes reservas de mena de Fe del continente (> 12 Gt). En negro se muestran los cerros de BIF recubiertos por gruesos mantos lateríticos de hematita-goethita de alto tenor. Tomado de Romero (2010).

RESERVAS PROBADAS		PROBABLES		POSIBLES	
ALTO TENOR		BAJO TENOR		BAJO TENOR	
Mt.	%Fe	Mt.	%Fe	Mt.	%Fe
1.708	64,62	2.477	48,46	1.762	44,08
				8.711	44,08

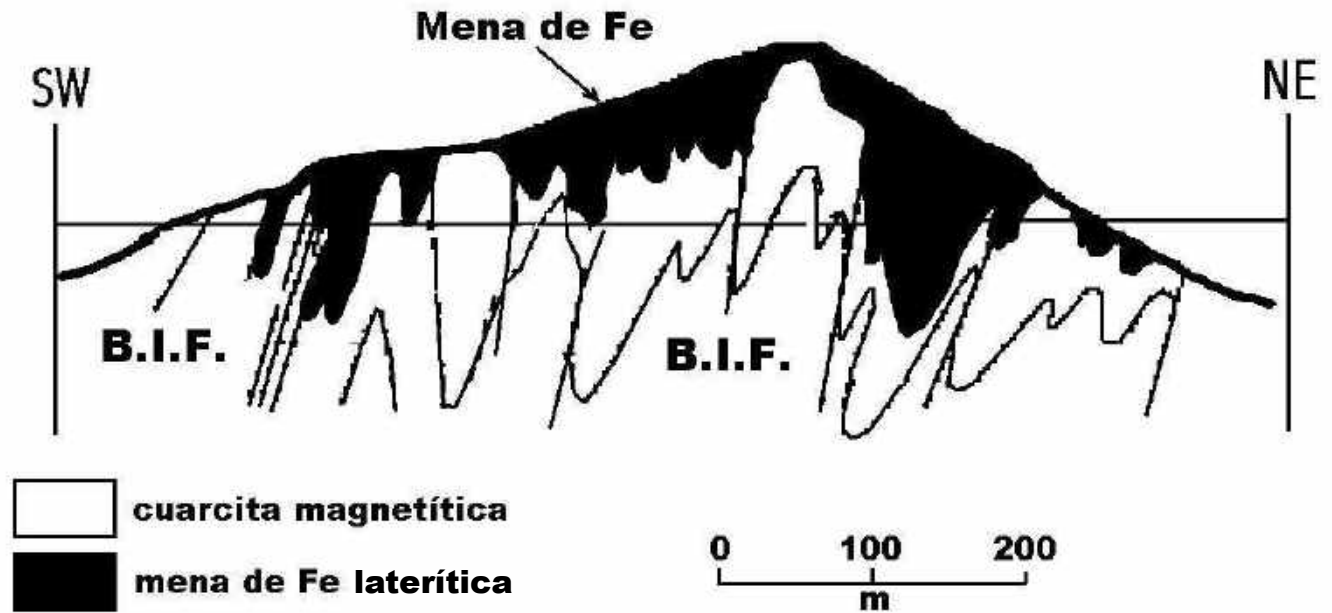


# LATERITIZACIÓN DE LAS FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)

La meteorización tropical de dichas cuarcitas magnetíticas BIF (en Venezuela, Brasil y otras localidades tropicales), lixivió el cuarzo y oxidó la magnetita primaria produciendo espesos horizontes ricos en hematita-goethita-limonita, con altos tenores de Fe, de 63-68%. Dichos horizontes lateríticos alcanzan hasta 150 m de espesor y han sido explotados a cielo abierto, siendo yacimientos sumamente rentables, sobre los cuales se pudo afianzar una industria siderúrgica permanente a gran escala: Ferrominera-SIDOR.

- Las lateritas ferruginosas se formaron a partir de la lixiviación de roca madre BIF, de bajo tenor.
- Dicha lixiviación va dejando en el suelo residual los iones más insolubles de hierro férrico.
- El mecanismo de lixiviación sigue los siguientes pasos:
  - 1) El ácido carbónico de la lluvia y el agua freática atacan la estructura de la magnetita) y disuelven el cuarzo de la roca madre, 2) Esto es seguido por la hidrólisis, oxidación del  $\text{Fe}^{2+}$  y precipitación de óxidos e hidróxidos insolubles de  $\text{Fe}^{3+}$ .
- Todo esto requirió condiciones de alta temperatura, en un clima monzónico tropical húmedo. Una característica esencial para la formación de laterita es la alternancia de períodos o estaciones húmedos y secos.

Sección del cerro Bolívar mostrando espesor de la costra laterítica



Mina San Isidro, la mayor reserva de mena laterítica de alto tenor de Fe de Venezuela, con reservas de casi 300 Mt de mena de alto tenor.

## FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)

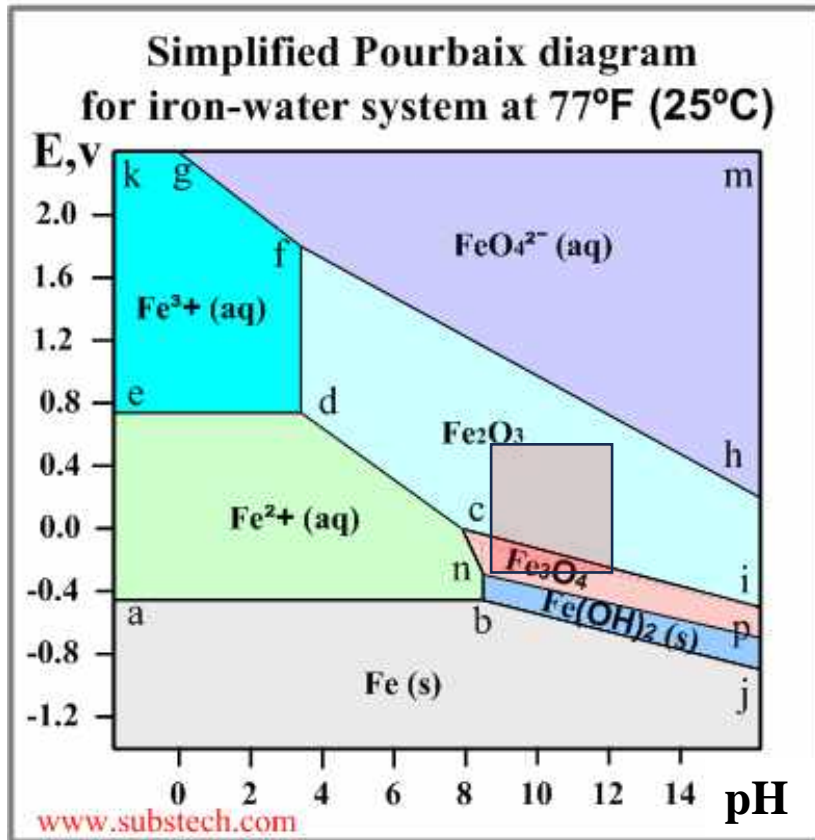
**Reservas recuperables de mena de Fe de alto tenor (laterítica).**

Mina	Mt	%Fe seco	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%PPC	%P
<del>CERRO BOLÍVAR</del>	<del>146,791</del>	<del>65,02</del>	<del>1,50</del>	<del>1,00</del>	<del>4,51</del>	<del>0,100</del>
SAN ISIDRO	291,992	67,37	1,13	0,89	1,72	0,051
LOS BARRANCOS	86,381	66,07	1,77	0,66	3,79	0,080
LAS PAILAS	27,132	66,54	1,12	0,71	3,08	0,062
ALTAMIRA	135,912	64,09	2,46	1,06	4,84	0,071
SAN JOAQUIN	75,855	65,39	2,35	0,48	1,67	0,045
TOTAL	<del>764,062</del> <b>617,271</b>	Prom. 65,61	Prom. 1.80	Prom. 0.81	Prom. 3.65	Prom. 0,075

C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. Actualizada a enero 2004



# LATERITIZACIÓN DE LAS FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)



Las rocas BIF son lixiviadas por el agua meteórica que se filtra durante la temporada de lluvias; la solución resultante que contiene los iones lixiviados ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) es llevada a la superficie por capilaridad durante la estación seca. Estos iones forman sales que se secan en la superficie. Dichas sales son lavadas durante la próxima temporada de lluvias. La formación de laterita se ve favorecida en zonas de relieve atenuado como suaves crestas y mesetas que eviten la erosión del material superficial: las aguas salinas se infiltran en la formación.

Condiciones alcalinas,  $\text{pH} > 8$  y oxidantes,  $E_h > 0$ , que explicarían la oxidación de magnetita  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$  a hematita  $\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$  y su posterior hidratación a goethita  $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ .

Durante la formación de lateritas existe una zona de reacción donde las rocas están en contacto con agua, que abarca desde el nivel freático mínimo al máximo. En los trópicos esta zona u horizonte B puede tener espesores de decenas o centenares de metros. Esta zona de reacción se agota progresivamente de los iones fácilmente lixiviados. Una solución con estos iones puede tener el pH alcalino adecuado para disolver preferentemente  $\text{SiO}_2$  en lugar de los óxidos de hierro en forma de gel de sílice:  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , de modo que el tenor en Fe aumenta<sup>359</sup>

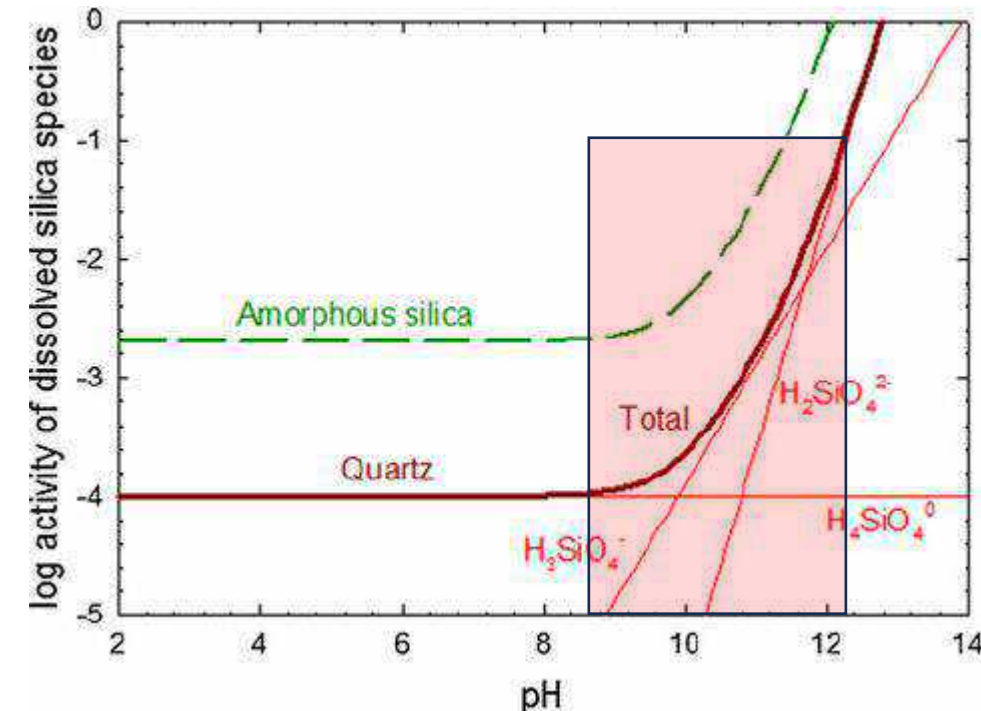
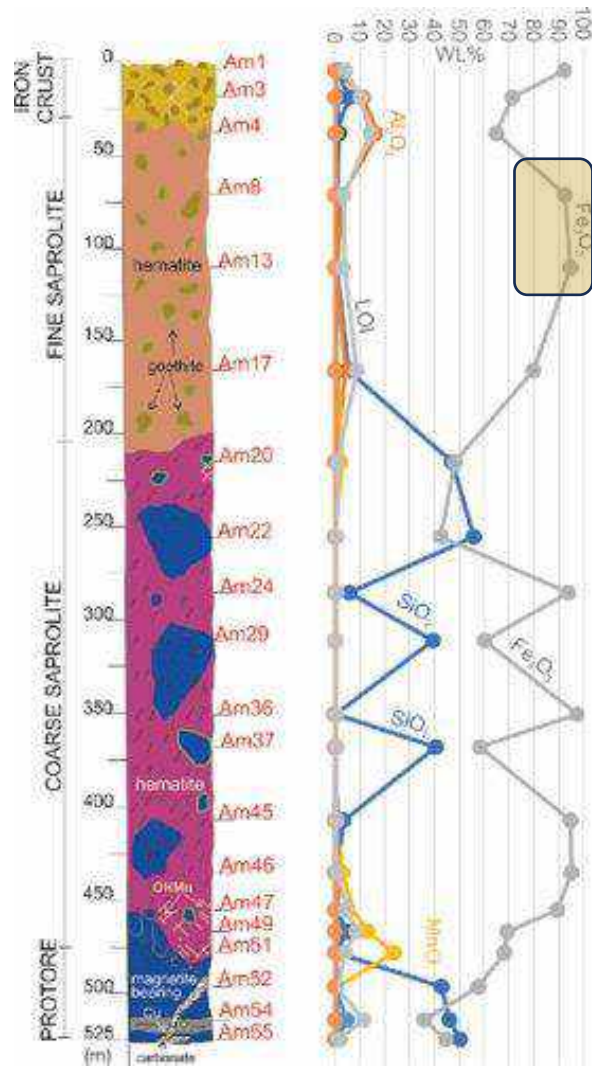


Diagrama de actividad del  $\text{SiO}_2$  mostrando la alta solubilidad de cuarzo y el ópalo a pH elevado.

# LATERITIZACIÓN DE LAS FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)



$$\% \text{Fe en hematita } \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{56 \cdot 2}{(56 \cdot 2 + 16 \cdot 3)} = 70\%$$

$$\text{Tenor de Fe max.} = 70 \cdot 95\% = 66,5\%$$



**¡LOMITO!**

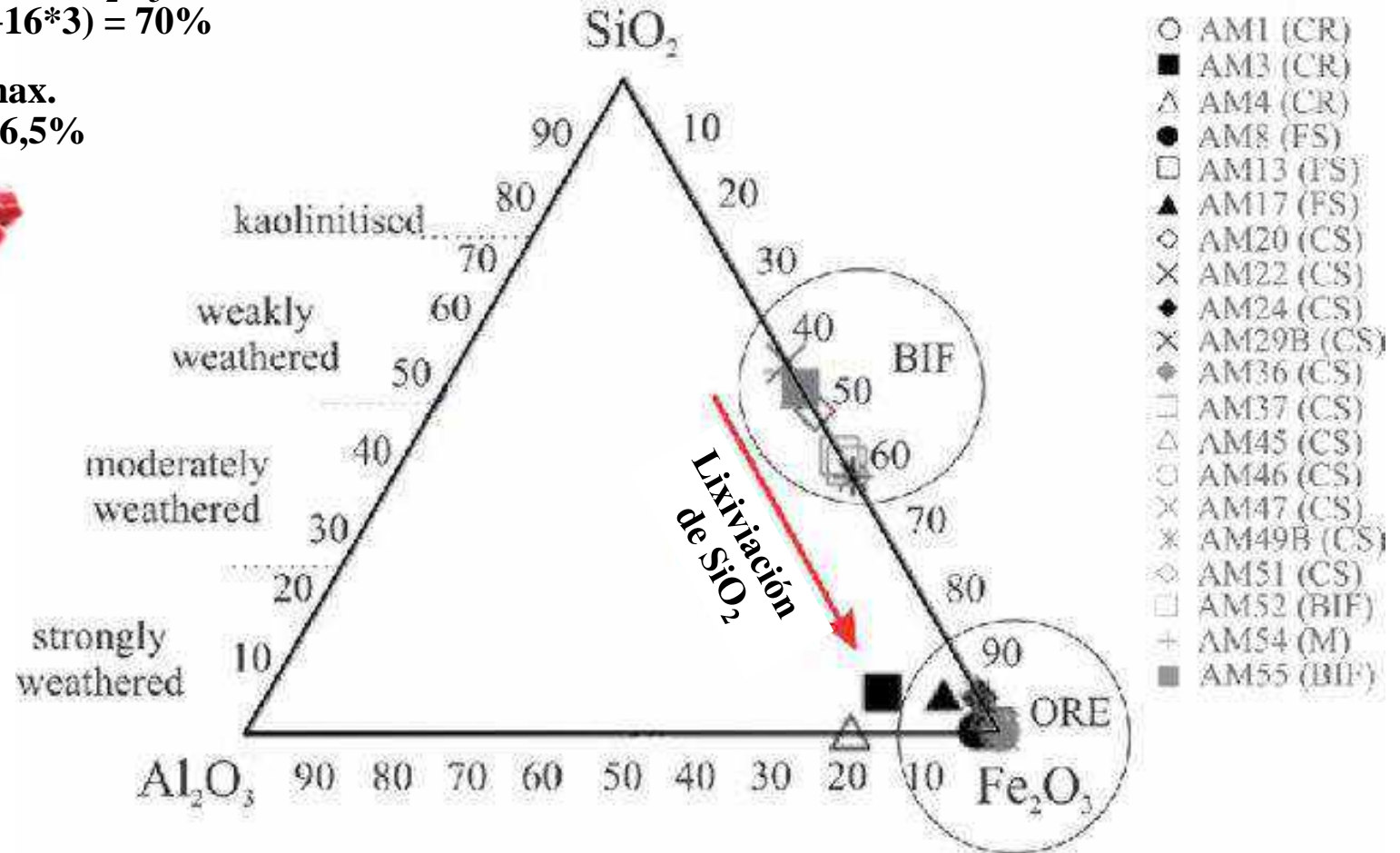


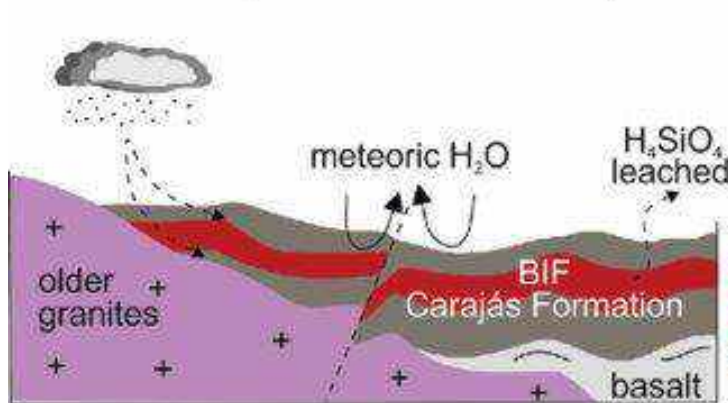
Diagrama ternario SiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de depósitos lateríticos desarrollados sobre BIF del tipo "Superior-Carajás-Cerro Bolívar". Los límites de la lateritización son los propuestos por Schellmann (1986). La lixiviación del SiO<sub>2</sub> es casi total en condiciones de fuerte meteorización química: lateritización.



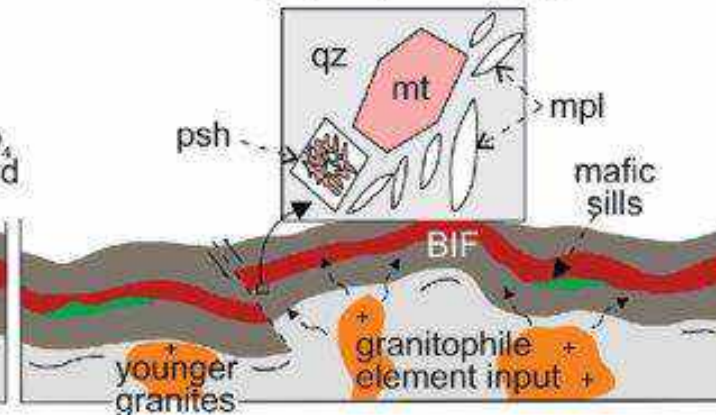
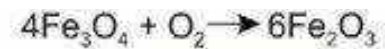
# LATERITIZACIÓN DE LAS FORMACIONES BANDEADAS DE HIERRO (BIF)

Modelo genético de depósitos lateríticos supergénicos en el depósito S11D del distrito minero Serra Dos Carajás, estado de Pará, Brasil (aplicable al Cuadrilátero San Isidro y cerro Bolívar).

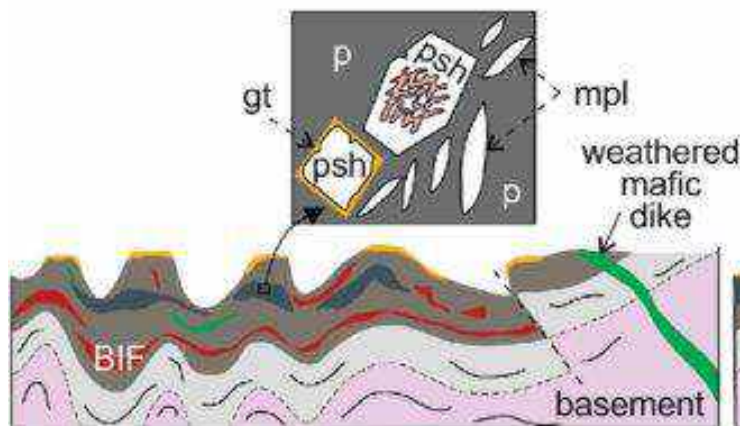
**A** Meteorización y lixiviación comienzan hace  $\approx 70$  Ma



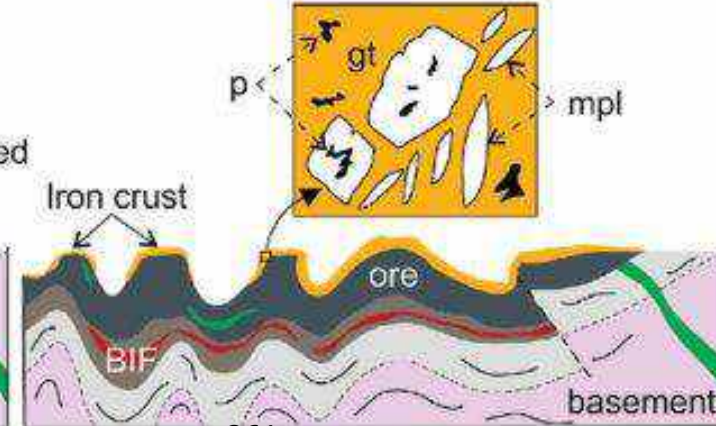
**B** Oxidación de magnetita



**C** Formación de la mena (psh) y disolución del cuarzo



**D** Goethita cementa la costra superficial



p: porosidad

qz: cuarzo

mt: magnetita

psh: hematita ps. de mt.

mpl: hematita

microlaminar

gt: goethita (moco de Fe)



79 196,967  
1,3

2970  
1063  
19,3

# Au

$(\text{Xe})4f^{14}5d^{10}6s^1$

## Oro

Mina Caratal  
El Callao





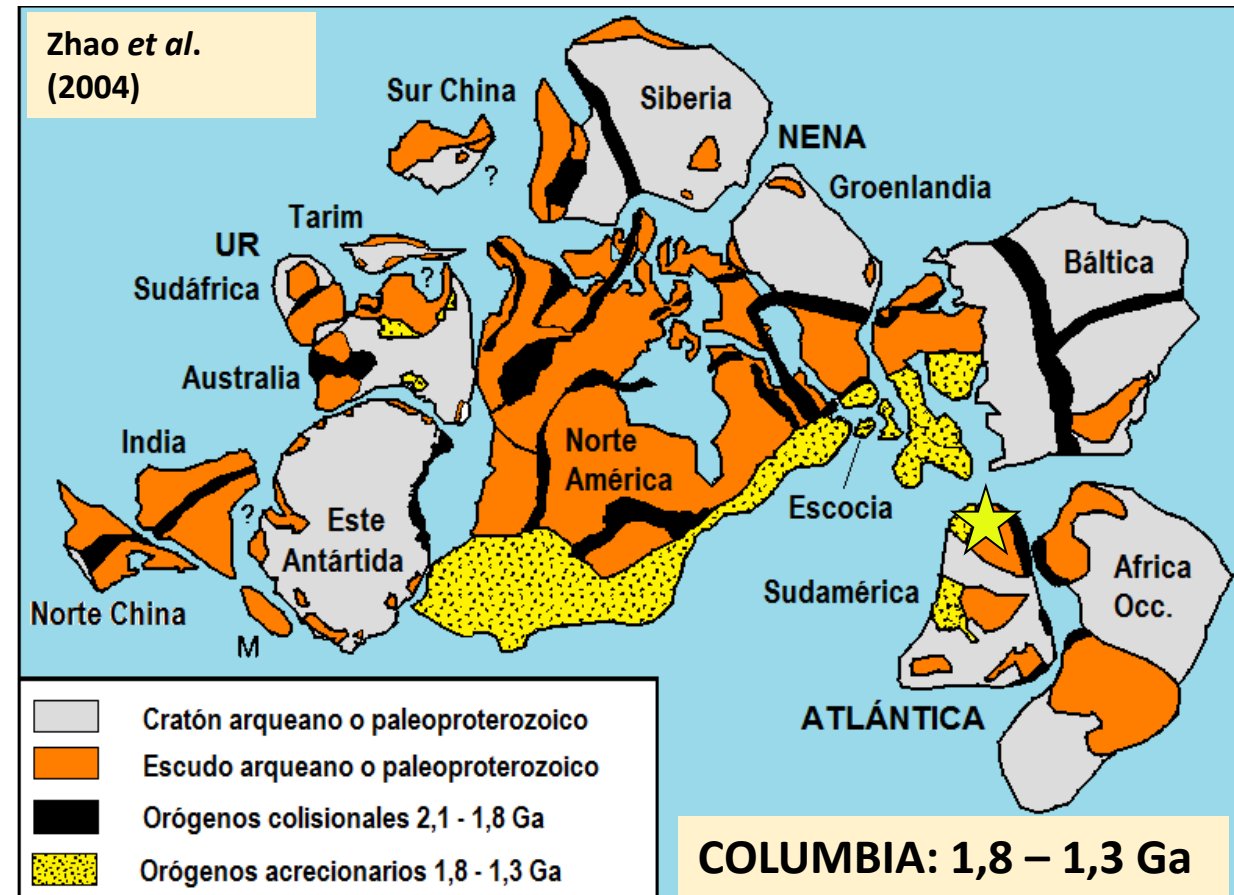
# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

Columbia (también conocido como Nuna, Nena o Hudsonia) es el nombre de uno de los supercontinentes pasados postulados en la Tierra. Existió desde hace 1,8 a 1,3 Ga en el Paleo/mesoproterozoico, siendo el supercontinente global más antiguo y duradero.

Consistió en un megacratón integrado por cratones de Laurentia, Báltica, Ucrania, Australia, y posiblemente Siberia, norte de China y Kalahari. Amazonia-Africa Occ. formaban un bloque aparte: **Atlántica**. Su reconstrucción se logró con base a datos paleomagnéticos y correlación de orógenos antiguos.

**Pudo haberse formado hace 1.800-1.300 Ma por la colisión tres primeros continentes: Ur, Ártica y Báltica, donde Kenorlandia, Siberia y Báltica se suturaron con la Antártida Este para formar:**

**NENA: Norte-Europa + Norte-América**



El continente Atlántica, núcleo de la futura Gondwana, no se hallaba suturado a Nena, sino que formaba un bloque aparte, cuya ubicación no se conoce con certeza. El Escudo de Guayana ★ formaba parte de este continente.

# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

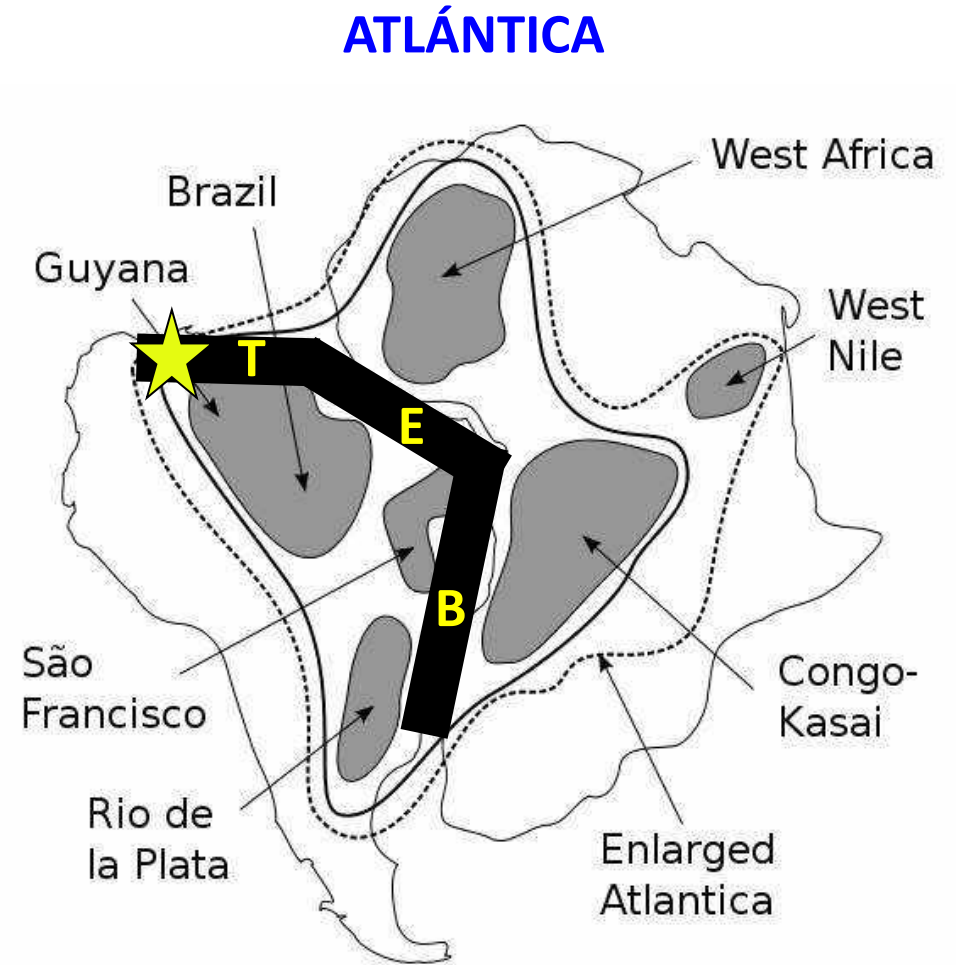
Columbia se formó entre 2,2 y 1,8 Ga, produciéndose orogénesis en casi todos los continentes de la Tierra de aquel tiempo. Los cratones de América del Sur y África Occidental se unieron entre 2,3-2,0 Ga en las orogenias Transamazónica (T), Eburneana (E) y Birrimiana (B), para formar el bloque denominado **Atlántica**. Muchísimas otras orogenias se produjeron a lo largo de todo el mundo, dando por resultado la amalgamación final del supercontinente Columbia.

**Atlántica comprendía los cratones de Guayana, Brasil, Río de la Plata, W-África y del Congo. Su formación constituyó la llamada:**

**Orógeno Transamazónico** 

**representado en el Escudo de Guayana por la Provincia de Pastora-Mazaruni, con granitos sódicos TTG (Complejo Supamo: 2,15 Ga) y CRV's con metavolcánicas de 2.,3-2,0 Ga ★.**

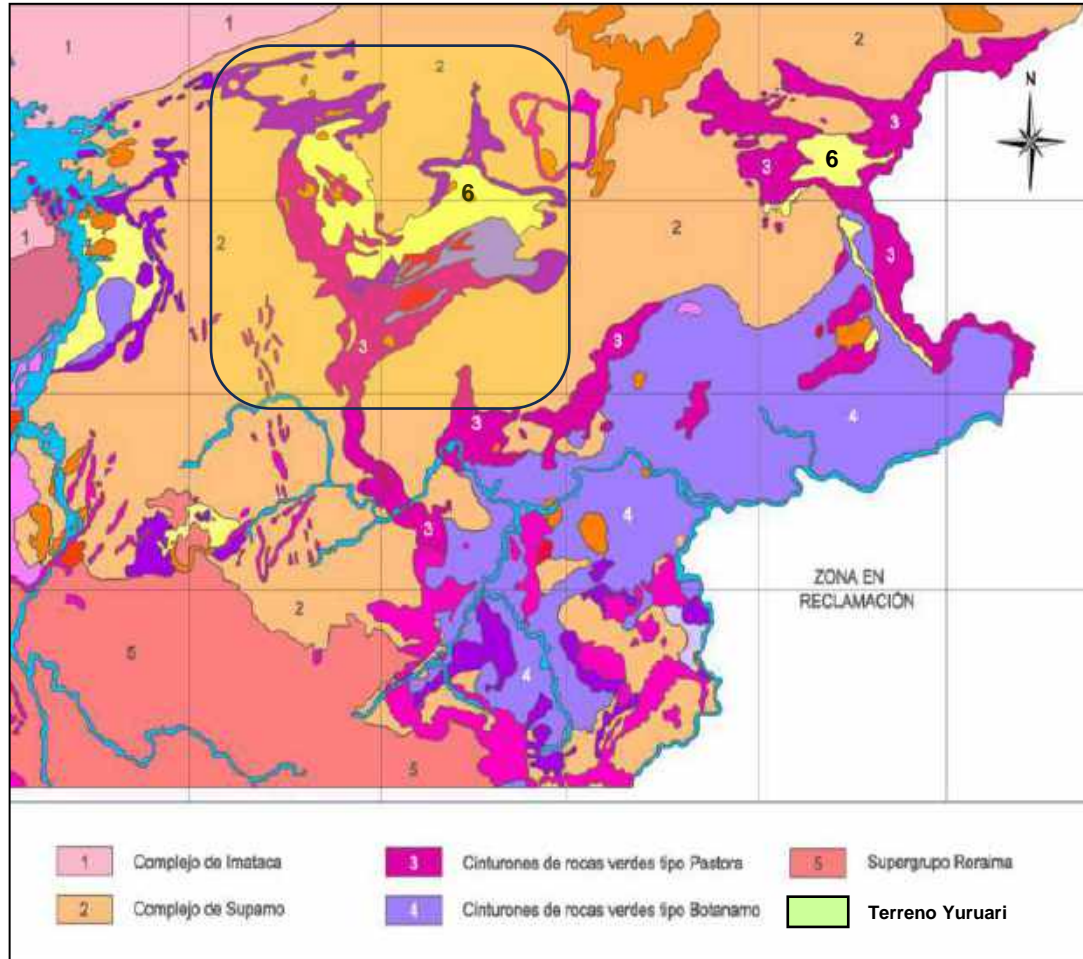
**Durante su larga vida y deriva Atlántica fue afectada por tres fuertes plumas mantelares, que trataron de disgregarla sin éxito, pero dejaron sendas LIP en el Escudo de Guayana: una bimodal (Orocaima), otra máfica (Avanavero-Roraima) y otra alcalina (Parguazensis). A éstas se relacionan los depósitos de Al (bauxita).**



<https://geofrik.com/2013/05/11/supercontinente-atlantica/>



# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA



Mapa geológico de la Provincia TTG-CRV de Pastora Botanamo

## UNIDADES DEL CINTURÓN DE ROCAS VERDES DE PASTORA

### Metavolcanosedimentarias de Caballape

 *inconformidad*

### Asociación Carichapo, compuesta de:

- Metalava basáltica-tholeiítica de El Callao y
- Metalava basáltica-komatiítica de Florinda

Cuando estos dos litodemos no se pueden identificar en el campo y sólo se reconocen meta-lavas anfibolitizadas, se debe utilizar el litodemo Anfibolita de Carichapo.

### *Contacto tectónico*

- Terreno Cicapra: formado de metalavas basáltico-komatiíticas y meta-lavas basálticas con meta-sedimentos

### *Contacto tectónico*

Esquistos y metatobas de Yuruari o Terreno Yuruari.

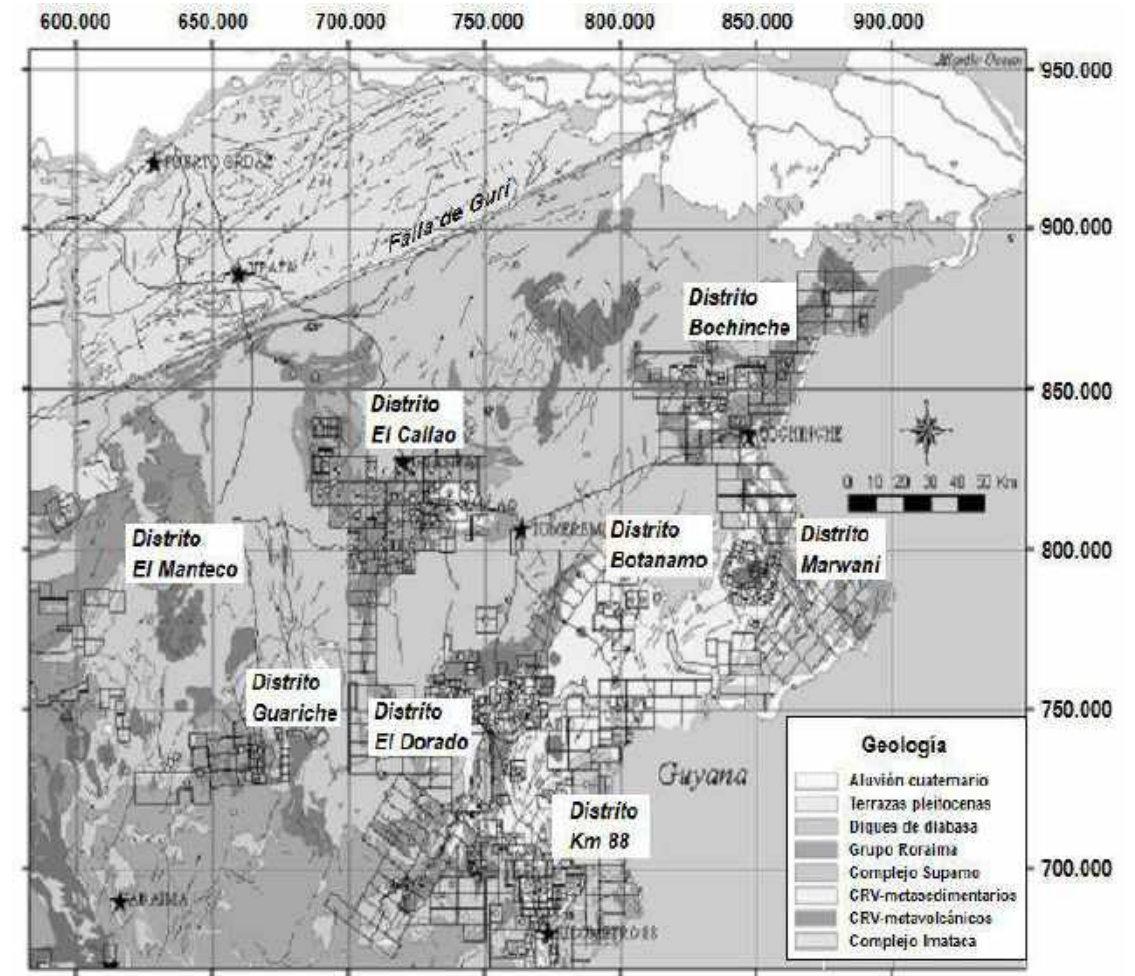
Todo el Cinturón está sobrecorrido sobre el Complejo Supamo

# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

## Tipos de depósitos auríferos:

- **Au: vetas mesotermales de cuarzo-Au-pirita:** en zonas de cizallamiento en las metalavas andesíticas de la región de El Callao-Tumeremo (DDOO). También como chimeneas de brecha, crestas ensilladas y *stockworks*.
- **Pórfidos de Cu-Au (Mo):** en Las Cristinas y Omai, en el distrito de El Callao-km 88
- **Au-W: vetas hipotermales de cuarzo-Au-scheelita:** en el distrito minero de Botanamo (DDOO).
- **Au: lateritas enriquecidas en Au,** desarrolladas sobre pórfidos de Cu-Au (Mo), en Las Cristinas y Omai.

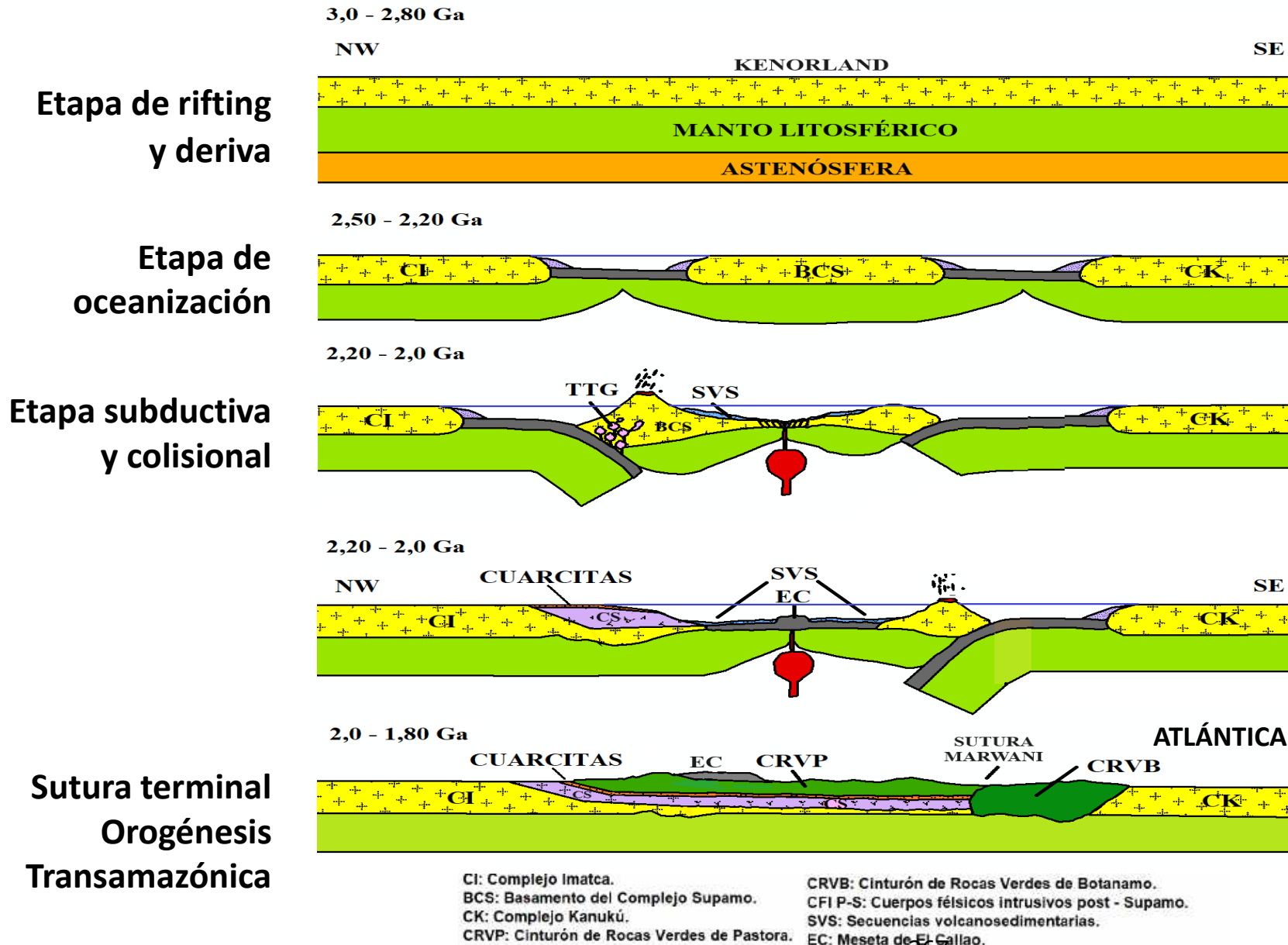
Y los placeres aluviales-colviales derivados de ellos...



**Distritos auríferos de la  
Provincia de Pastora-Botanamo  
y concesiones mineras otorgadas.**



# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA



Modelo tentativo simplificado de evolución tectónica de las provincias de Imataca-Kanukú y Pastora-Botanamo. Representa un ciclo de Wilson completo, con apertura y cierre de al menos tres cuencas oceánicas, colisiones arco/continente y arco/arco y la formación de una meseta oceánica (El Callao, EC). La Cuarcita de El Miamo fungió como una superficie de *decollment* por la cual los CRV's fueron sobrecorridos sobre el Complejo Supamo. El continente inicial era Kenorland (o parte de éste) y el final, fue Atlántica. Modificado de González y Sol (2023)

# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

El *rifting* paleoproterozoico del continente formado por Imataca-Kanukú permitió la apertura de uno o más océanos, entre ellos, el océano Pastora, cuyo cierre ocurrió durante la orogénesis Transamazónica, representada por los CRV's de la Provincia de Pastora,

Otra pluma mantelar P3, con edad 2,3-2,2 Ga, disgregó a Imataca y Kanukú de Kenorland y generó una meseta oceánica LIP en el océano Pastora, donde fueron erupcionados los magmas komatíticos y basálticos de las metavolcánicas de Florinda, Cicapra y El Callao, con sus conocidos depósitos auríferos en CRV (Mendoza *et al.*, 2019). Esta meseta fue obducida cuando se formó el continente Atlántica.

**P3**

## Orogénesis Transamazónica ATLÁNTICA



**Metalava verde  
El Callao**



**Metalava pirítica  
Mina <sup>368</sup>Caratal**



**Veta de cuarzo aurífero  
Mina Colombia**



# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

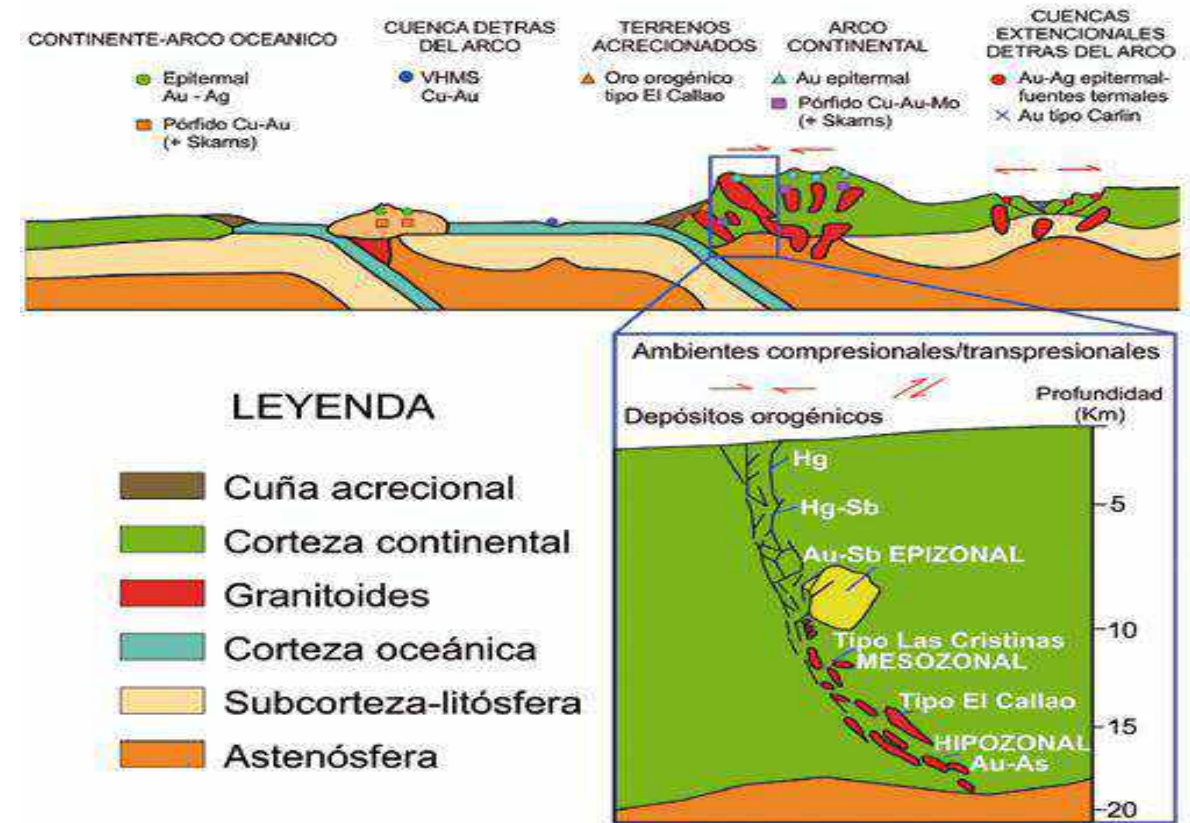
## Depósitos de Au orogénico (DDOO)

Según Mendoza (2006), los DDOO son sinmetamórficos tardíos y se originaron en márgenes convergentes durante los procesos de deformación que ocurrieron en zonas de subducción (arcos volcánicos y márgenes activos) y colisionales (arco/continente). En el prisma de acreción son liberados fluidos ricos en sulfuro y oro que son incorporados a vetas de cuarzo-carbonato. Estos fluidos fértiles ascienden a través de fallas de corrimiento, con buzamientos entre 10-30° con la dirección de la cizalla principal, que a menudo es la dirección de la sutura y cierre oceánico producida en una colisión arco-continente, como lo fue la paleosutura Guri: Pastora contra Imataca.

Importantes DDOO se produjeron durante y después del cierre del océano Pastora, entre 2,1-2,0 Ga (minas de El Callao, Botanamo, La Camorra, etc.) en vetas cuarcíferas carbonáticas, con un contenido de Au estimado en más de 5.000 tm.



Veta de cuarzo aurífero  
Mina Colombia,  
El Callao



Mendoza *et al.* (2019)

Estudios metalogénicos efectuados en inclusiones fluidas en cuarzo y carbonatos ganga de las vetas han demostrado que el Au fue transportado en complejos auro-sulfurosos como  $\text{AuHS}(\text{H}_2\text{S})$ , neutros, que son desestabilizados entre 300-400° C para precipitar oro nativo en condiciones de presión reducida. Son pues, depósitos típicamente mesotermiales.



# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

## Distrito El Callao

El más rico y famoso de Guayana, con más de 300 vetas con 1-10 m de espesor y 100 a 3.000 m de largo de cuarzo aurífero que han producido más de 300 tm de Au entre 1829-2015, alcanzando un tope de producción de 22.323 kg en el año 1997. Los tenores evaluados en la mina Colombia arrojaron valores excepcionalmente altos de 60 ppm de Au (g/tm), teniendo una potencialidad hasta 1000 m de profundidad de más de 8 millones de ozTroy de Au.

La roca encajante de las vetas son metalavas basálticas verdes, que representan protolitos de basalto de alto MgO, andesitas-basálticas y komatitas basálticas, datados en 2,4-2,3 Ga, es decir muy anteriores a la mineralización. Es probable que semejante enriquecimiento en este Distrito se haya debido en parte a la formación de una meseta submarina o *plateau* oceánico relacionado con una pluma mantelar ubicada en el océano Pastora. Dicha meseta viajó tectónicamente hasta la zona de subducción del arco de Pastora y partes de ella fueron emplazadas a través una superficie de *decóllment* constituida por la Cuarcita de El Miamo, en la colisión con Imataca, hace 2,1-2,05 Ga, como parte de la orogénesis Transamazónica.

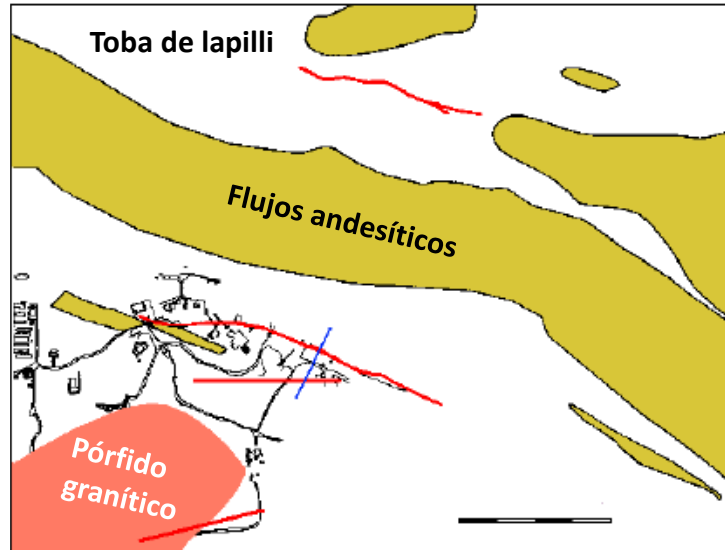
Con este modelo se propone que la fuente del oro fueron las rocas volcánicas komatíticas ubicadas en la base de la meseta, el metal fue lixiviado por fluidos de deshidratación metamórfica y emplazado en rocas favorables a niveles más someros.

MINERALIZACIÓN (Au)	LITOLOGIA	ESTRATIGRAFIA	PRINCIPALES TIPOS DE MOCAS	ESTRUCTURAS MINERALIZADAS	ALTERACION
MINA UNION SOSA MENDEZ	Secuencia de lavas y Tobas felsicas.		Nivel de Tobas (lapillis)	Vetas de cuarzo	Carbonatos difusos, Silice (difusa) Vetos y vetillas de cuarzo, carbonato, pirita, óxidos de hierro
	Secuencia de lavas máficas, basaltos, andesíticas.		Nivel de Chert, Lentas de Tobas, Zonas de "shear zone" con vetas de cuarzo, Nivel de conglomerados		
	Sedimentación exhalativos.		Argilitas, Chert, Vetos de cuarzo, Basalto, Andesitas con hornblenda, Andesitas con carbonatos		
	Secuencia de lavas Basalto - andesíticas con diques o sills de diabasa - gabro.		Basaltos Komatíticos		
	Lavas ultramáficas a máficas, Dique o sills de Diabasa.		Tobas Andesíticas		
MINA COLOMBIA	Lavas máficas Basaltos Andesitas		Tobas con cristales, Tobas con carbonatos, Tobas variolíticas, Lavas almohadilladas, Andesitas alteradas, Vetos de cuarzo, Andesitas alteradas	Vetillas de cuarzo	Carbonatos Calcita Epidota Estena.
	Dique de Porfido			Vetillas de cuarzo	Pirita gruesa o fina, Carbonatos
	Andesitas			Vetas de cuarzo	Calcita Dolomita Askenita-Siderita
	Sedimentación Exhalativos				
	Dique Laguna				
	Andesita				

Columna generalizada de las estructuras en las minas Sosa Méndez y Colombia. Tomado de Guilloux (1997)



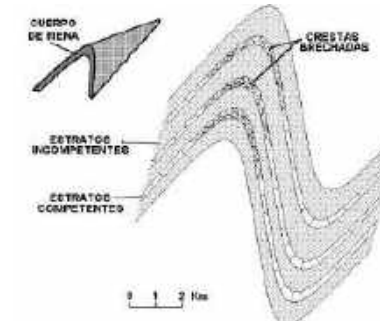
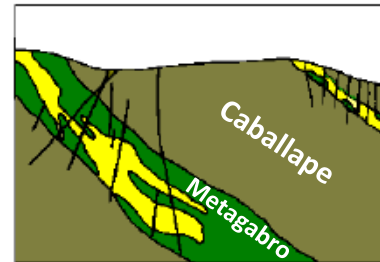
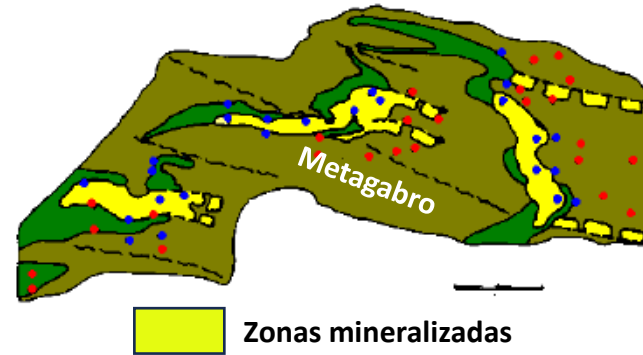
# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA



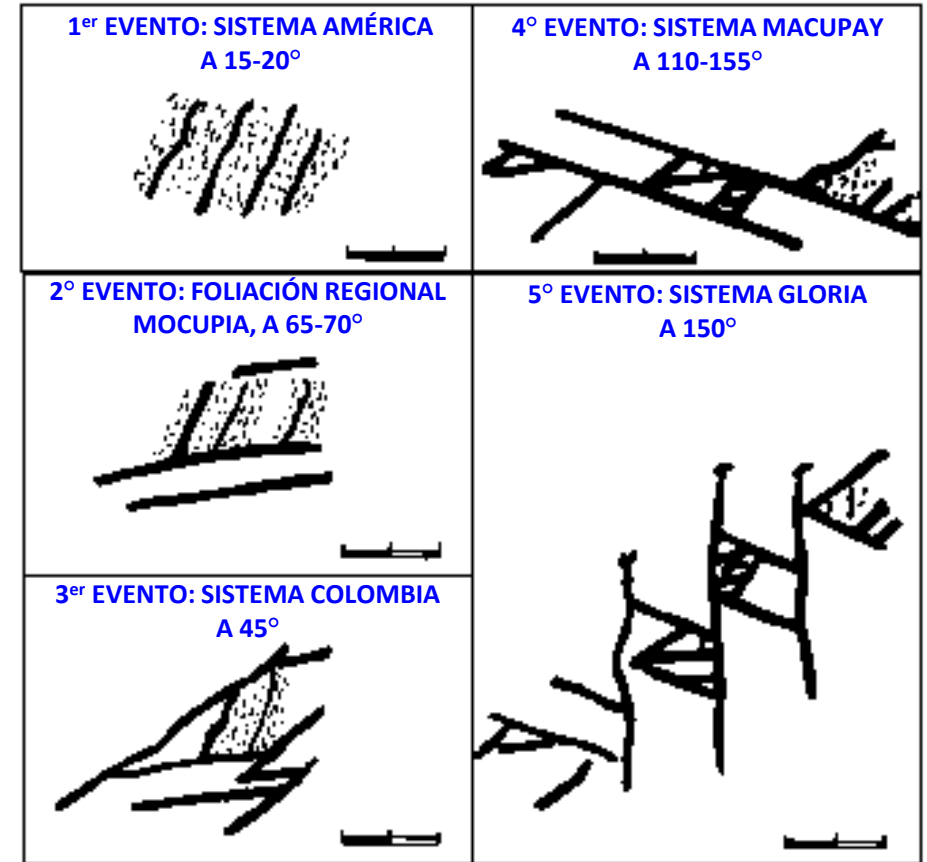
Mapa geológico mina La Camorra



Principales alineaciones estructurales en el distrito de El Callao.

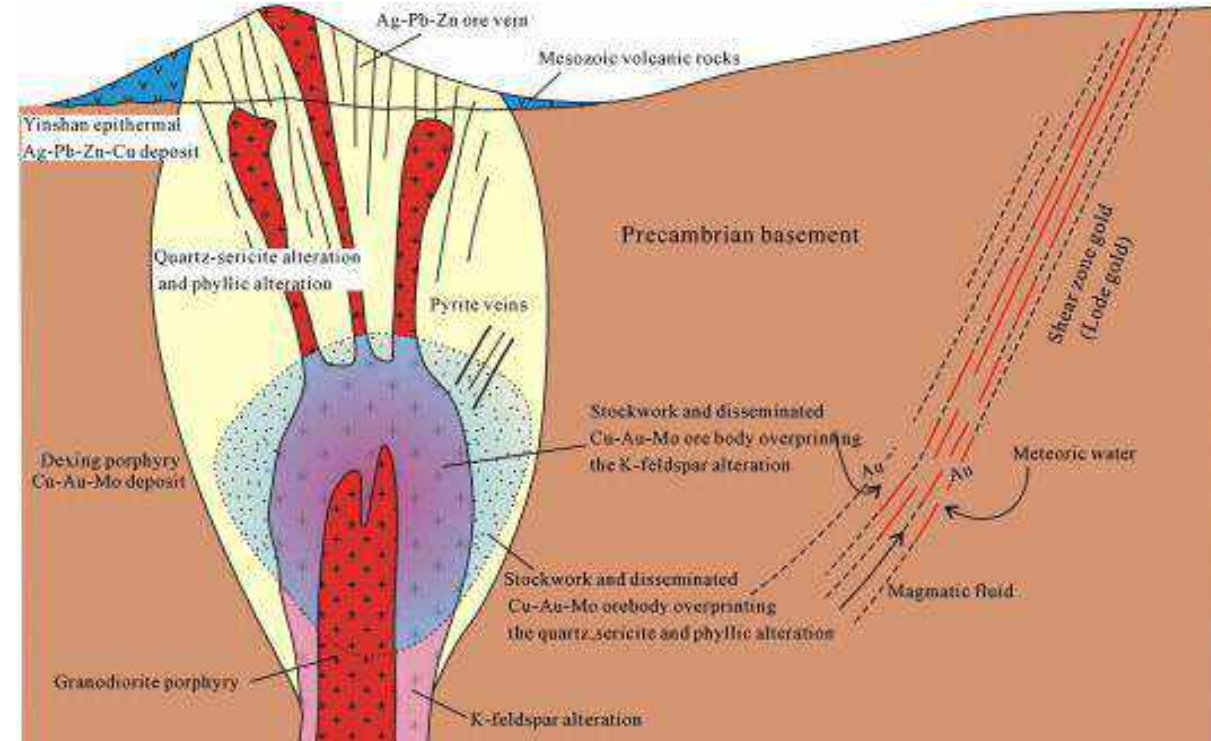
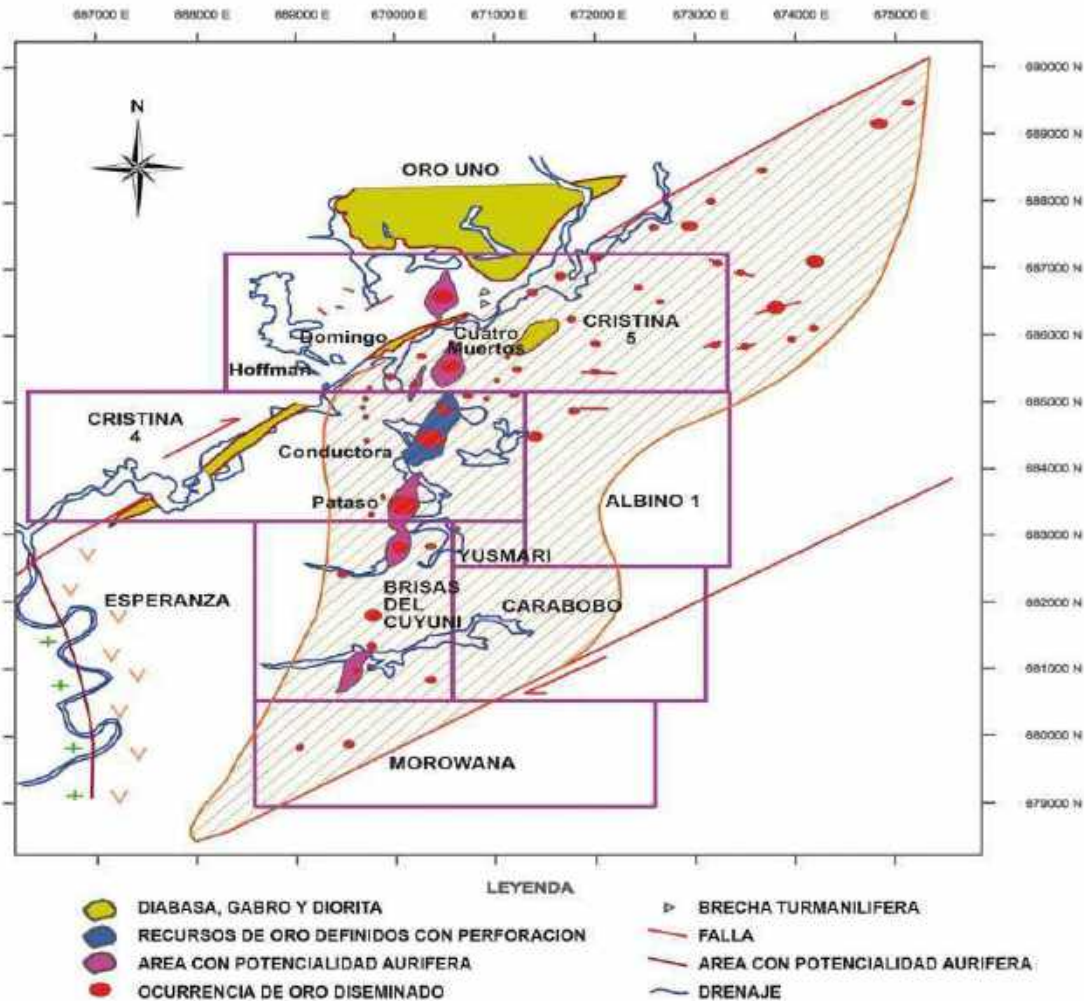


Depósitos de oro tipo crestas ensilladas o “saddle reef” Charlie Richards y Mckenzie de la mina Tomi, distrito aurífero El Callao (tomado de Canovas y Mendoza, 1997)



Modelo de Riedel aplicado a las vetas de la mina Colombia. Cinco eventos de fallamiento son reconocidos. La intersección de varias estructuras planares generó chimeneas de brecha mineralizadas con pirita aurífera.

# DEPÓSITOS DE ORO: ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA



Sección mostrando un sistema de pórfido de Cu-Au (Mo) de Dexing (China), similar al de Las Cristinas, formado por un stockwork asociado a pórfidos granitoides, relacionado con vetas epitermales de Ag-Pb-Zn-Cu y vetas auríferas distales formadas por la confluencia de fluidos magmáticos y meteóricos. Se muestran las aureolas de alteración hidrotermal: potásica, cuarzo-sericítica y argilítica.

Tomado de Mao *et al.* (2011)

Las Cristinas: un depósito con una geología compleja, de gran valor económico.

a) CRV, secuencia superior volcano-sedimentaria tipo Caballape (meta-lavas y tobas, andesitas, pórfidos andesíticos, metasedimentos y esquistos sericíticos) en facies subesquistoso verde, intrusionados por diques y pórfidos dioríticos;

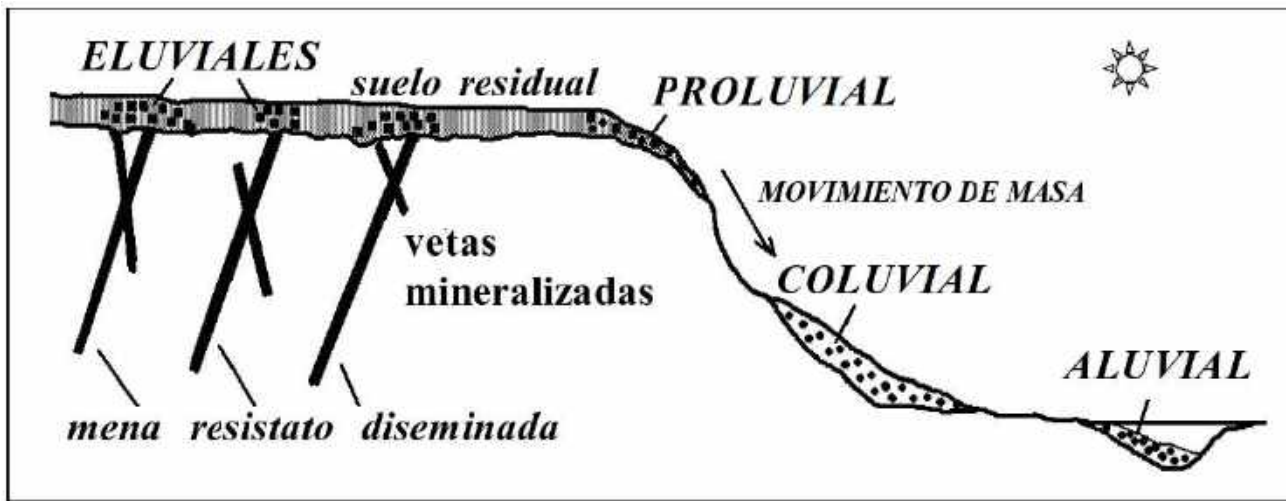
b) intrusiones graníticas, granodioritas y cuarzo-monzonitas tipo Supamo y

c) intrusiones de diabasa, gabro y diorita. Tomado de Mendoza (2019)



# PLACERES AURÍFEROS: PLEISTOCENO-RECIENTE

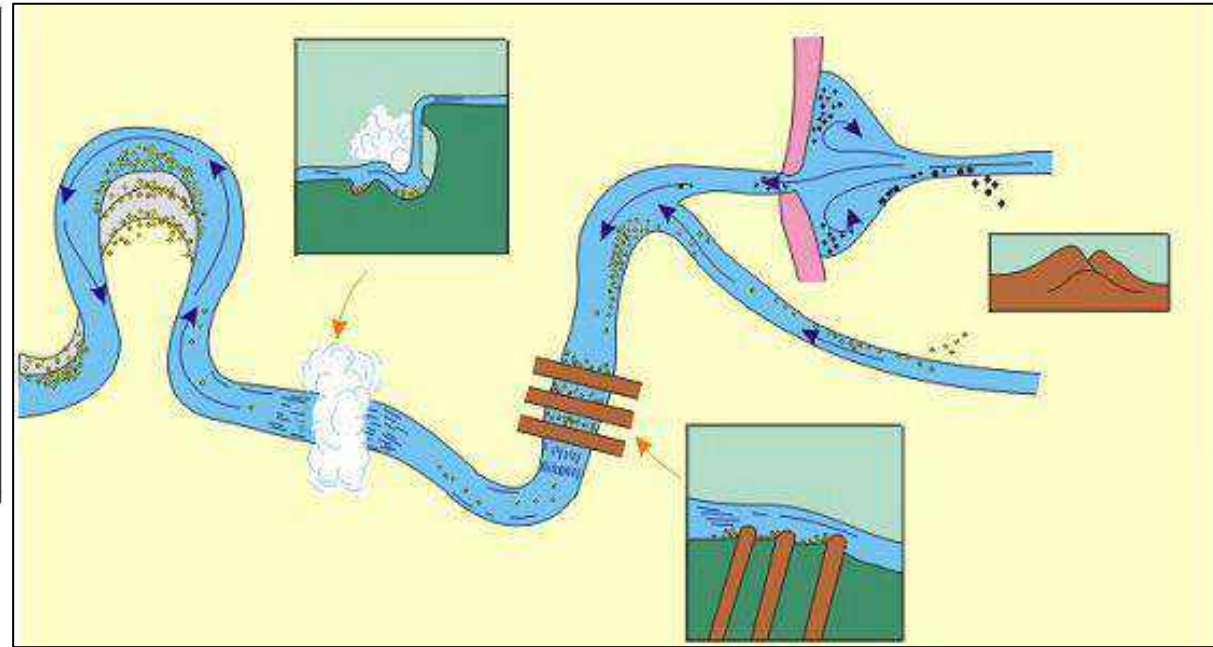
El punto final de la evolución de los depósitos auríferos primarios ocurre debido al transporte de un residuo físicamente desagregado de rocas afectadas por meteorización física y química, debido a la acción del agua, que resulta en *placeres*, es decir, depósitos formados en la superficie terrestre por concentración mecánica de minerales de alta densidad y virtualmente inalterables. El oro es un resistato que se acumula durante los procesos de sedimentación fluvial o en suelos residuales. La acción del agua fluvial separa las partículas en suspensión en los meandros o ríos trenzados, con base a su densidad y forma. El Au es un metal de alta densidad ( $19 \text{ g/cm}^3$ ) que se acumula en placeres y siempre se asocia con guijarros de cuarzo o chert.



**Aluviales:** son los clásicos placeres de barras de meandro, de valle aluvial y de terrazas aluviales levantadas. Largo transporte, gran abrasión y redondeamiento.

**Coluviales y proluviales:** placeres formados en los taludes al pie o al borde de escarpes de montañas o mesetas. Transporte gravitacional a cortas distancias. Se preservan aristas de minerales cristalizados.

**Eluviales:** suelos residuales sobre zonas mineralizadas o con vetas ramificadas, *stockworks*, etc. Transporte mínimo, máxima preservación de cristales dendríticos o delicados.



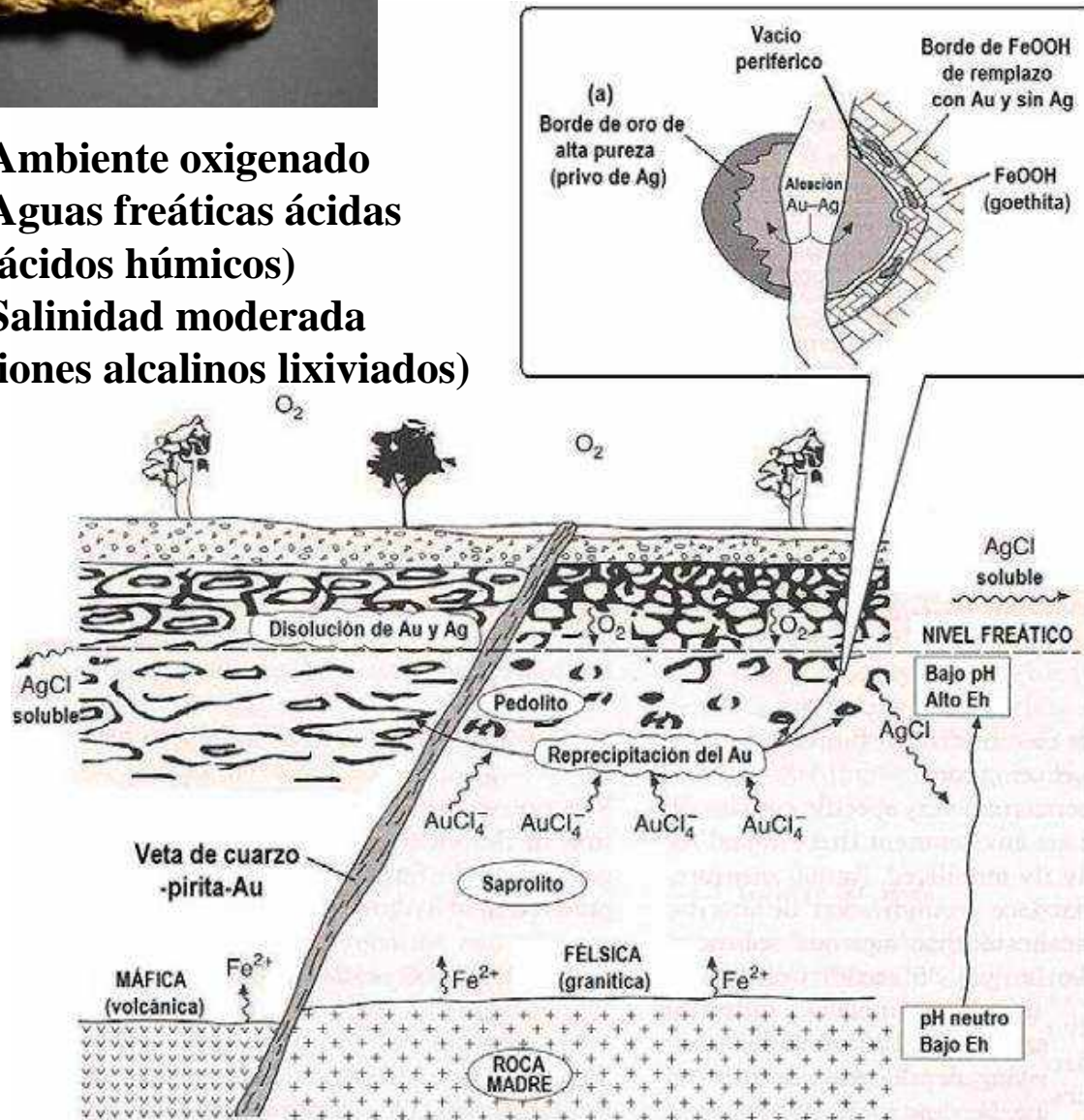
**Formación de placeres aluviales en las barras de meandro, confluencias con afluentes, cascadas y conos aluviales, debido a la depositación secuencial de minerales pesados (como el Au) provenientes de vetas mineralizadas cortadas por los cauces.**

Tomado de Smirnov (1982)



# PLACERES DE ORO: PLEISTOCENO-RECIENTE

- Ambiente oxigenado
- Aguas freáticas ácidas (ácidos húmicos)
- Salinidad moderada (iones alcalinos lixiviados)



Proceso propuesto por Robb (2005) para la formación de pepitas (*nuggets*) de Au en suelos residuales (lateríticos) a partir de partículas de Au o de aleaciones de Au-Ag (electrum), por reprecipitación del Au disuelto en complejos aniónicos clorinados áuricos ( $\text{AuCl}_4^-$ ).

Las dendritas de Au, o aleación de Au-Ag, en el regolito superficial pueden ser disueltas fácilmente por aguas freáticas ácidas, oxigenadas y moderadamente salinas, como las que prevalecen en este tipo de ambiente.

Mann (1984) demostró que la destrucción de las dendritas ocurre cuando éstas son remplazadas por goethita. La goethita puede contener partículas de Au puro, lo que sugiere que este metal es precipitado, mientras que la Ag es lixiviada. El  $\text{FeSO}_4$  proviene de la oxidación de la pirita o de rocas ígneas del sustrato:



Esto explica la formación de pepitas o cochanos, a veces de gran tamaño, en los suelos lateríticos, que luego son llevados por las lluvias a los aluviones donde se recogen.



13

26,9815  
3

2450  
660  
2,70

Al

$(\text{Ne})3s^2 3p^1$

Aluminio

Mina Los Pijiguaos  
Cerro Páez





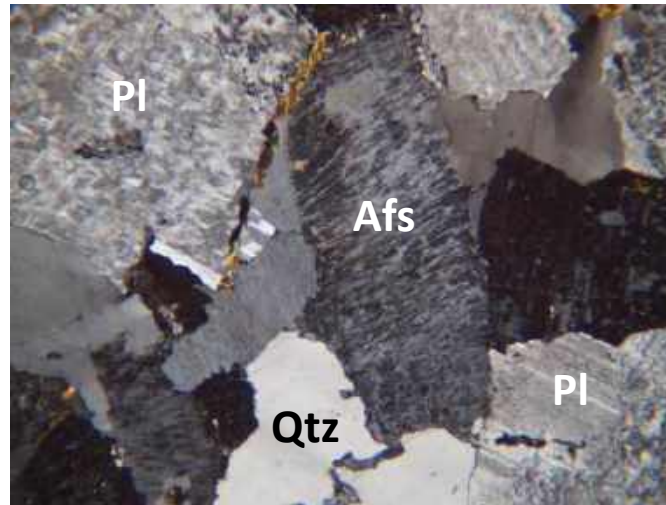
# GRANITOS ANOROGÉNICOS ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

Columbia/Nuna fue afectado por una cuarta pluma mantelar P5, reconocida en el Escudo de Guayana como **Evento Orocaima**, el cual hace 1,98 Ga (Ibañez-Mejía, com. pers.) generó un magmatismo intraplaca continental bimodal, similar al más reciente generado por la pluma de Yellowstone. Dicho evento emplazó lavas y tobas félsicas y granitos intrusivos en ellas, además de enjambres de diques de diabasa. En efecto, según Mendoza (2019), Orocaima constituye una Gran Provincia Ígnea Félsica (*LIP*), entre las más extensas del mundo y está representada por la Asociación Cuchivero.

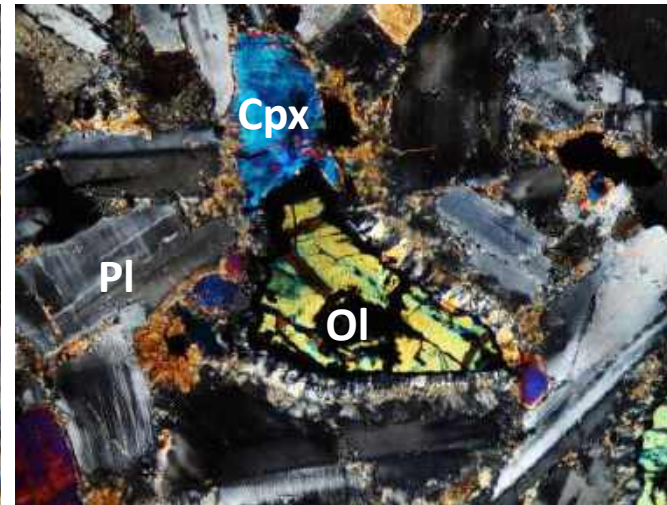
## P5: Evento o LIP bimodal Orocaima



**Leucomonzogranito de  
Santa Rosalía  
(vía La Ceiba)**



**NX. Leucomonzogranito biotítico  
albitizado. (Alto Suapure)**



**NX. Diabasa olivínica  
coronítica.**



**Diabasa coronítica  
(Emjambre NE Río  
Guaniamo)**

0,4 mm



# GRANITOS ANOROGÉNICOS ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

La sexta pluma P6 se relacionó posiblemente con un intento de *rifting* de Columbia, hace 1,5-1,4 Ga, y emplazó una serie de granitos alcalinos, incluyendo grandes plutones como el Granito *rapakivi* del Parguaza-Pijiguaos y varios otros cuerpos menores que afloran en el NE y SE del Escudo, intrusionando a las provincias de Pastora y Cuchivero, como el Complejo Alcalino de La Churuata, en Amazonas.

Los granitoides porfídicos, con texturas *rapakivi* bastante variadas (wiborgita, pyterlita y antirapakivi) bien desarrolladas, corresponden a sienogranito o czo-sienita hornblendo-biotíticos.

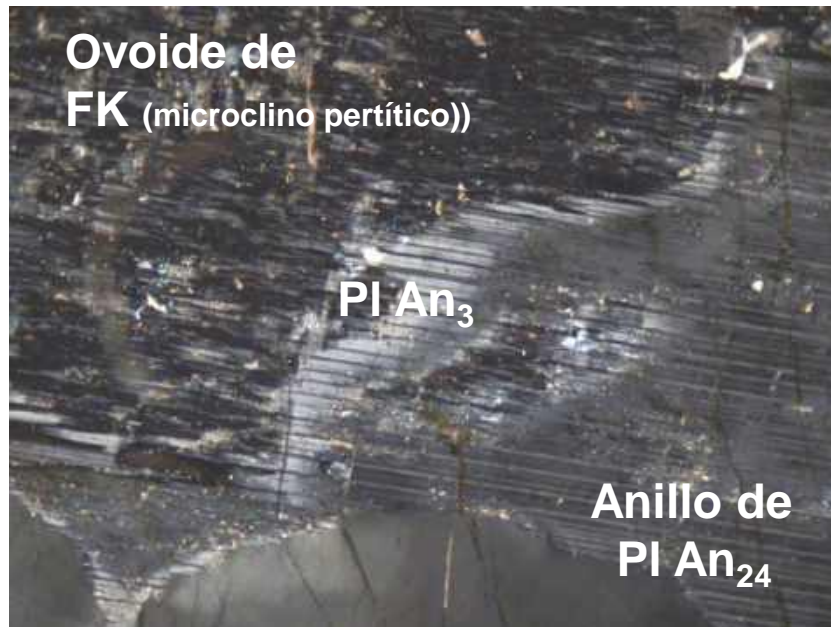
## P6: GRANITO DEL PARGUAZA



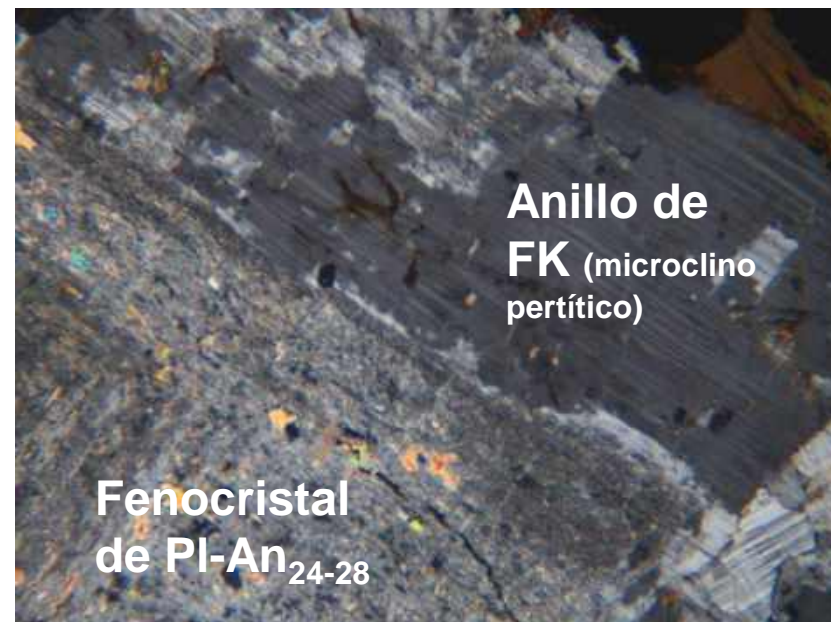
Los Castillos del Parguaza



Granito *rapakivi* del Parguaza



NX. Sienogranito porfídico. Detalle de la textura *rapakivi*-wiborgita



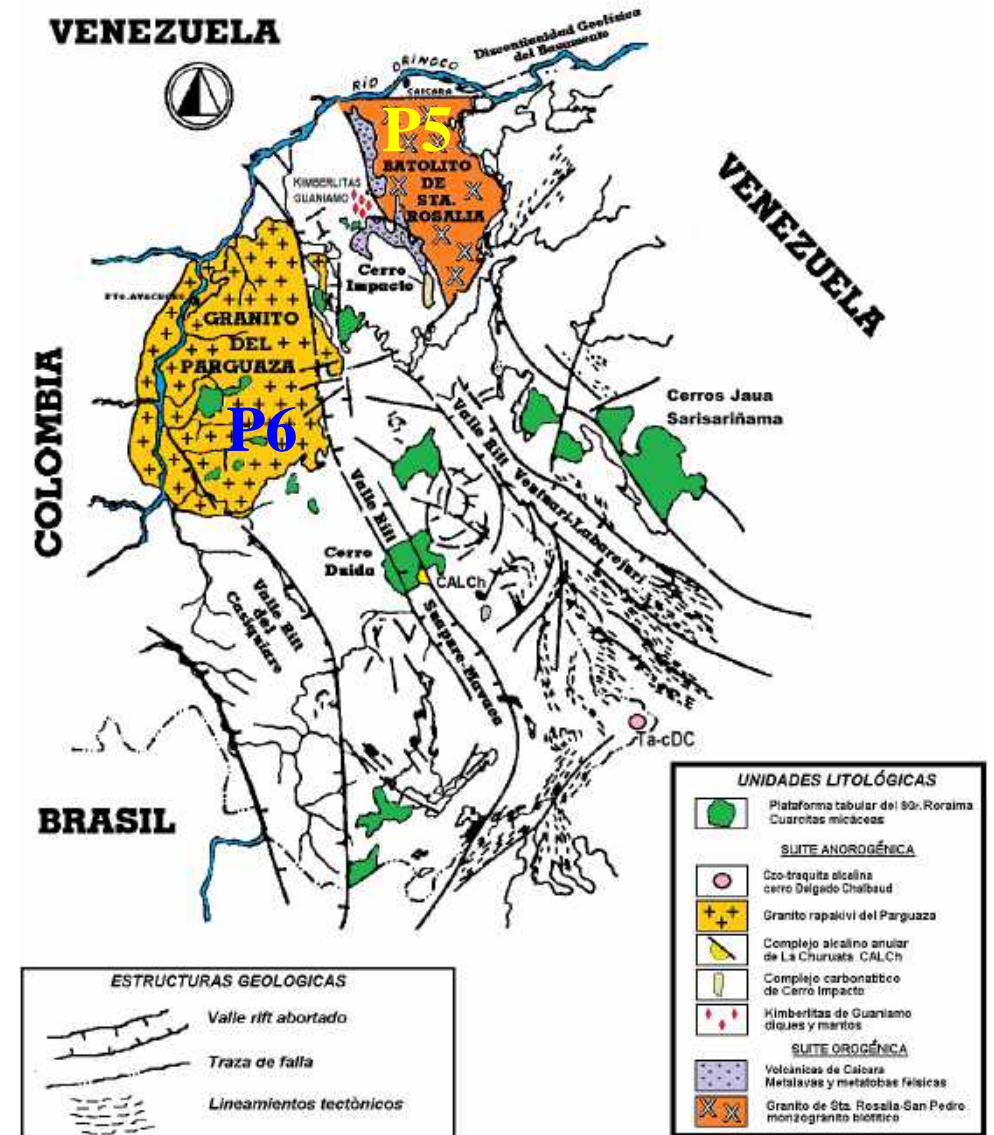
NX. Sienogranito porfídico. Detalle de la textura antirapakivi

# GRANITOS ANOROGÉNICOS ASOCIADOS A COLUMBIA-ATLÁNTICA

## P6: Evento Parguazensis

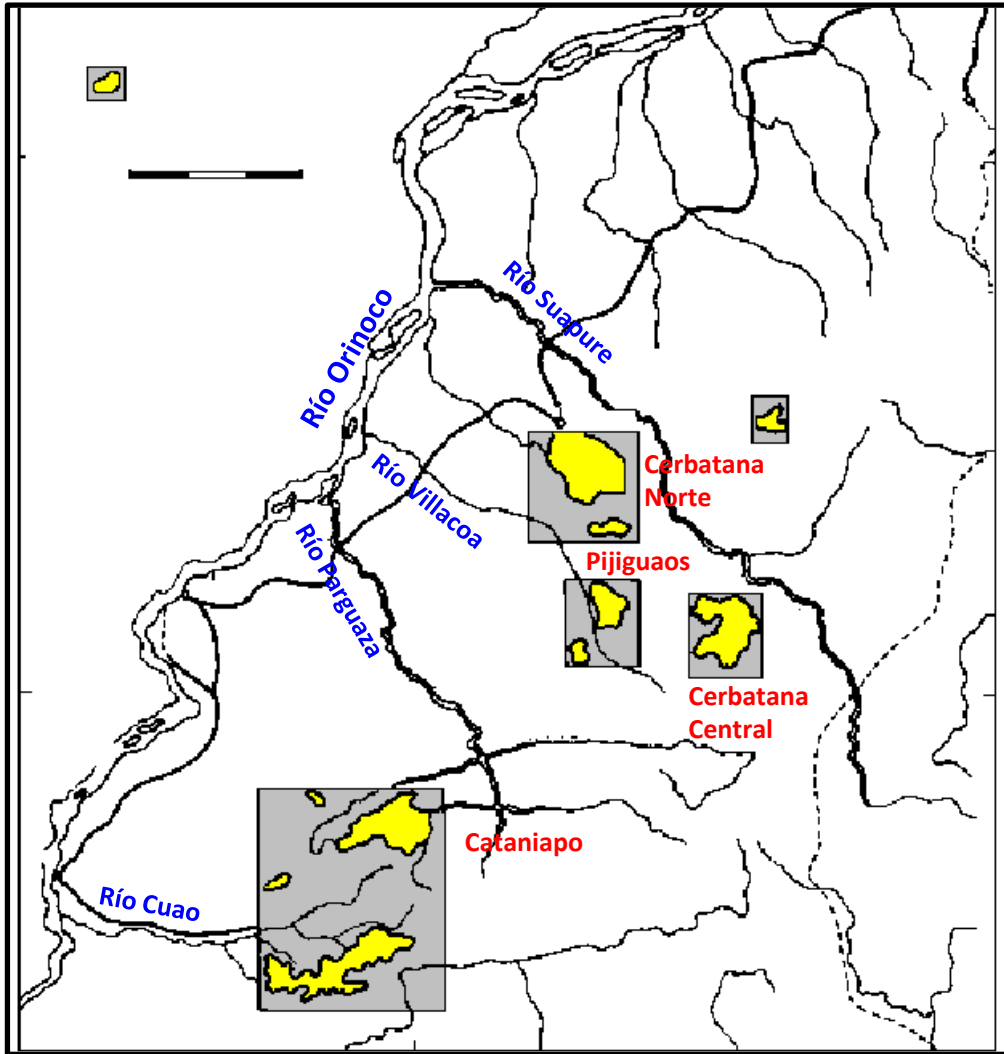
La sexta pluma P6 se relacionó posiblemente con un intento de *rifting* de Atlántica, hace 1,5-1,3 Ga, y emplazó una serie de granitos alcalinos, incluyendo grandes plutones como el Granito *rapakivi* del Parguaza y varios cuerpos menores que afloran en el SW del Escudo, intrusionando a la Provincia de Cuchivero, incluidos en la Asociación Ígnea Suapure.

Posibles *rifts* continentales abortados de edad Mesoproterozoico en el oeste del Escudo de Guayana, identificados en imágenes de radar. Al parecer hubo tres intentos fallidos o “*rift jumps*” de fracturar el continente Atlántica, el más antiguo al oeste (Casiquiare), luego el de Suapure-Mavaca, y el más reciente al este (Ventuari-Labarejuri). Asociados a estos *rifts* se hallan el Complejo Alcalino La Churuata (CALCh), el Granito *rapakivi* del Parguaza y, posiblemente, la chimenea de czo-traquita alcalina del cerro Delgado Chalbaud (Ta-cDC), todas ellas asociaciones ígneas anorogénicas intracontinentales alcalinas mineralizadas con metales raros, como Nb-Ta, Sn y REE.

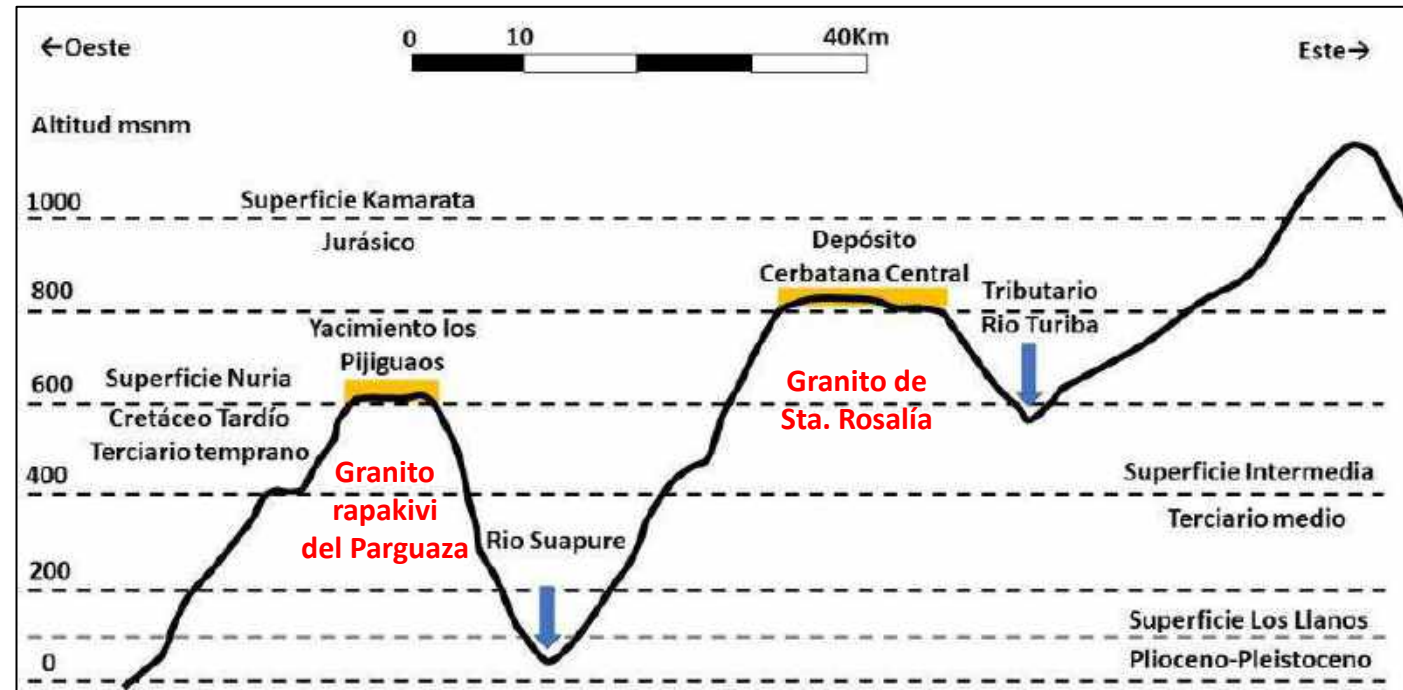




# DEPÓSITOS DE ALUMINIO: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T

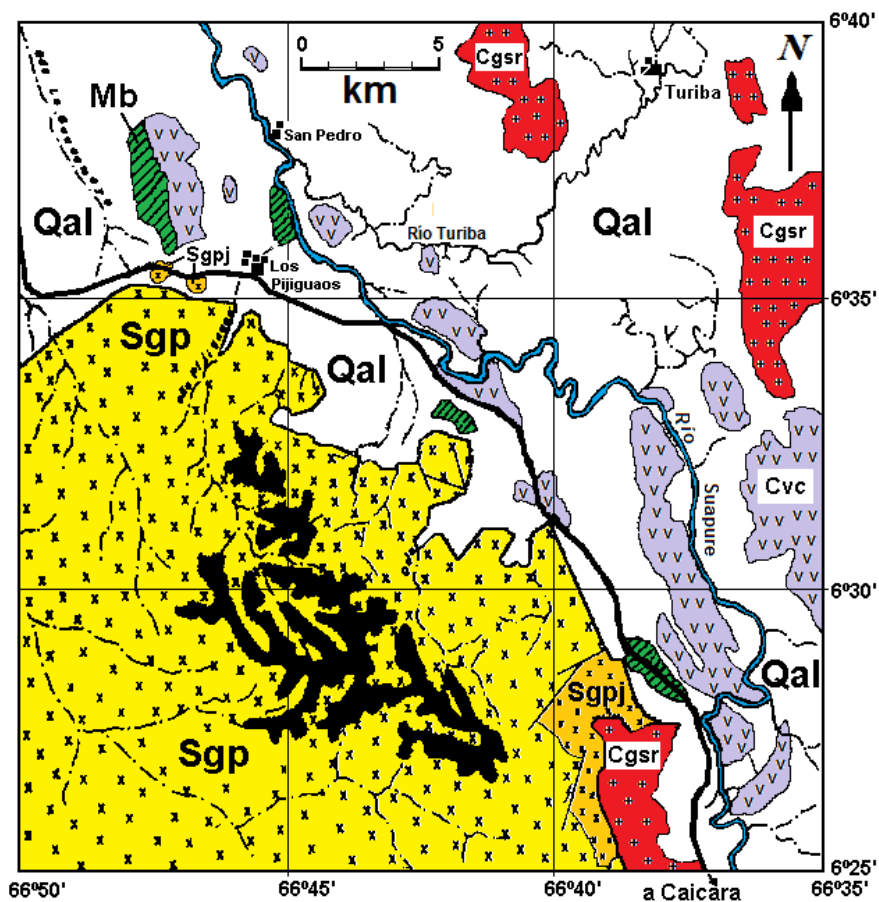


Localización de bauxitas de Los Pijiguaos y otras áreas bauxíticas. Tomado de Yáñez, 1.995).



Perfil esquemático de las superficies de erosión antiguas que afectaron al Escudo de Guayana, ejemplificadas en las serranías (mesetas) de los Pijiguaos y La Cerbatana, estado Bolívar. Las más antiguas son las más elevadas y modelan los topos aplanados de las principales mesetas o tepuyes de cuarcitas del Supergrupo Roraima. Nótese que solo la superficie de erosión Nuria-Cerro Bolívar, de edad Cretácico Tardío-Paleoceno Temprano (K-T), actualmente ubicada entre 600-800 m s.n.d.m., fue capaz de generar depósitos lateríticos de Al y Fe de importancia económica, siendo la que abarca la mayor extensión (350 km<sup>2</sup>); en el depósito de bauxita Los Pijiguaos se halla a una altitud de 600 m s.n.m y constituye la mina de cerro Paéz. Una superficie de erosión situada a 800 m fue responsable de los depósitos de la serranía La Cerbatana, sobre el Granito de Santa Rosalía.

# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T



## LEYENDA

Asociación Suapure Suite anorogénica: $\approx 1500$ Ma	Asociación Cuchivero Suite anorogénica 1980 Ma
Sgp: Granito del Parguaza ( <i>rapakivi</i> )	Cgsr: Granito de Sta. Rosalia
Sgpj: Granito de Pijiguaos ( <i>masivo</i> )	Cvc: Volcánicas de Caicara
Horizontes bauxíticos (38-52% $Al_2O_3$ ) Reservas probadas: 360 Mt.	Mb: Metabasitas (anfíbolitas)
	Qal: Aluvión Cuaternario

ZONAS	SUBZONAS (ESPESOR)	CAPA (ESPESOR)	PROF. (m)	PERFIL	DESCRIPCION
ZONA DE ACUMULACION	SUELO (0-0,3)	ALUVIAL	0		Suelo con Gujarras de Laterita
		LATERITA BAUNITICA	1		
		MEZCLA PRINCIPAL DE ESPESES PROMEDIO 16 m	2		
	LATERITA (2-12m)	CAPA DURA (0.5-1m)	3		Costra dura rica en Alumina y baja en Cuarzo y Sílice reactivo.
		CAPA DURA (0.5-1m)	4		
		CAPA DURA (0.5-1m)	5		
		CAPA DURA EN MAT APOLLOSADO (0.3)	6		Bauxita Pseudopisolitica, rica en Cuarzo diseminado, con capas duras ocasionales ricas en Gipsita y capa suave de Caolinita en la parte inferior.
ZONA DE LAVADO	SAPROLITO	CAPA MOTEADA	7		
		SAPROLITO	8		Material Arcilloso rico en Cuarzo ("Tigrito")
	ROCA SAPROLITICA	ROCA SAPROLITICA	12		Granito Meteorizado rico en Cuarzo y Caolinita
			14		
			16		Granito Meteorizado y Fracturado
ZONA DE ROCA	ROCA FRESCA	ROCA FRESCA	17		
			20		Granito Fresco.

Perfil de lateritas bauxíticas del depósito de Los Pijiguaos. Tomado de Mariño (1997).

De tope a base: costras (muy alta alúmina,  $> 50\% Al_2O_3$  y bajas en  $SiO_2$ ) con 1-3 m de espesor, seguidas de bauxitas pisolíticas o pseudopisolíticas (alta alumina  $> 47\% Al_2O_3$ , moderada sílice 5-10%) con 1-4 m de espesor, a veces con una delgada duricostra intercalada y bauxita terrosa (con baja alumina, 44% a 47% de  $Al_2O_3$  y alta sílice 10%-20%) y finalmente el piso del depósito con bauxita caolinitica de 1-4 m de espesor con alta sílice ( $> 22\%$ ) y baja alúmina ( $< 44\% Al_2O_3$ ). Las reservas probadas de bauxitas ( $> 44\% Al_2O_3$ ) de Los Pijiguaos eran cercanas a los 70 Mt. Programas exploratorios y de evaluación de reservas podrían aumentar las mismas por encima de los 300 Mt.

**El bajo contenido de cuarzo y máficos de este granito (en realidad es czo-sienita) lo hace ideal para la formación de horizontes bauxíticos.**



# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T

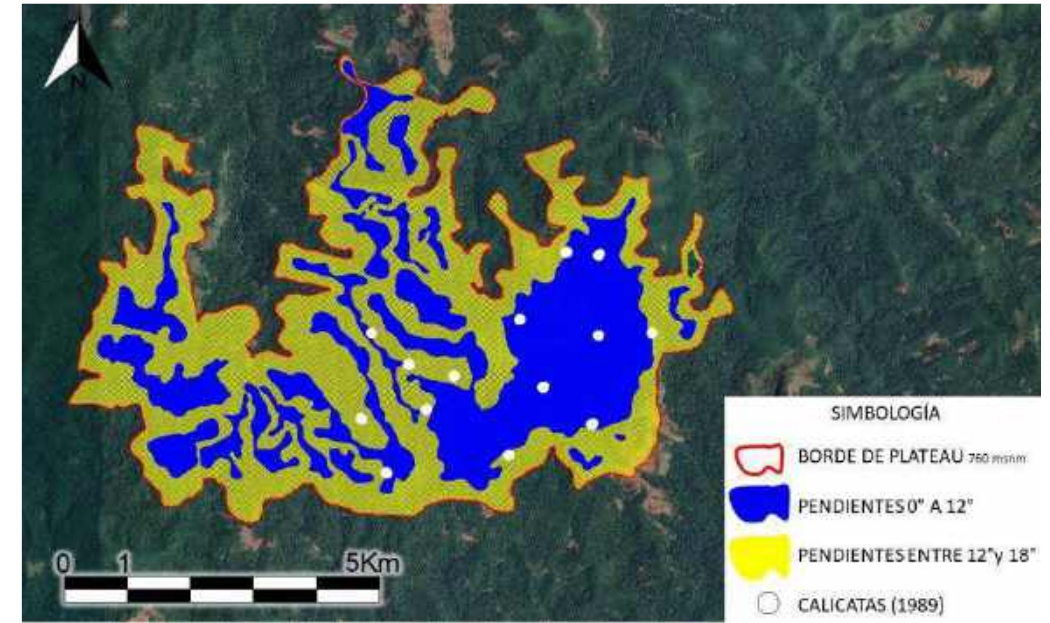
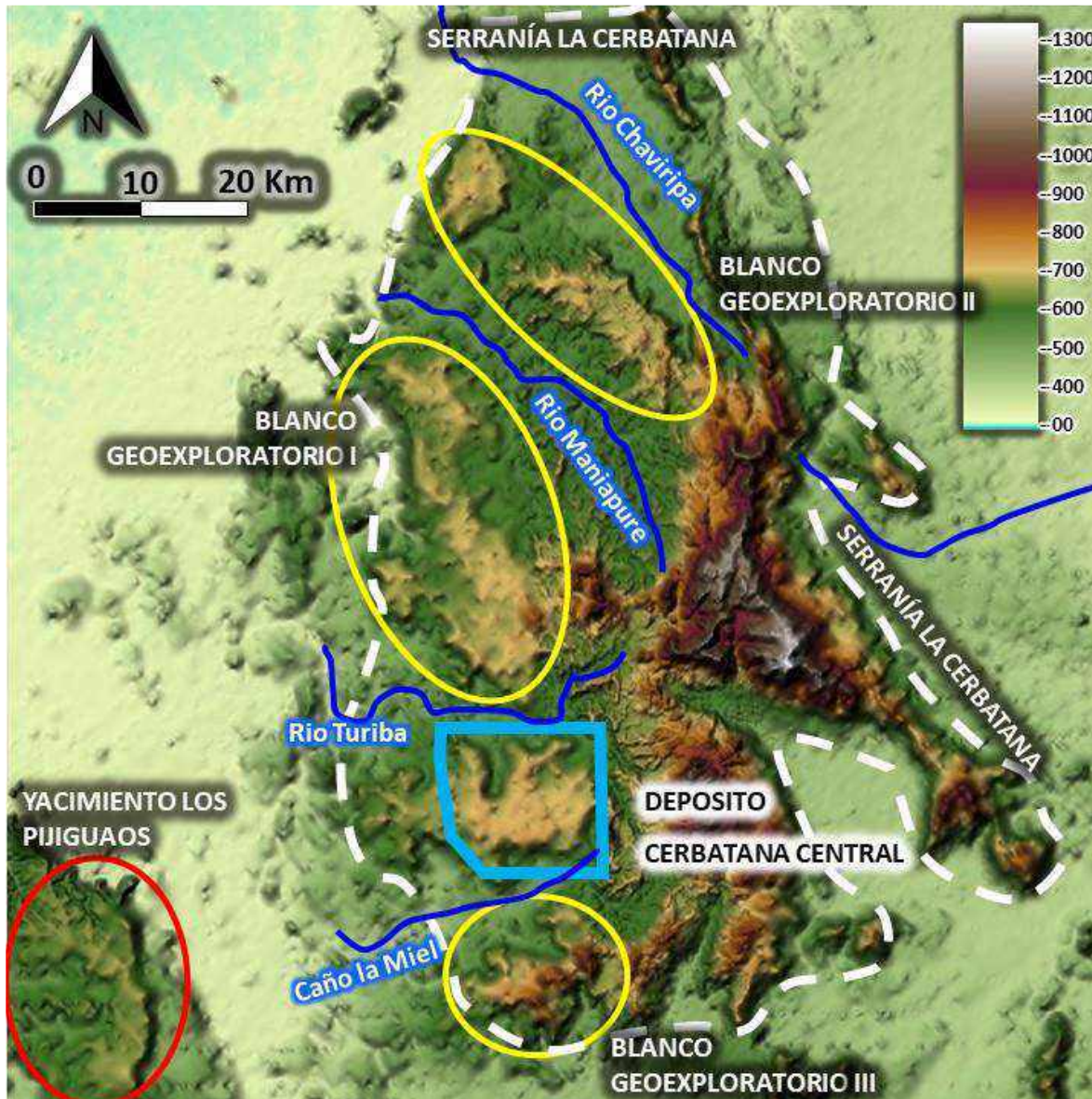
Los yacimientos y depósitos de bauxitas lateríticas descubiertos en la Provincia Cuchivero/Amazonas hasta 1988, se localizan en terrenos del Granito *rapakivi* de El Parguaza (GRP) en los estados Bolívar y Amazonas, entre los cuales, destaca el de Los Pijiguaos, en explotación.

Sin embargo, en 1991 Tecmin descubre, sobre la misma provincia geológica, pero en los espacios ocupados por el Granito de Santa Rosalía (GSR), otro importante depósito de bauxitas lateríticas de alto grado en la serranía La Cerbatana Central (CC), producto de la meteorización y alteración de esa unidad litológica, que describe como adecuada como roca madre o protomena de bauxitas lateríticas, tal como fue verificado por trabajos de exploración regional dicha Serranía (Brojanigo y Delpont, 1991).

Según Brojanigo *et al.* (2021), *a pesar* de las diferencias en composición química y mineralógica entre los mencionados tipos de granitos, ambos son protomenas de bauxitas lateríticas con características particulares en su anisotropía, igualmente química y mineralógica. De manera que los GSR y GRP sólo necesitan ser sometidos durante un muy extenso tiempo geológico de decenas de millones de años, a variables tales como estabilidad tectónica/climática, presencia de geoformas amesetadas, permeabilidad y fracturamiento; este último causado por:

- a) Dilatación de las rocas por el diferencial entre las temperaturas diurnas vs. nocturnas, generadora de rupturas de diversa orientación;
- b) Tectonismo y fallamiento con diaclasas asociadas (Bertani *et al.*, 1984) o una combinación de ambas, para que la meteorización química proceda, intensiva y extensivamente, a promover la laterización sobre estas rocas madres con la consecuente generación de bauxitas de diversas características.

# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T



Metodología de estimación de reservas en Cerbatana Central:

**-Toda el área de la meseta con pendientes menores a 18° se asume como mineralizada.**

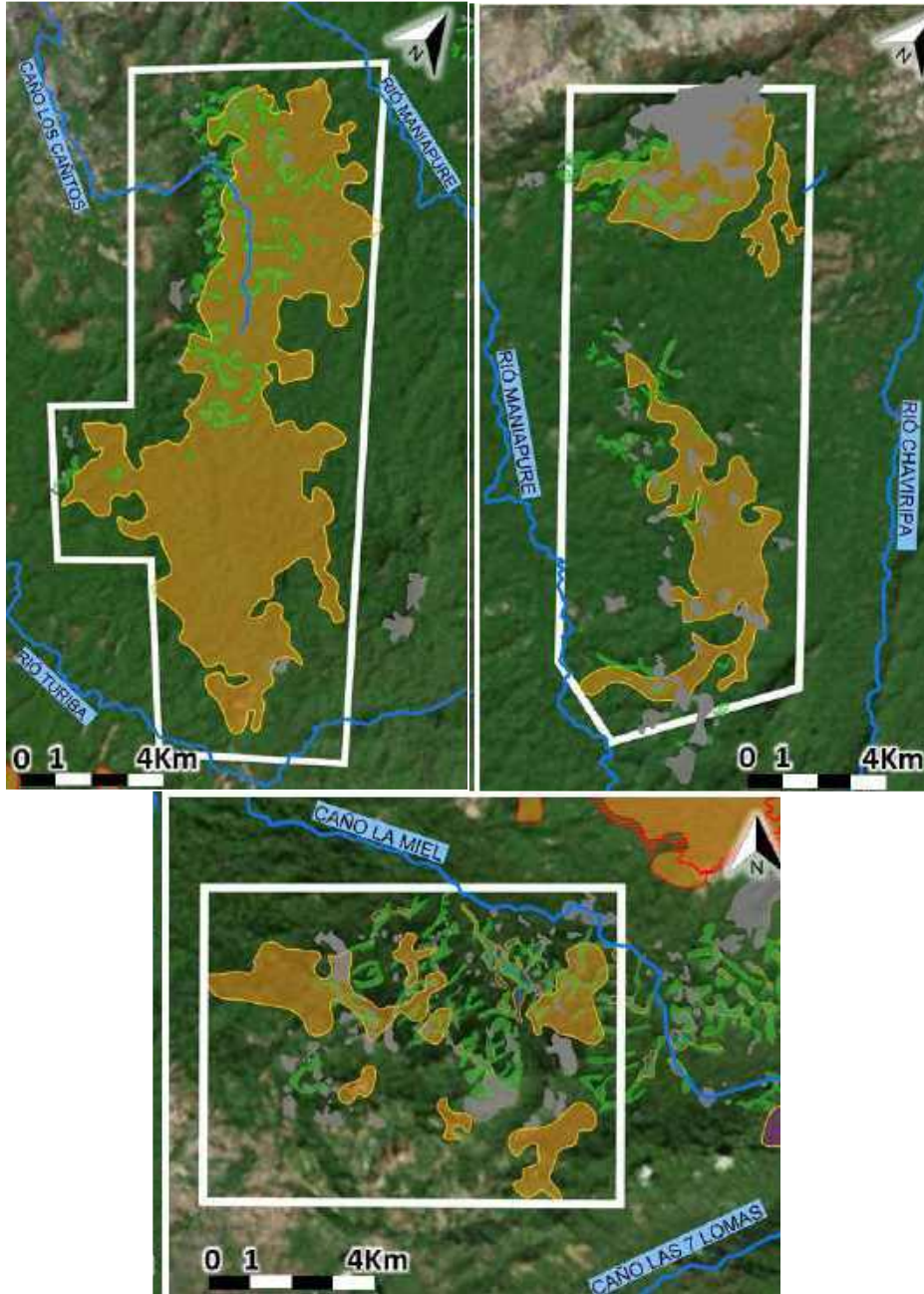
**-En los topes de la meseta, con pendientes entre 0-12°, se asumen espesores promedio de bauxita de 7,6 m.**

**-A las laderas de la meseta con pendientes entre 12-18° se le asignan espesores promedio de 3 m, por efecto de acuñaamiento del mineral.**

**Reservas estimadas en CC: 395 Mt, con 50,64%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 12,25%  $\text{SiO}_2$  total y 2,42%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (más y mejores que Los Pijiguaos).**



# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T



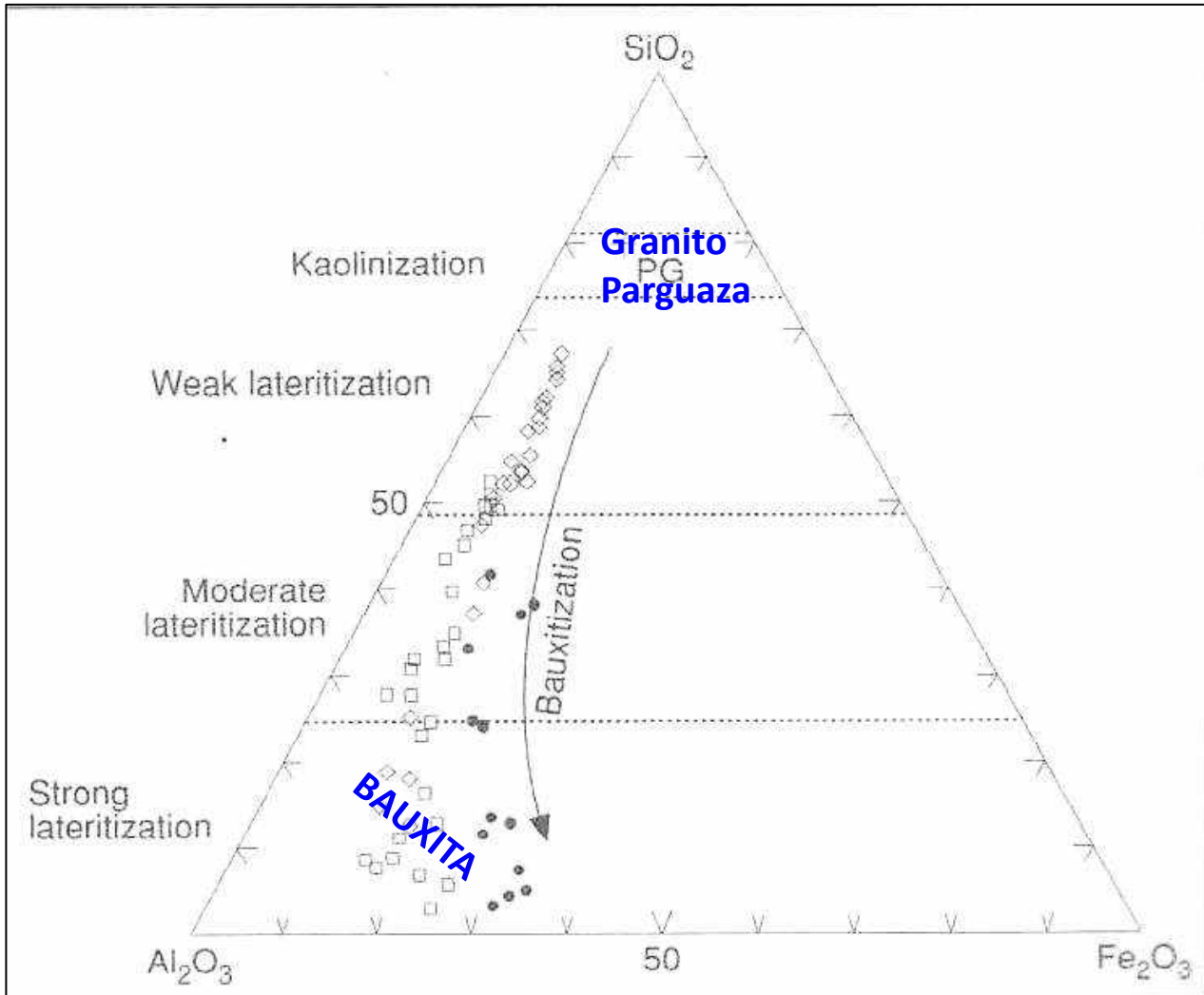
En definitiva, un análisis con teledetección actual, con técnicas más sofisticadas y vigentes disponibles, sobre las repuestas geomorfológica y de vegetación, junto con los acertados criterios documentados de geólogos pioneros y experimentados, permitió identificar tres blancos de interés prospectivo, descritos a continuación:

**Blanco exploratorio Septentrional I**, constituido por una penillanura de elongación NS en el interfluvio de los ríos Turiba y Maniapure, cuyo eje de mayor longitud mide aproximadamente 29 Km en tanto su ancho promedio se ubica en unos 4,5 km.

**Blanco exploratorio Septentrional II**, el cual es una geoforma similar a la anterior, pero de menores dimensiones, unos 18 km de largo por 1,7 km de ancho promedio y ubicada también en otro interfluvio conformado por los ríos Maniapure y Chaviripa al oeste y este, respectivamente.

**Blanco exploratorio Meridional III**, un sector ubicado en la vertiente sur de la Quebrada La Miel, el cual representa la menor dimensión en cuanto a la superficie de las zonas planas individuales que a su vez se presentan en forma discontinua. En todo caso este blanco geoexploratorio se ubica en la zona más alejada y menos accesible a las infraestructuras de transporte terrestre y fluvial.

# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T



PG es la composición del granito original, la flecha indica la desilificación que lleva a la formación de laterita bauxítica.

## PROCESO DE BAUXITIZACIÓN

Por procesos de lixiviación a partir del Granito Rapakivi del Parguaza en climas tropicales lluviosos, en la meseta de El Parguaza, al nivel de planación de Nuria-Cerro Bolívar (600-700 m.s.n.m.) se produjo en nivel Pijiguaos un desarrollo de lateritas aluminicas, con un perfil de unos 5 -10 m de espesor (7,6 m como promedio)

El diagrama  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  permite apreciar el proceso de lixiviación, que de un leucogranito rico en feldespato y cuarzo lleva primero a la caolinización y con una meteorización más intensa y prolongada, a una casi total desilificación con formación de bauxita.

La destrucción del feldespato se logra en presencia de un ácido débil que se forma en la atmósfera y precipita como agua meteórico-freática: ácido carbónico:



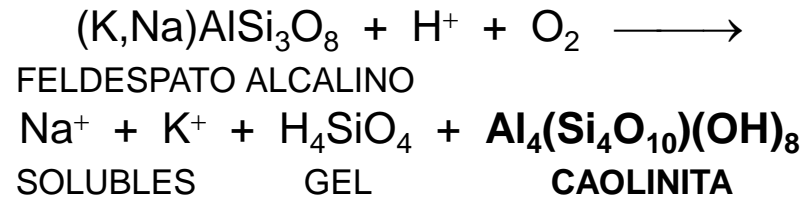


# DEPÓSITOS DE BAUXITA: ASOCIADOS A SUPERFICIES DE EROSIÓN K-T

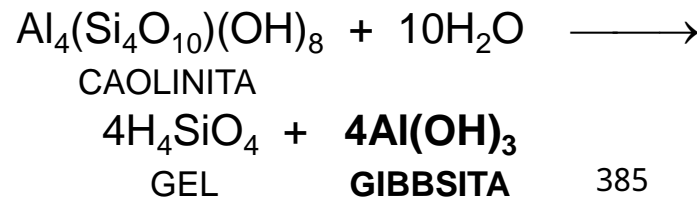
## Mecanismo químico de la bauxitización

La bauxita es un suelo residual enriquecido en especies de Al como gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y boehmita  $\text{AlO}(\text{OH})$ , relativamente escaso en sílice y óxidos de Fe, que se forma por desilificación de rocas ricas en feldespatos, bajo el ataque ácido de agentes químicos en climas tropicales o subtropicales monzónicos.

La meteorización química (ataque ácido) de los feldespatos de la roca produce cationes solubles, gel de sílice soluble (sobre todo en climas tropicales) y deja sustancias insolubles (en **negrita**) como hidrolizatos (caolinita).

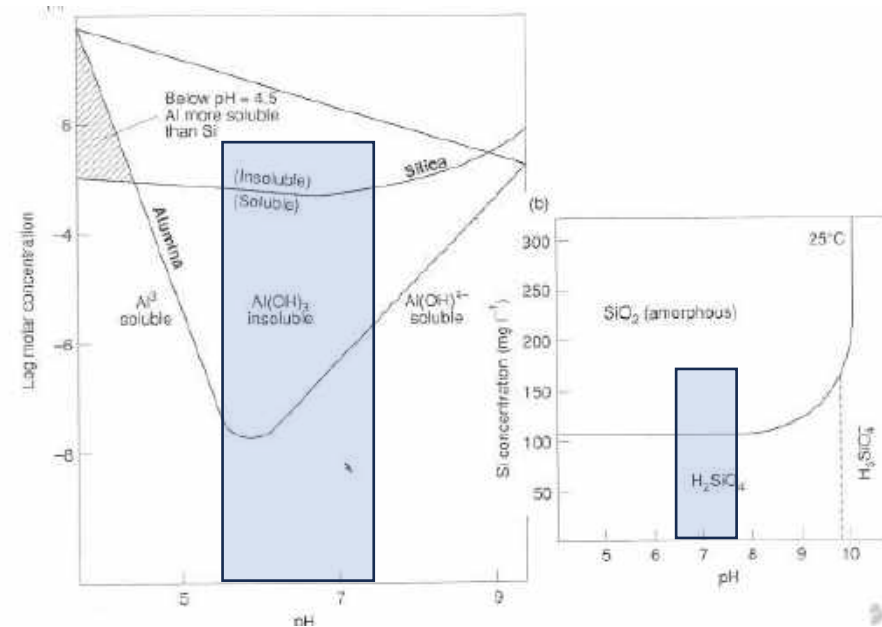


Una lixiviación ulterior de las arcillas caoliníticas resulta en su total desilificación con formación de hidróxidos de Al (bauxita):



385

**Lixiviación ácida del FK**



**Diagramas de actividad del Al y el Si.**  
**En condiciones de pH neutro a algo ácido el cuarzo es soluble, mientras que la gibbsita es insoluble. La roca pierde cuarzo por lixiviación y la gibbsita formada se acumula en el perfil.**

# Conclusiones

- La metalogénesis de Escudo de Guayana se ha prolongado durante más de 3,2 Ga y es muy variada en cuanto a los metales presentes: Fe, Au y Al
- Las menas de cerro Bolívar y del Cuadrilátero de San Isidro, son similares a las de la Serra Dos Carajás, en el NE de Brasil, pero debe resolverse la controversia de si son tipo “Algoma” o “Superior”, existiendo hoy en día métodos analíticos que permiten diferenciar ambos tipos de depósitos con base a su contenido en ciertos elementos trazas; o si Carajás-Imataca es un nuevo tipo de BIF.
- Las menas de Au de la Provincia de Pastora son principalmente depósitos de Au orogénicos DDOO, formados en arcos volcánicos que ahora son CRV's colisionados y deformados. Otro tipo de depósitos son los de pórfidos de Cu-Au-(Mo), también ligados a arcos volcánicos intraoceánicos, como Las Cristinas, que tiene un gran potencial para ser minado a cielo abierto con técnicas modernas.
- Las menas de Fe y Al de mayor tenor son de origen laterítico, la lixiviación de la sílice de las BIF y de los granitos de la Provincia de Cuchivero, ocurrida al nivel de peneplanización de Nuria-Cerro Bolívar (600-700m s.n.m.) ha permitido la acumulación de importantes depósitos de ambos metales en suelos residuales, con grandes volúmenes de reservas. Nuevos prospectos para localizar menas de bauxita se están llevando a cabo en la serranía de La Cerbatana, al este del actual depósito de Los Pijiguaos.
- Las reservas de mena de Fe de alto tenor se agotarán a futuro, pero quedan enormes cantidades de mena BIF de bajo tenor para el futuro lejano: > 12 Gt.



# Recomendaciones

**-Las menas de Fe tipo “Cerro Bolívar-Carajás” del Cuadrilátero de San Isidro, ofrecen bastantes recursos como para seguir manteniendo la industria siderúrgica nacional. Sin embargo, a largo plazo se agotarán las menas de alto tenor, con menores reservas, y se tendrá que comenzar a procesar las de bajo tenor, con reservas mucho mayores. Estas menas de bajo tenor se les puede extraer el cuarzo y otras impurezas por el proceso de peletización o fabricación de briquetas enriquecidas en Fe.**

**-El Au explotado artesanalmente por garimpeiros está siendo extraído a un alto costo ambiental (desforestación, remoción de la capa vegetal, contaminación con mercurio y aguas residuales, y desechos sólidos no tratados...) y social (pobreza, malas condiciones de vida, enfermedades, desnutrición, criminalidad...). Lo recomendable es tecnificar su minería para poder controlar mejor el daño ambiental y racionalizar el uso de esas reservas auríferas, que siguen siendo cuantiosas e importantes.**

**-El depósito de Los Pijiguaos tiene reservas solo para unas cuantas décadas a futuro, de modo que existiendo la posibilidad de hallar nuevos recursos de bauxita en la serranía de La Cerbatana y en la región cercana a Upata (El Palmar), es necesario profundizar la exploración de esas zonas, con miras a minería futura de bauxita.**

**-Otras menas han venido siendo halladas y extraídas en el Escudo de Guayana, pero hasta ahora han sido explotadas artesanalmente o ilegalmente, pero hay buenas perspectivas para depósitos de metales importantes, como Nb-Ta, Sn, REE, Cr-V-Ti-PEG, Cu-Zn-Pb, gemas preciosas y posiblemente, U y Th.**

# Referencias

- Ascanio G.**, 1985. Yacimientos de mineral de hierro del Precámbrico de Venezuela. 1 Simp. Amazónico. Puerto Ayacucho. Ven., Marzo 1981, Bol. *Geol. Publ. Esp.* 10: 464-473.
- Grande S., Ibañez-Mejía, M., Urbani F., Gómez A., Mendi D., Walter R., Szczerban E., Talukdar S., Colvee O. & Martin P.**, 2015. Petrología de los cuerpos máficos en el Escudo de Guayana, Venezuela. *Geos* 47: 209-210.
- Grande S. & Mariño N.**, 2011. Petrografía de las rocas granitoides y asociadas de la Región de Caño Ore-El Burro, Estado Bolívar, Venezuela. *Geos* N 41: 31-36.
- Gross, G.A.** 1980. A classification of iron-formation based on depositional environments. *Can. Min.*, 18: 215–222.
- Gutzmer J. & Beukes N.** 2013. Iron and Manganese Ore Deposits: Mineralogy, Geochemistry, and Economic Geology. *Geology*, IV:
- Koehler I., Konhauser K. & Kappler A.** 2010. Geomicrobiology: Molecular and Environmental Perspective Springer, Science+Business Media B.V.L.L. Barton et al. (eds.), 309 p
- Kehew A.E.** (2001) Applied chemical hydrogeology. Prentice Hall, New Jersey, 368 pp
- Mao J, Zhang J., Pirajno F., Ishiyama D., Su H, Guo C. & Chen Y.** 2011. Porphyry Cu–Au–Mo–epithermal Ag–Pb–Zn–distal hydrothermal Au deposits in the Dexing area, Jiangxi province, East China—A linked ore system. [Ore Geology Reviews](#) 43 (1): 2023-216
- Mariño N, Ramírez A & Meléndez W.** (1997). Geología del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos y sus alrededores. Proposición para una excursión geológica. *VIII Cong. Geol. Venezolano*, Tomo 1: 33-40.
- Mendoza V. , Márquez, H. & Brojanigo A.** 2019. Historia Geológica del Escudo de Guayana, Venezuela, y sus Recursos Minerales: Evolución de Supercontinentes, Tectónica de Placas y Plumas del Manto. *Bol. Acac. Nac. Ing. Hab*, 43: 97-227
- Moon I., Lee I. & Yang X.** 2017. Geochemical constraints on the genesis of the Algoma-type Banded iron formation (BIF) in Yishui County, western Shandong Province, North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 89: 931-945
- Robb L.** 2005. Intruduction to Ore-Forming Processes. Blackwell Pub, Oxford, 373 p.
- Smirnov V.I.** 1982. Geología de Yacimientos Minerales, Ed. Mir, Moscú, 654 p.
- Sousa Da Silva & Lima Da Costa.** 2020. Genesis of the “soft” iron ore at S11D Deposit, in Carajás, Amazon Region, Brazil. *Brazillian Journal of Geology*, 50(1)
- Velásquez, G. & Tosiani, T.**, 2007. Modelado petrogenético de los basaltos de la Formación El Callao, en la región de El Callao, Estado Bolívar. IX Cong Geol Venez Caracas *Geos*, 39: 69-73
- Yáñez, P.G.** 1995. “Bauxite on a planation surface in Venezuelan Guyana”. En: Geology and mineral deposits of the Venezuelan Guayana Shield, *Rep. Bull.* Núm. 2.124; *U.S. Geological Survey Bulletin* p. M1-M8 <https://es.scribd.com/document/586135399/BAUXITA-2>
- Zhao O, Min S., Wilde S. & Sanzhong, L.** 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent assembly, growth and breakup. *Earth Sci Rew.*, 67: (1-2) 81-101. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016913681100093X>; <https://es.scribd.com/document/586135399/BAUXITA-2> <https://angelromero.wordpress.com/2016/03/11/caracterizacion-litologica-cuadrilatero-ferifero-san-isidro/>



Gracias por su atención...

