

CONCEPTOS GEOAMBIENTALES PARA ENTENDER LA CONTAMINACIÓN Y LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR EL EXTRACTIVISMO



www.terraageoambiental.org
info@terraageoambiental.org

Julio Fierro Morales
Geólogo MSc Geotecnia U.N.
Docente Facultad Ingeniería UNIVERSIDAD
NACIONAL DE COLOMBIA.

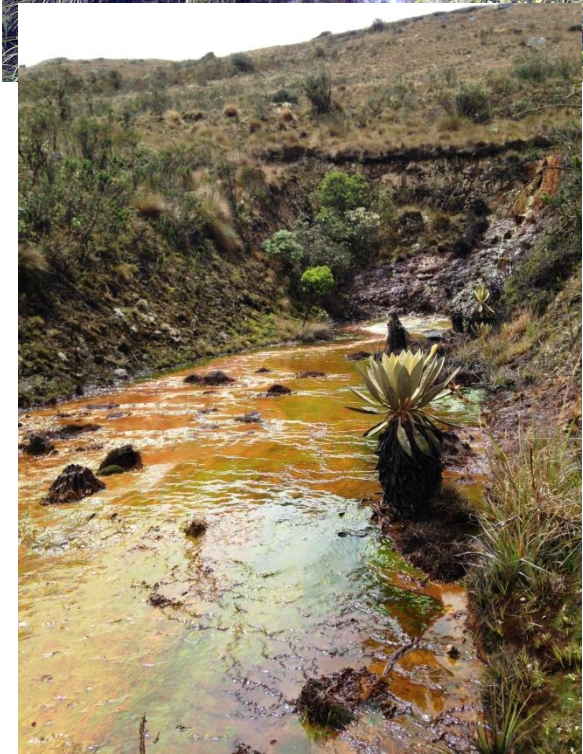


Conceptos básicos para entender la contaminación minera en las aguas



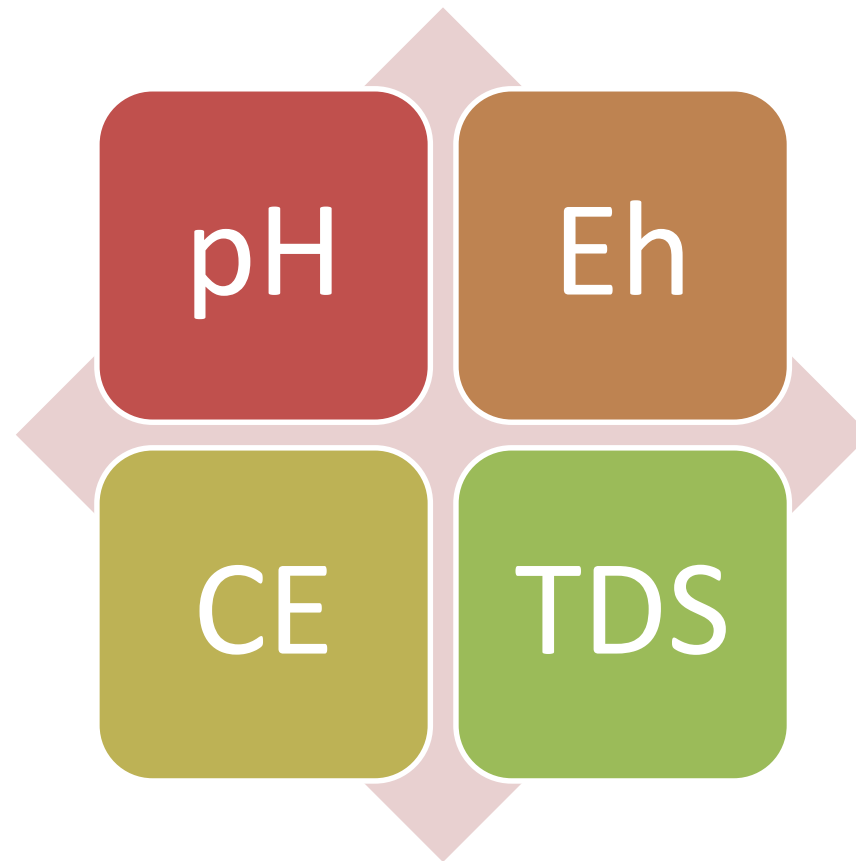
Introducción

Páramo de Chingaza,



Páramo de Pisba

Parámetros fisicoquímicos

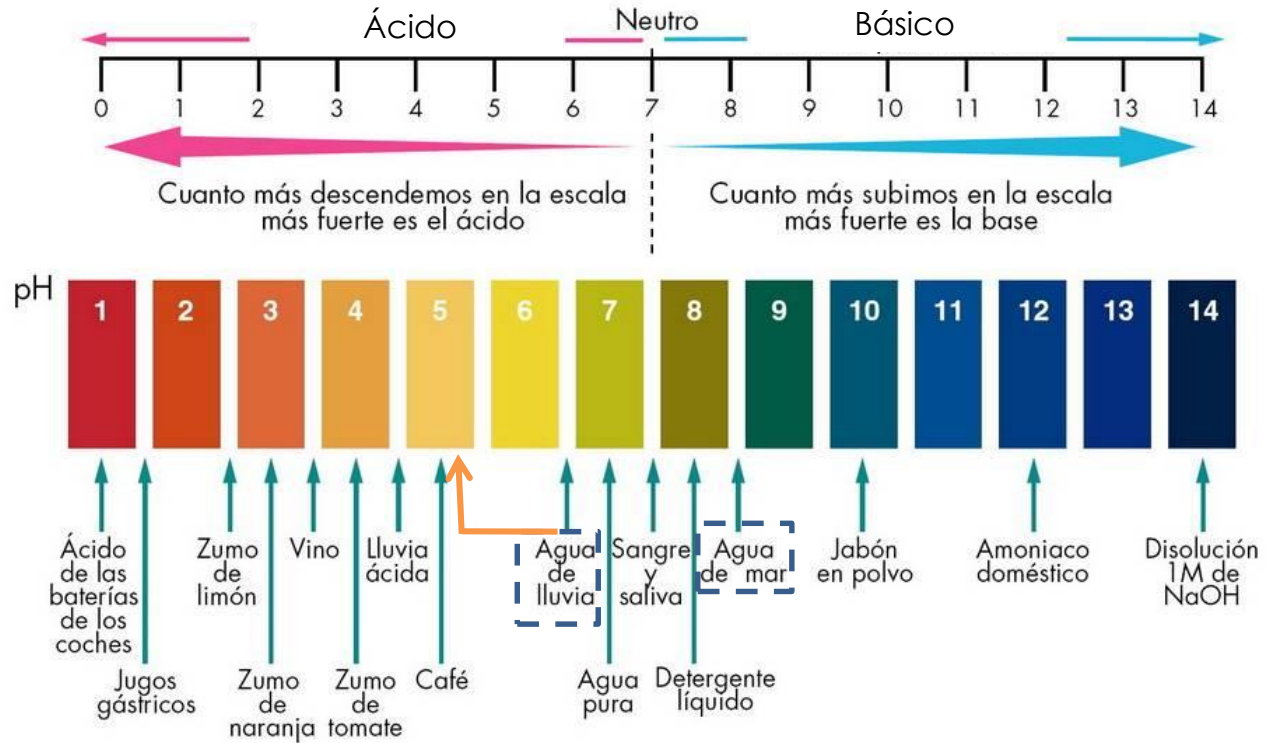


Potencial de Hidrógeno (pH)

Concentración de iones hidronio (H^+)



$$pH = -\log_{10}[H^+]$$



Escala
logarítmica



pH- metro portátil

Papel medidor de pH



Potencial REDOx (Eh)

Actividad
electrónica (\bar{e})



Unidad:
V o mV

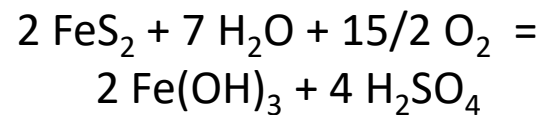
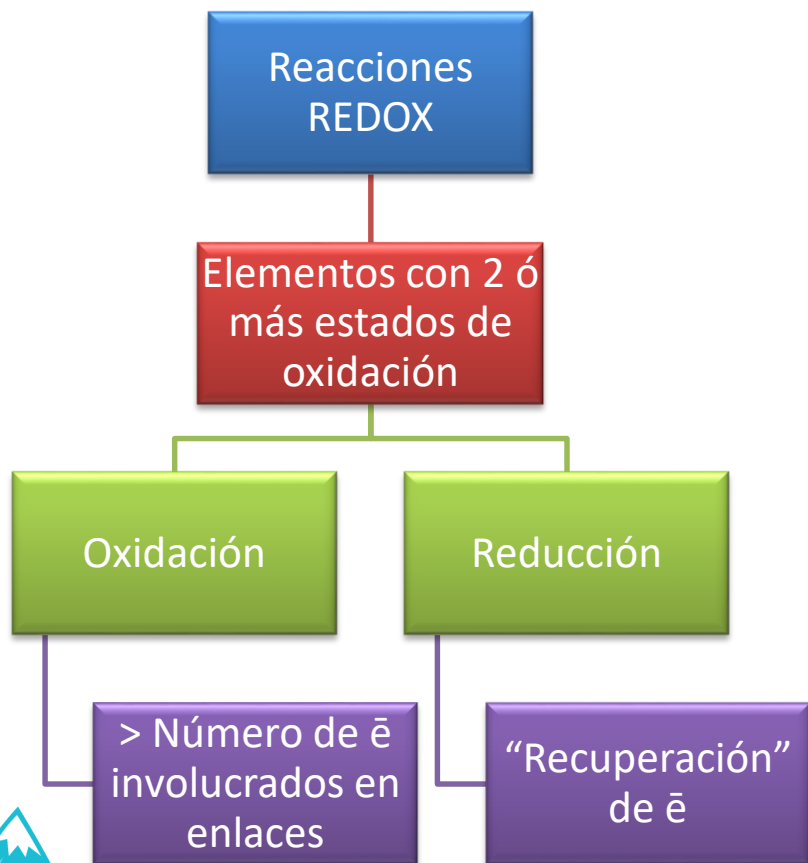


Carácter oxidante o reductor
relativo que tiene una solución
natural, lo cual afecta la estabilidad
que tienen los elementos que
coexisten en esta (Gill, 1996)

Ambiente que
acepta \bar{e}
Eh (+) = Oxidante

Ambiente que
dona \bar{e}
Eh (-) = Reductor

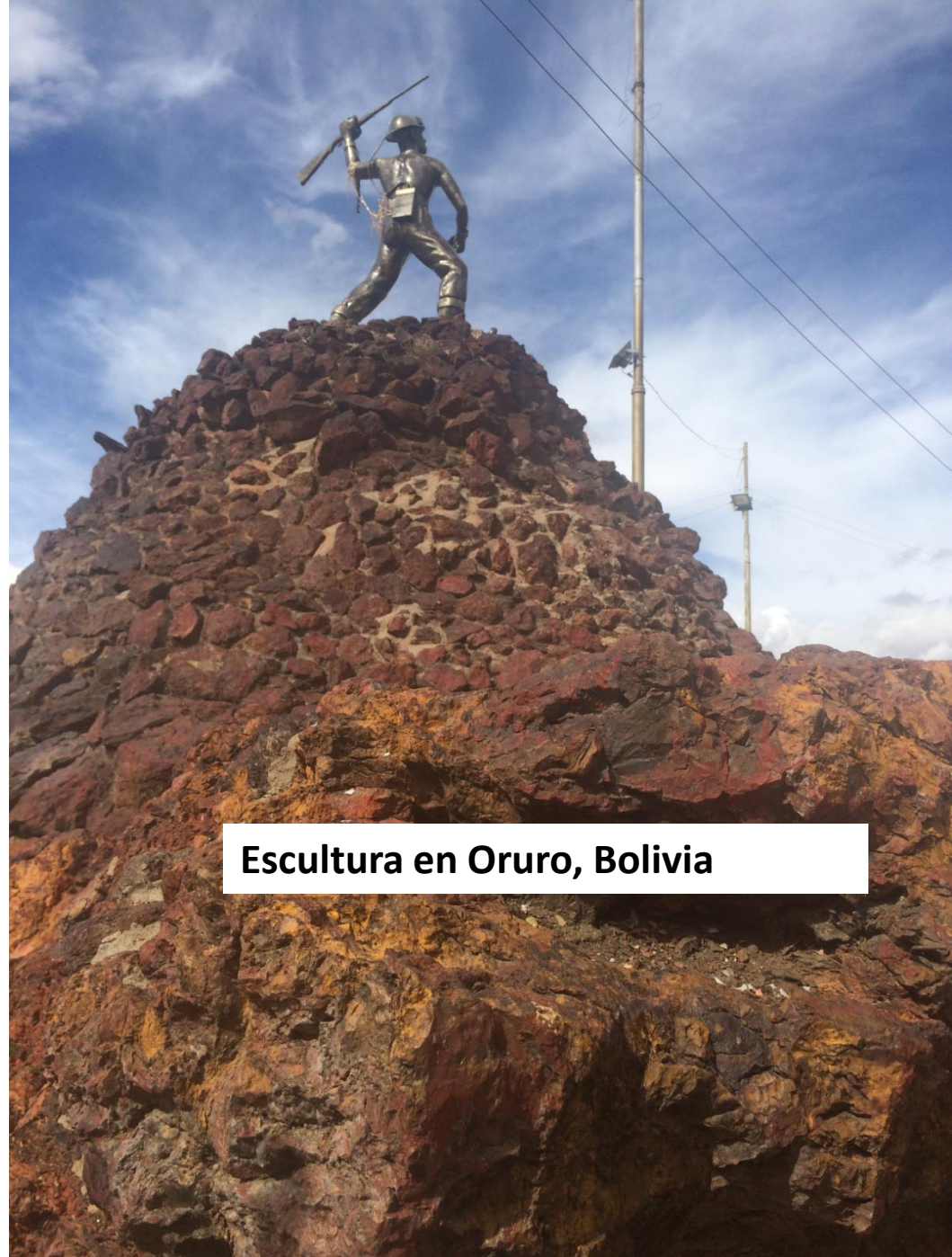
Potencial REDOX (Eh)



Fe y S "pierden" electrones, es decir, aumentan su número de oxidación, mientras que el O lo disminuye.

El triunfo de la minería: miles de millones de toneladas de rocas que se oxidan en todo el mundo.

Si las rocas tienen sulfuros se generan drenajes ácidos



Escultura en Oruro, Bolivia

Conductividad eléctrica (K)

Habilidad de una sustancia de transmitir una corriente eléctrica cierta distancia (Hem, 1985), y su unidad de medida suele ser $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Especies iónicas
cargadas hacen la
solución conductiva



Conductividad da
idea de la
concentración iónica
de la solución



MINERÍA: Contaminación de aguas

Cond. (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentab.	Acidez	Alcalinidad Total		
Electrométrico SM-500 (+B)	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos sedimentab. SM-2540 F	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico SM-2310 B		
	µs/cm	µs/cm	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L		
2410	-									
2450	2600	0,1	0,5	1	1	0,05	0,5	1		
510	534	0,1	955	363	738	62	16,3	≤0,5	N.D.	80
472	484	0,21	243	243	158	3	1,67	≤0,5	N.D.	63
300	312	0,71	234	222	139	9	1,94	≤0,5	N.D.	61
2570	2740	0,09	179,9	184,1	133	28	13	≤0,5	N.D.	73
2096	2250	0,25	207	214	149	21	9,4	≤0,5	N.D.	66
1849	2010	-	2410	-	-	-	-	-	-	-
		0,79	2450	2600	1832	35	15	≤0,5	N.D.	271
		0,52	510	534	360	34	36	≤0,5	N.D.	89
		0,3	472	484	319	52	20	≤0,5	N.D.	89
		0,26	300	312	229	14	51	≤0,5	N.D.	36
		0,84	2570	2740	1936	58	71	≤0,5	N.D.	328
		0,78	2096	2250	1552	22	37	≤0,5	N.D.	254
		0,72	1849	2010	1397	22	49	≤0,5	N.D.	233

DATOS DE INVESTIGACIÓN OFICIAL EN ZONA MINERA (CGR, 2014).

OBSÉRVENSE LAS BUENAS CORRESPONDENCIAS DE VALORES DE CONDUCTIVIDAD MEDIDA EN CAMPO Y LA DE LABORATORIO.

Sólidos disueltos totales (tds)

Conductividad no solo esta relacionada con especies iónicas en solución, también con especies no disociadas



TDS es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (<http://region8water.colostate.edu/>)



El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963)

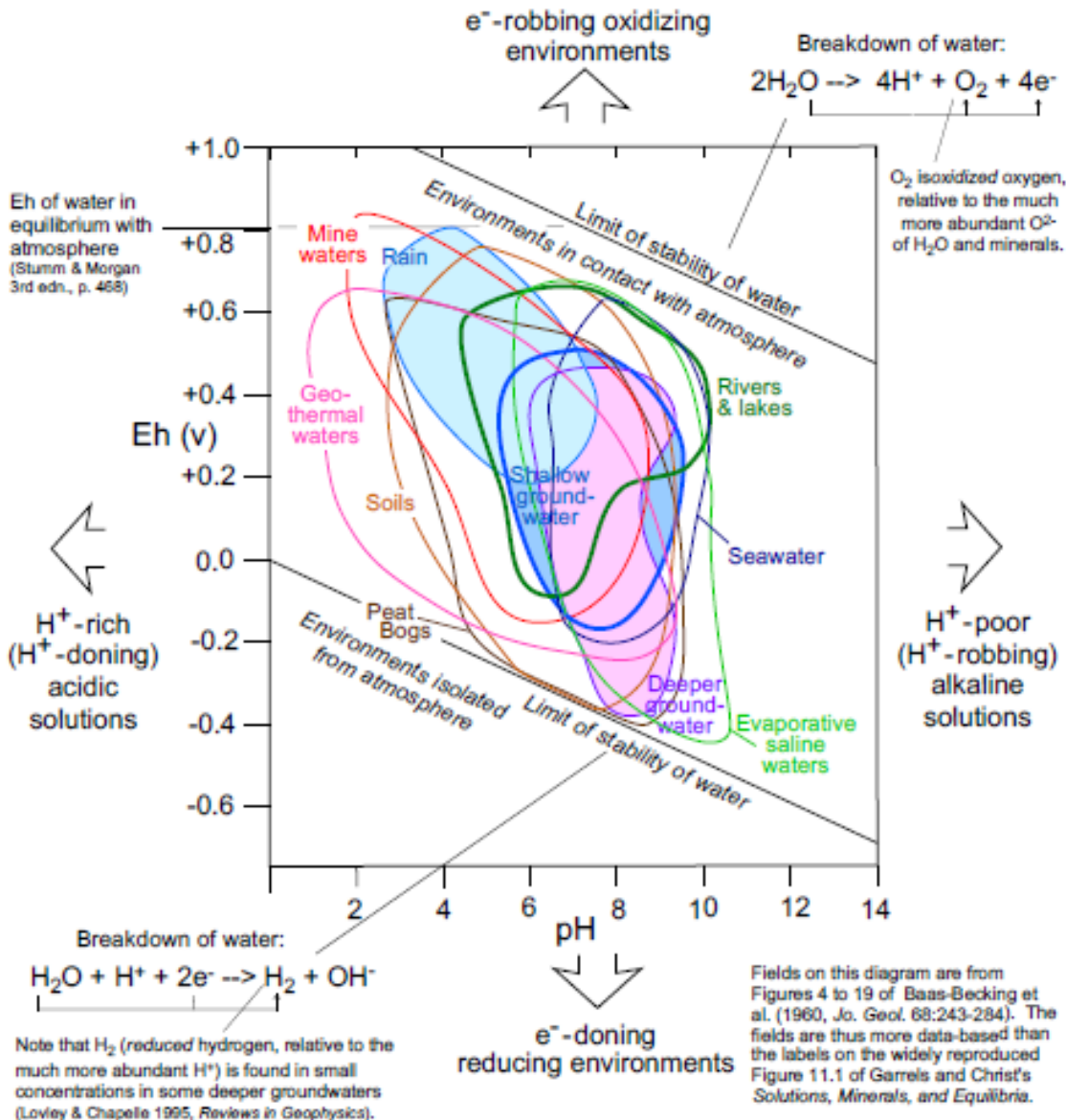


Relaciones entre parámetros

Diagramas
de Pourbaix

Relación de
Hem

Characterization of solutions by pH and Eh

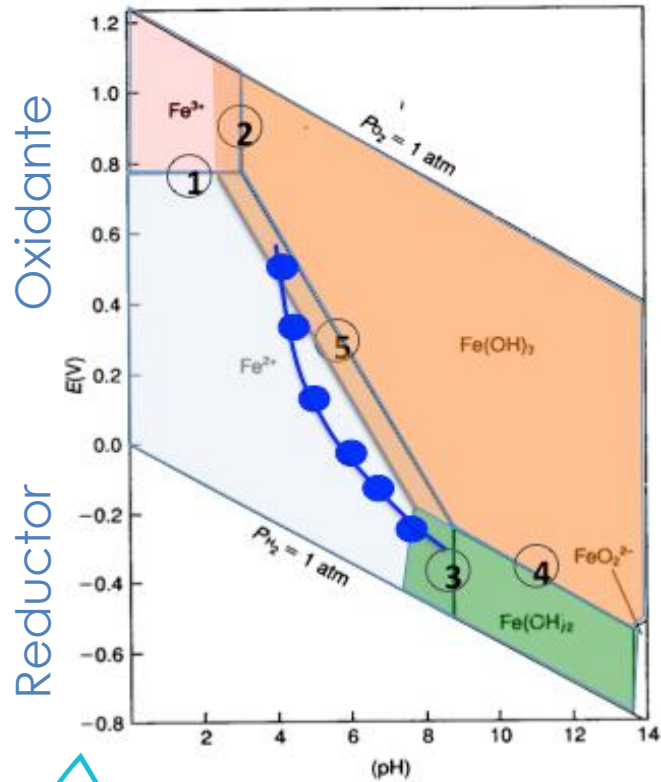


Diagramas de Pourbaix

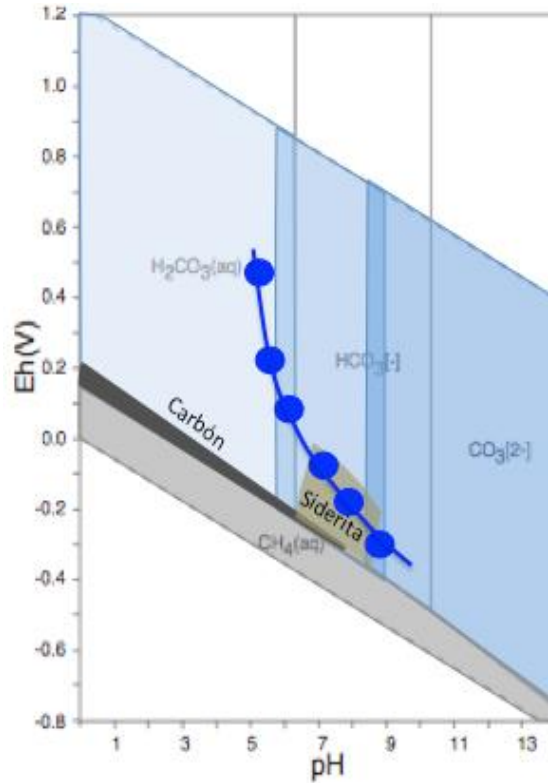
El poder de oxidación (Eh) y la acidez (pH) son los dos parámetros más importantes de los ambientes sedimentarios ya que juntos determinan la estabilidad de todos los minerales que allí se encuentran (Gill, 1996)

Diagramas de pourbaix páramo chingaza

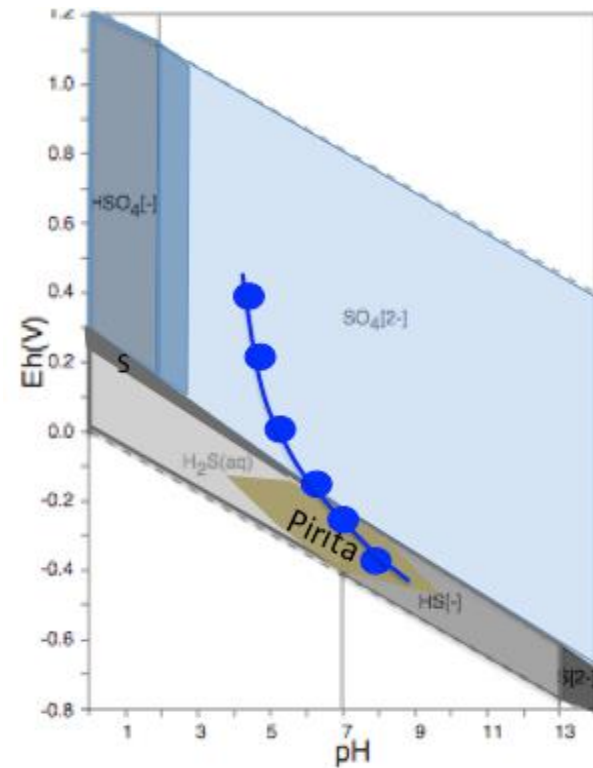
Fe



C



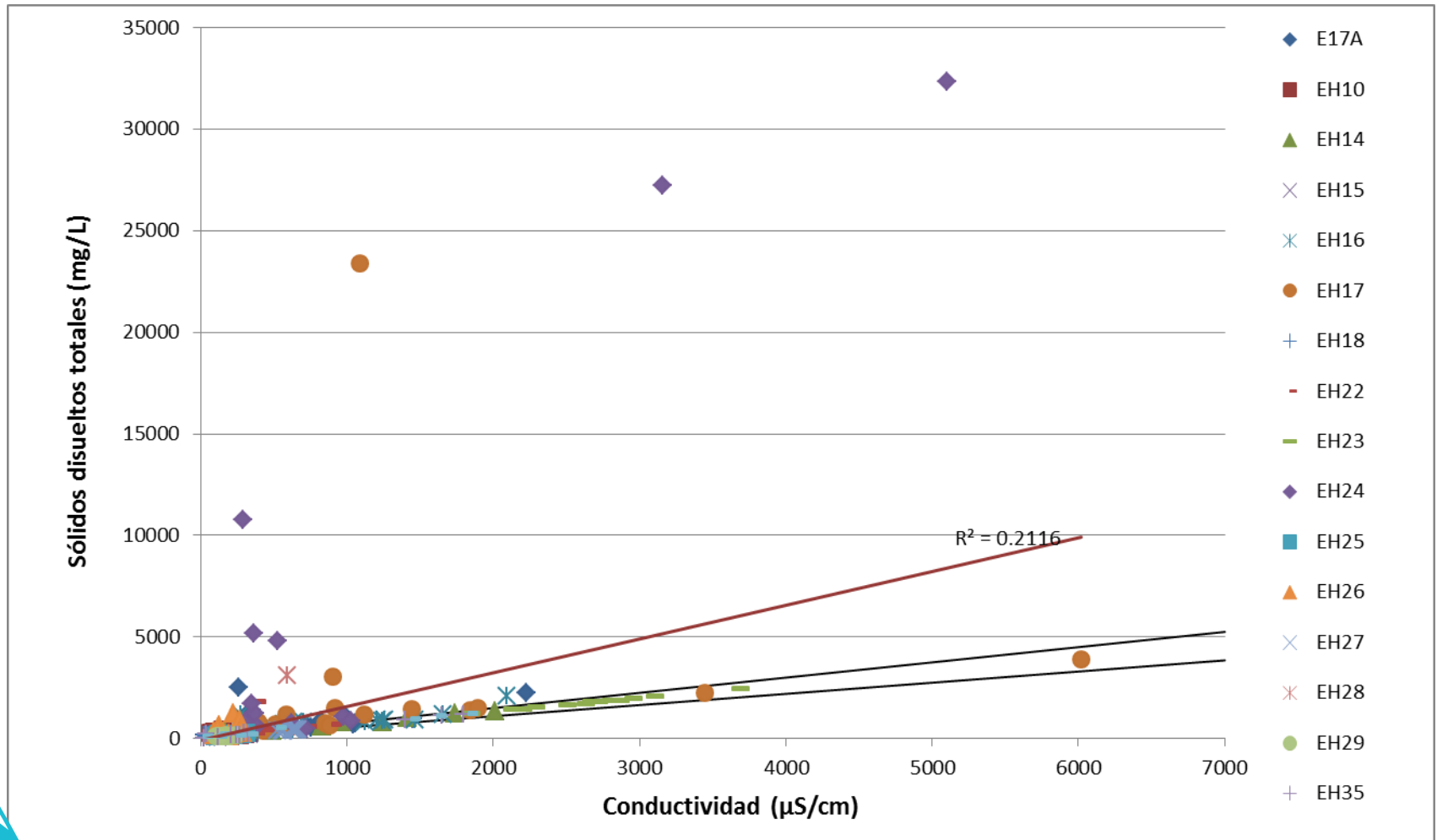
S



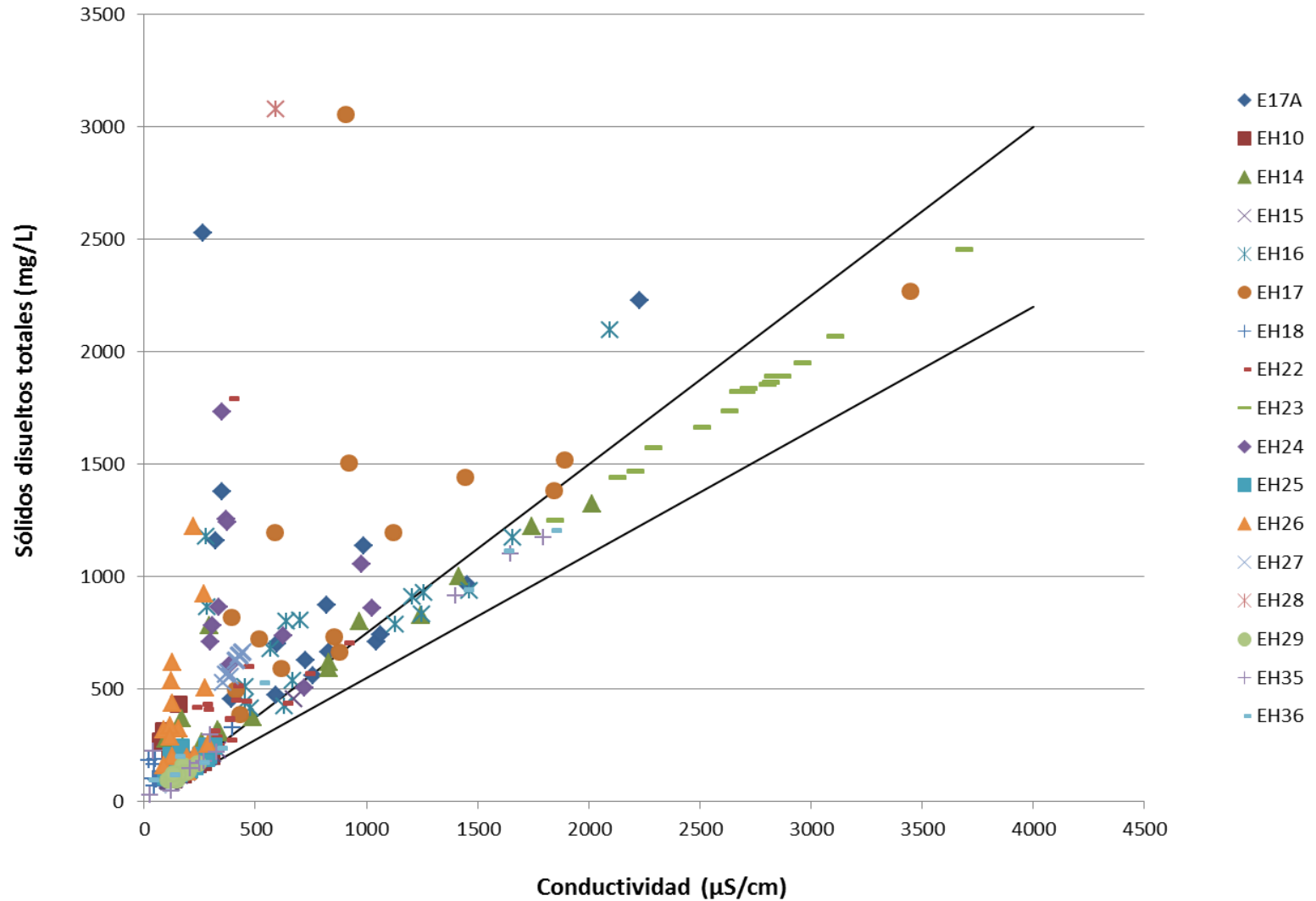
Relación de Hem

Hem (1985), a partir de la gráfica de Sólidos disueltos totales (S) (mg/L) contra conductividad (K) de muestras de agua del río Gila en Bylas, Arizona tomadas diariamente desde el primero de octubre de 1943 hasta el 30 de septiembre de 1944, logró establecer una relación muy bien definida entre ambos parámetros. Todos los datos se ajustan en la regresión lineal $KA=S$ donde A es 0,59. Sin embargo, en los análisis de agua natural dados en dicho documento el valor de A va de 0,54 a 0,96, con la mayor concentración de valores en el rango 0,55- 0,75. Es importante resaltar que esta relación funciona con valores tomados en campo ya que al retirar la muestra de agua de las condiciones naturales en las que se encuentran implica cambios físico-químicos en éstas.

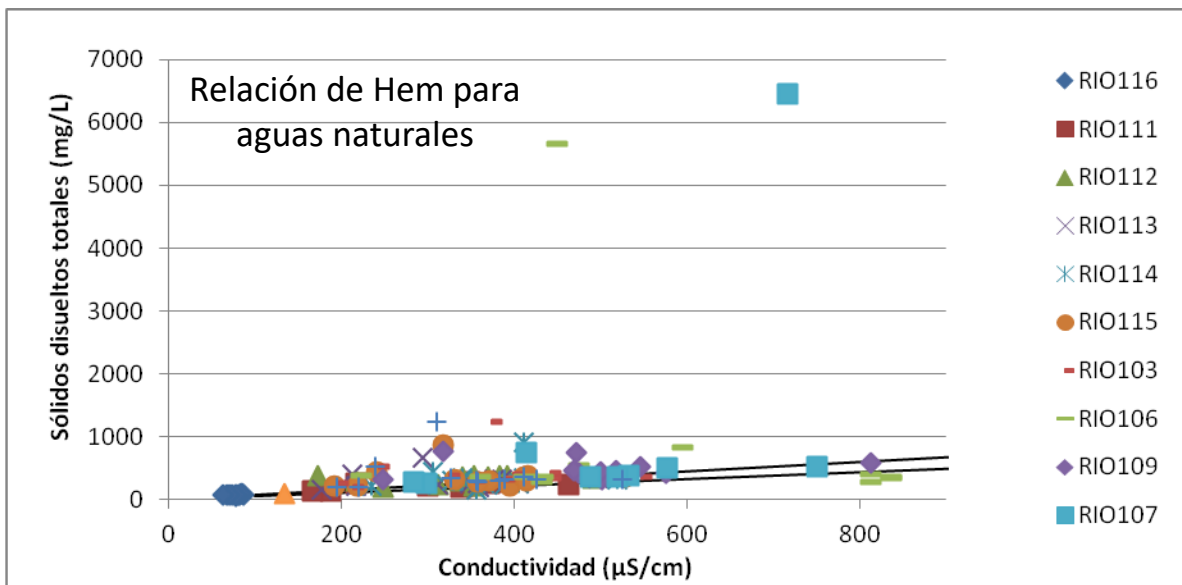
Drummond – Informe de Cumplimiento Ambiental 2012



Drummond – Informe de Cumplimiento Ambiental 2012

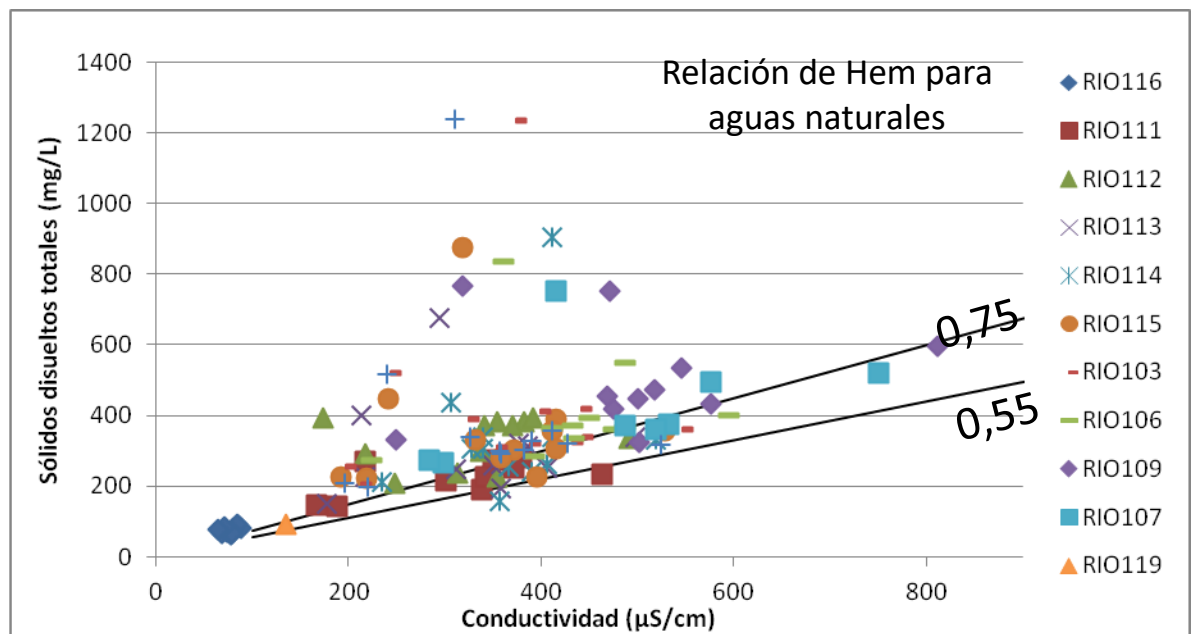


Problemática asociada al carbón. Cerrejón, Departamento de Guajira.



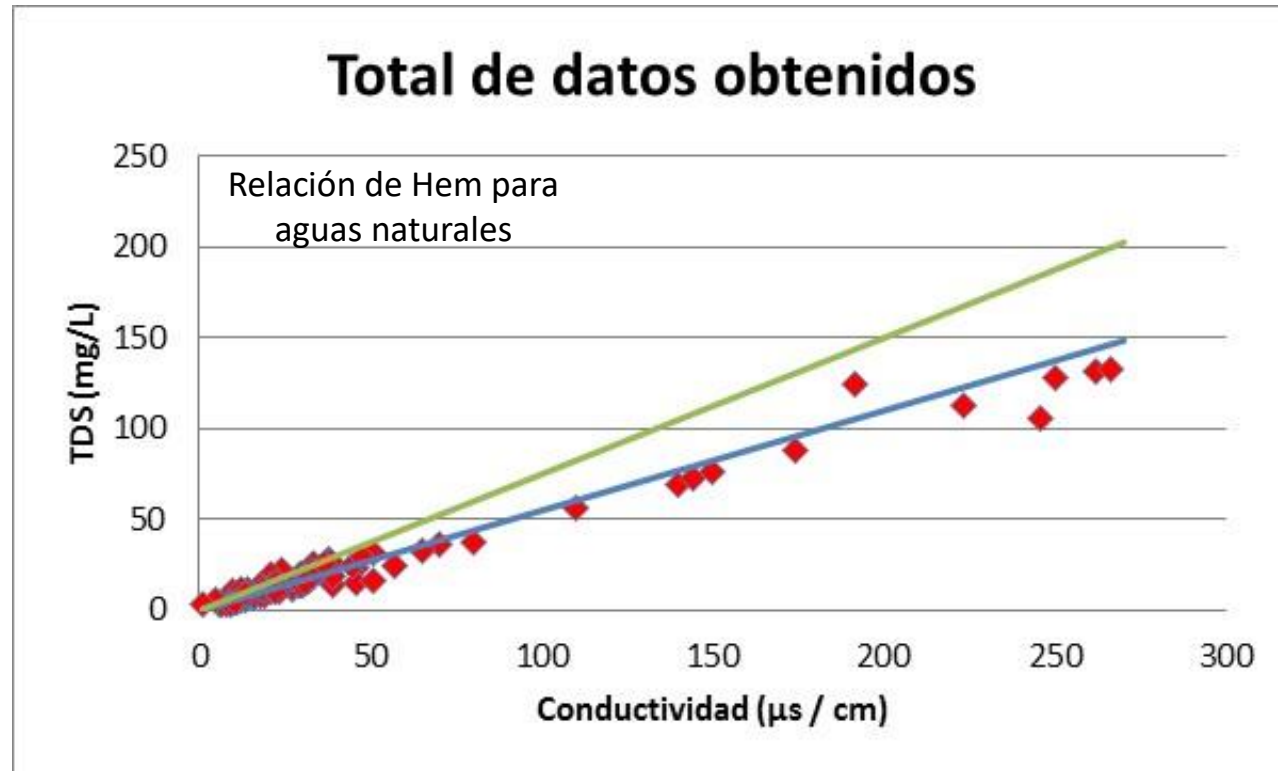
Conductividad vs Sólidos totales disueltos. Río Ranchería.

Datos tomados de los Informes de cumplimiento ambiental – ICA remitidos por el Cerrejón a la autoridad ambiental y graficados por Fierro, Cuida & Quintero para Foro por Colombia (2014)



Problemática asociada al carbón. Cerrejón, Departamento de Guajira.

Datos tomados de los Informes de cumplimiento ambiental – ICA remitidos por la empresa petrolera Colombia Energy.



INTRODUCCIONES CONCEPTUALES

Geoquímica: Los espíritus malos
Hidrogeología: las aguas dentro de las montañas
El tiempo, los tiempos.

*Sí ustedes perforan nuestros cerros sagrados,
liberarán los Jai malos y ello traerá enfermedades a
los Embera.*

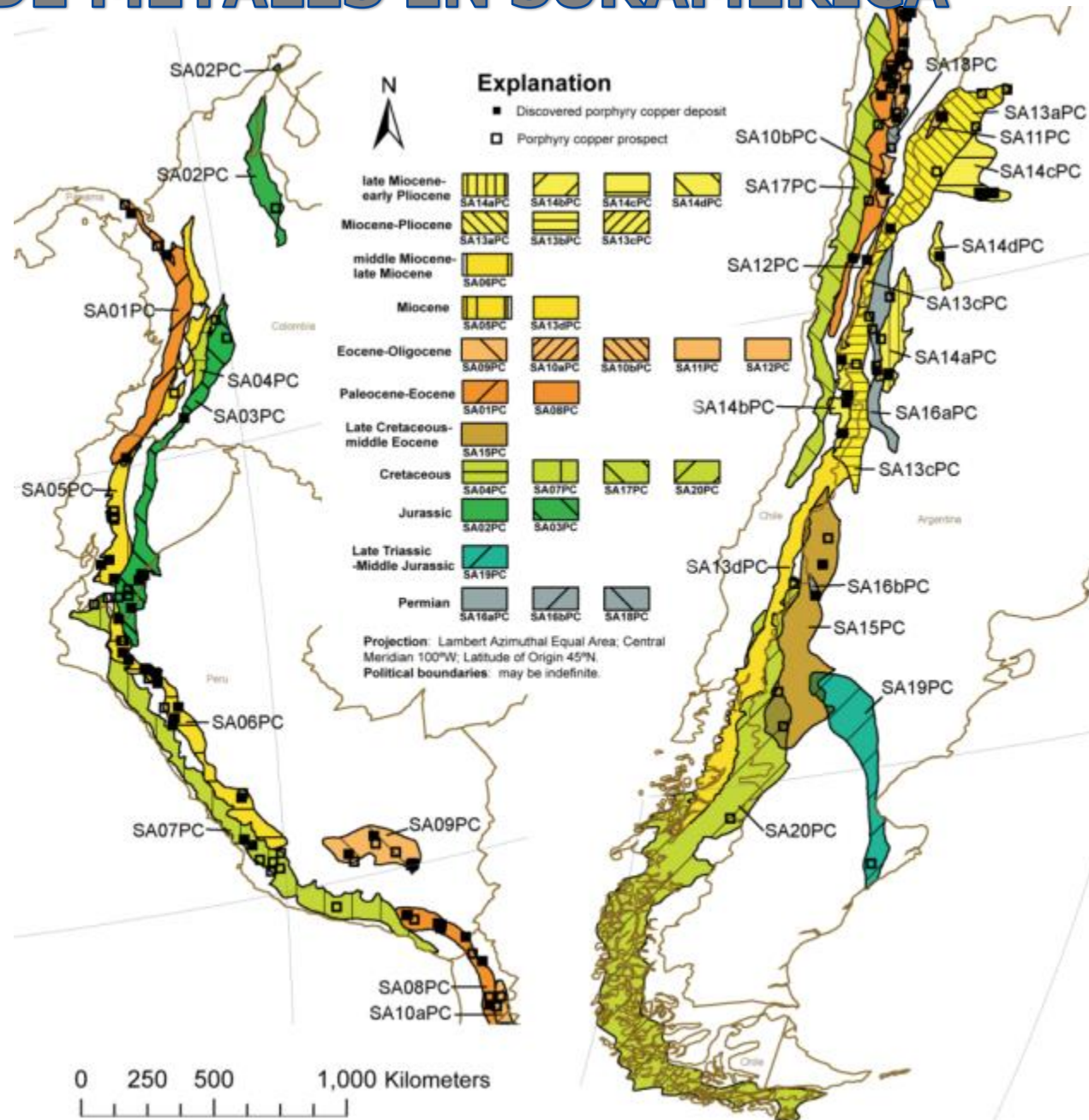
Mayor Embera del Resguardo Alto Guayabal (Chocó)



POTENCIAL DE METALES EN SURAMÉRICA

Map showing tracts permissive for the occurrence of porphyry copper deposits in the Andes Mountains by age. Tracts are numbered. Known porphyry copper deposits and prospects are shown.

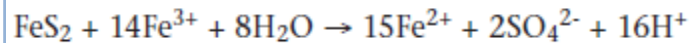
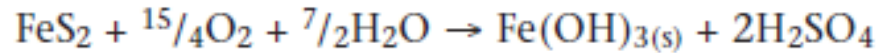
Fuente: Pan-american Quantitative Mineral Resource Assessment of Copper, Molybdenum, Gold, and Silver in undiscovered Porphyry Copper Deposits in the Andes Mountains, South America. Cunningham et. al. (2008)



Los yacimientos de metálicos en Latinoamérica

Fuente: Universidad de Chile,
Pórfidos cupríferos.

<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksae>



La química de los drenajes de mina resultantes es principalmente el resultado de la oxidación de sulfuros de hierro tales como pirita y pirrotina. Esta reacción genera acidez y sulfatos y libera elementos como cobre, zinc, cadmio y plomo a partir de los sulfuros que son solubles en aguas con bajos niveles de pH.

Fuente: Jamieson, H. (En Elements, 2011)



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Victor MaksaeV 2004 11

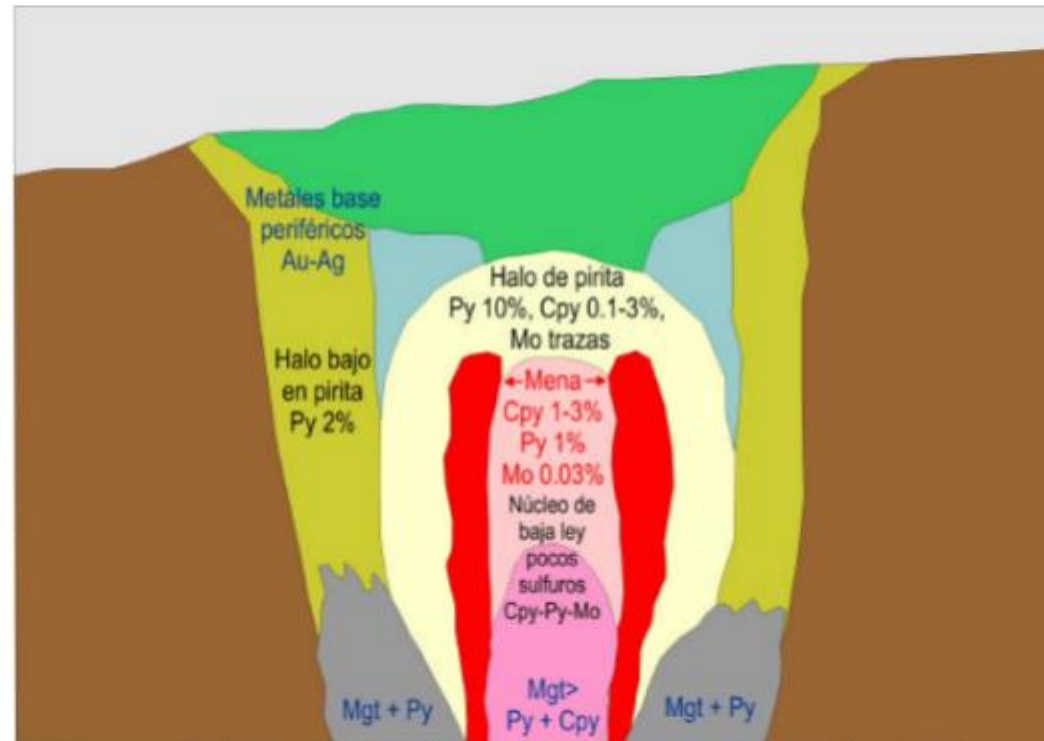
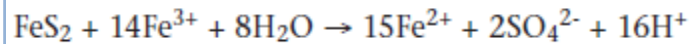
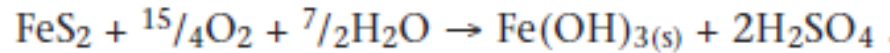


Fig. 3. Distribución de minerales de mena en un pórfido cuprífero típico. Py = pirita, Cpy = calcopirita, Mo = molibdenita, Mgt = magnetita.

Los yacimientos de metálicos en Latinoamérica



La química de los drenajes de mina resultantes es principalmente el resultado de la oxidación de sulfuros de hierro tales como pirita y pirrotina. Esta reacción genera acidez y sulfatos y libera elementos como cobre, zinc, cadmio y plomo a partir de los sulfuros que son solubles en aguas con bajos niveles de pH.

Fuente: Jamieson, H. (En Elements, 2011)

PIRITA EN MUSEO DE
SOCAVÓN EN ORURO



Los tajos mineros



Tajos en Inti Raymi

Los tajos mineros



Depósitos de lixiviación con cianuro y botaderos en Inti Raymi

Los tajos mineros



Cianuración de roca mineralizada en Inti Raymi

Desechos mineros principales



Presa de relave en Whitewood Creek and the Belle Fourche River (Dakota). Fuente:

http://toxics.usgs.gov/photo_gallery/whitewood_creek.html

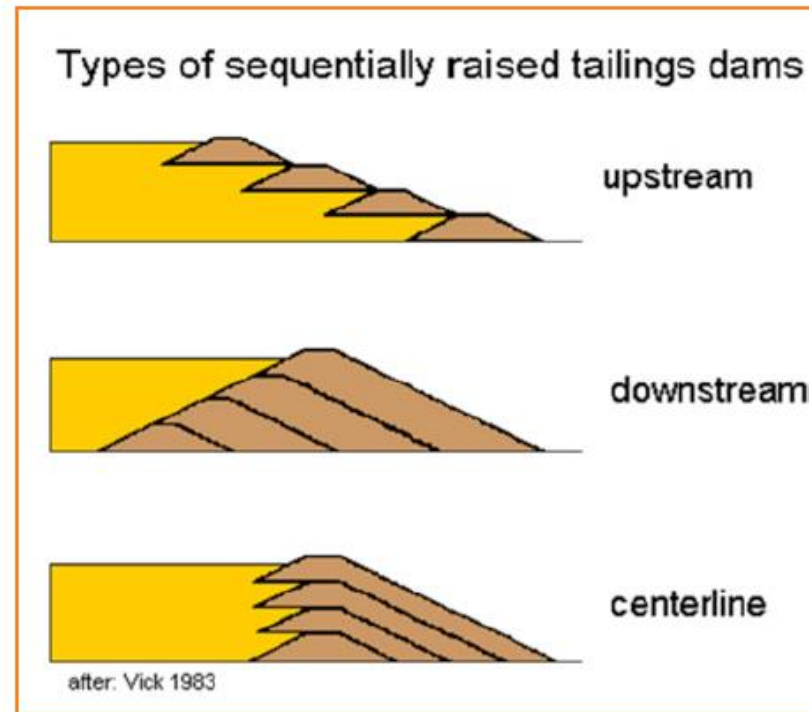
Botaderos en Diavik (Canadá). Fuente:

<http://www.panoramio.com/photo/28362906>

Presas de relaves (o diques de colas): Lodos altamente contaminados con los residuos químicos del beneficio minero. Agua, roca molida y residuos químicos.

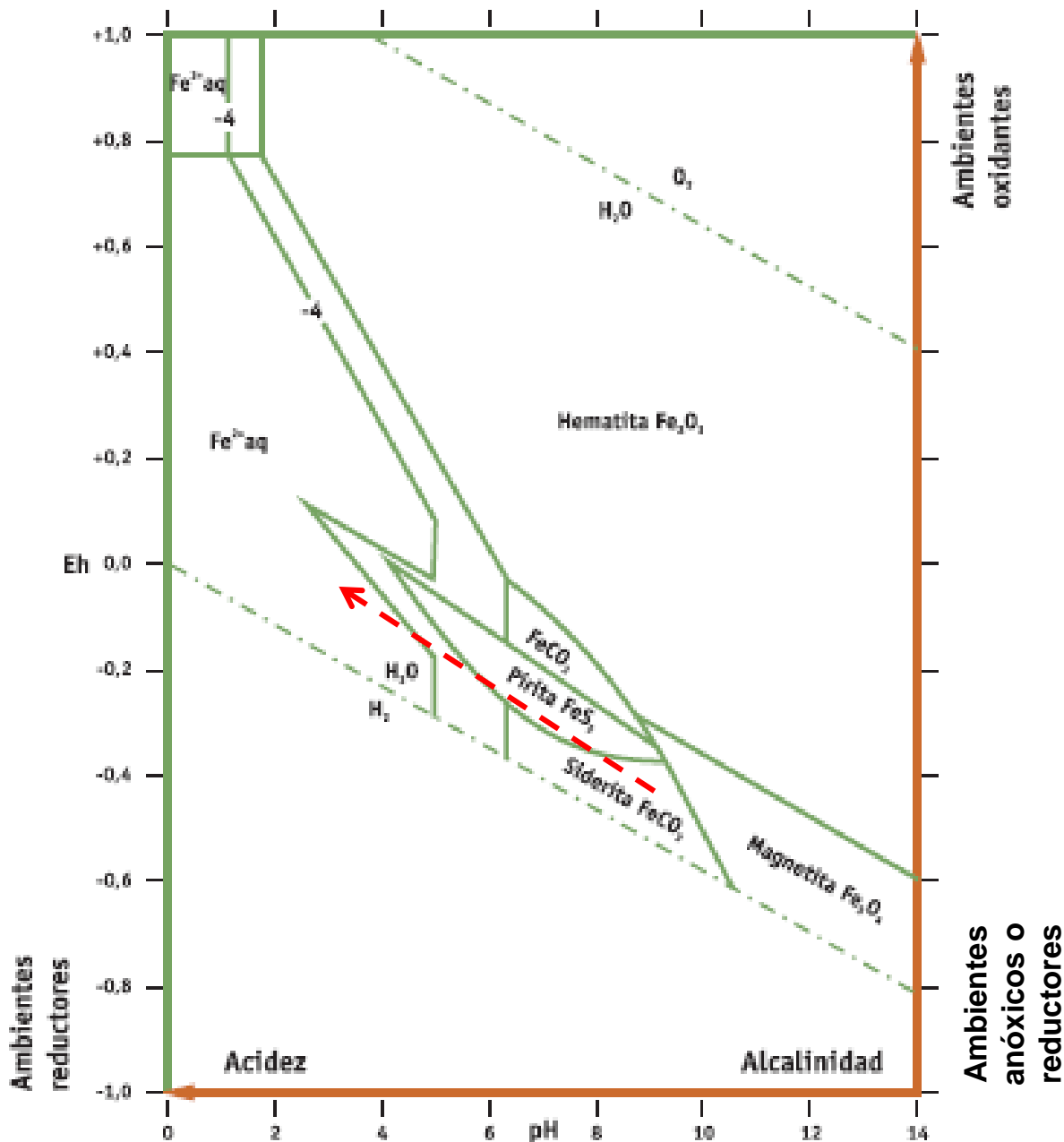
Botaderos de “estériles”: Rocas trituradas que no contenían el mineral de interés. Las escombreras contaminan por acidificación de aguas que libera químicos tóxicos presentes en las rocas.

Desechos mineros principales



De acuerdo con Earthworks (2016), los factores críticos para el colapso de represas de relaves o los vertidos de relaves son:

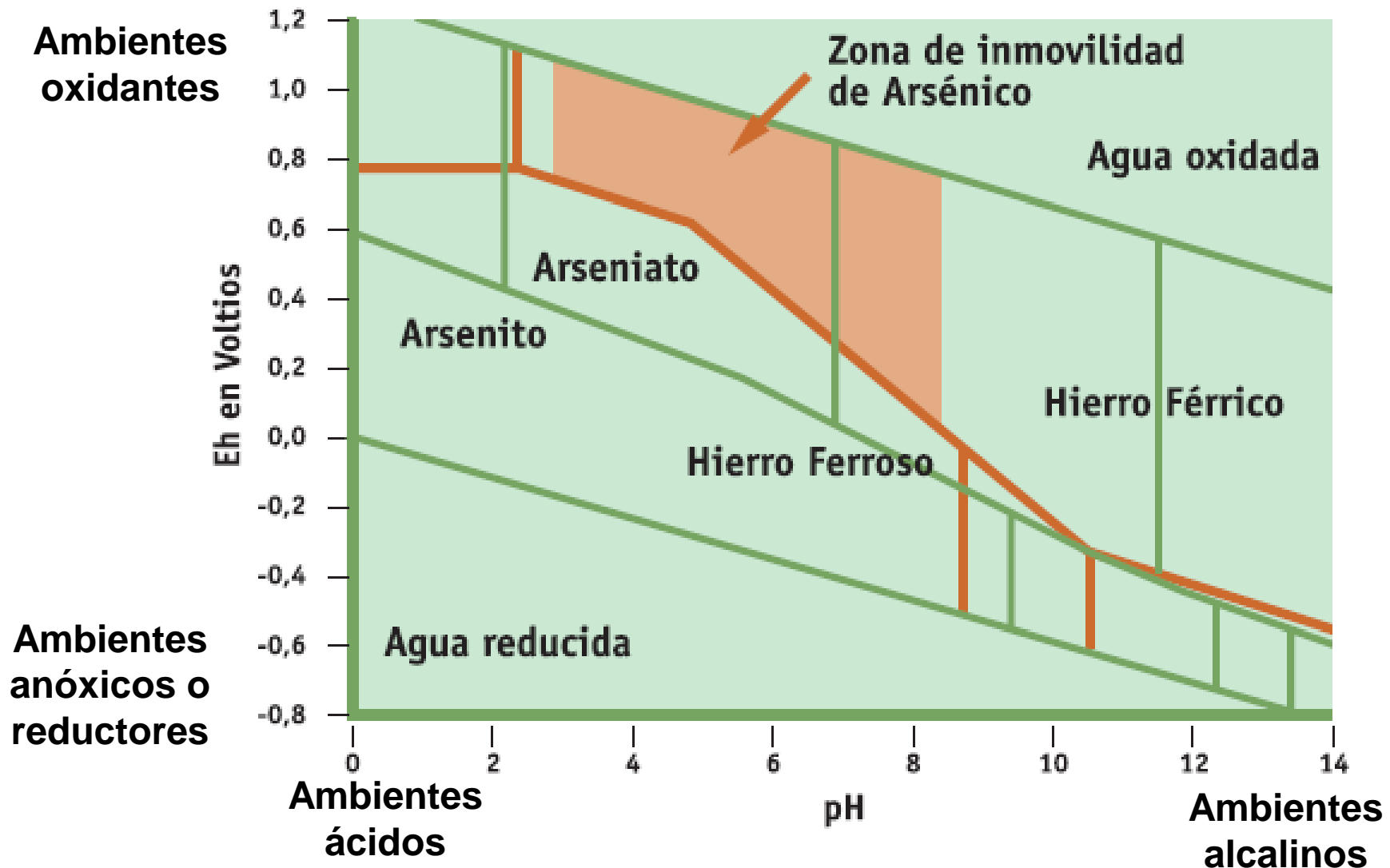
- La altura de la presa
- La capacidad de represamiento
- Los criterios de diseño: capacidad para soportar el mayor sismo probable o la mayor inundación probable
- Los diseños de construcción: (i) aguas arriba, el menos seguro; (ii) aguas abajo, el más seguro y (iii) centrada, de seguridad intermedia.
- Los diseños de clausura:



Exponer rocas o escombros con pirita a la atmósfera significa oxidar esta especie química... la oxidación inevitablemente genera acidificación.

The Increased Draw Down and Recharge in Groundwater Aquifers And Their Relationship to the Arsenic Problem in Bangladesh. Thomas E. Bridge.

<http://www.eng-consult.com/arsenic/article/meerarticle6.html#oogletto:http://www.eng-consult.com/arsenic/article/Image17.gif>



Vance (1995). **ARSENIC - CHEMICAL BEHAVIOR AND TREATMENT. An On-Line Version of an Article First Published in the: National Environmental Journal 1995 Vol. 5 No. 3**

<http://2the4.net/arsenicart.htm>

Acidificación de suelos y aguas por oxidación de pirita

Inevitabilidad termodinámica de la oxidación de la Pirita (FeS₂)

2FeS ₂ (s) +	4H ₂ O(l) +	15/2 O ₂ (g) →	Fe ₂ O ₃ (s) +	4SO ₄ ²⁻ (ac) +	8H ⁺ (ac)
ΔH _f ⁰ = -178,2 KJ/mol	-285,8	0	-822,2	-907,5	0
ΔG _f ⁰ = -166,9 KJ/mol	-237,2	0	-741	-741,99	0
S ⁰ = 53,1 J/K* ^o mol	69,9	205	90	17,15	0

ΔH _f ⁰	-2952 KJ/mol
ΔG _f ⁰	-2426 KJ/mol
ΔS ⁰	-1764 J/K* ^o mol

El signo de ΔG depende de los signos de los cambios en [entalpía](#) (ΔH) y entropía (ΔS), así como de la [temperatura absoluta](#) (T, en Kelvin). ΔG cambia de positivo a negativo (o viceversa) en el valor donde T = ΔH/ΔS.

Cuando ΔG es negativo, un proceso o reacción química es espontáneo

Cuando ΔH es negativo la reacción es exotérmica

Cuando ΔS es negativo y ΔH es negativo, un proceso es espontáneo a las temperaturas ambientales, donde el carácter exotérmico del proceso ahora sí resulta importante.

CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS GLOBALES EN EL CLIMA: Acidificación de suelos y aguas por oxidación de pirita



Combustión espontánea de carbón originada probablemente por reacción exotérmica de oxidación de pirita en los mantos. Talud alto de la mina La Loma – Pribbenow (Cesar)

CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS GLOBALES EN EL CLIMA: Descongelamiento de porciones de glaciales con botaderos mineros



La exotermia de la reacción de rocas con pirita en ambientes glaciales,
¿qué puede causar?

El poder de la pirita: termodinámica

Reacción	ΔH_r (kcal/mol)	ΔG_r (kcal/mol)	
$4\text{FeS} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{FeO(OH)} + 4\text{S}$	-301,530	-45,781	Oxidación pirrotita
$\text{FeS} + 2\text{O}_2 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-218,135	-178,996	
$2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 16\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	-654,996	-546,372	Oxidación Pirita
$4\text{FeS}_2 + 15\text{O}_2 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$	-1419,264	-692,630	
$\text{PbS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	17,014	105,820	Oxidación Galena
$\text{ZnS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-203,572	-104,531	Oxidación blenda
$\text{CuFeS}_2 + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-}$	-398,041	-199,338	Oxidación Calcopirita
$\text{NiS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-29,354	76,930	Oxidación millerita
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-326,677	-316,761	Combustión Etanol

Cuando ΔG es negativo, un proceso o reacción química es espontáneo

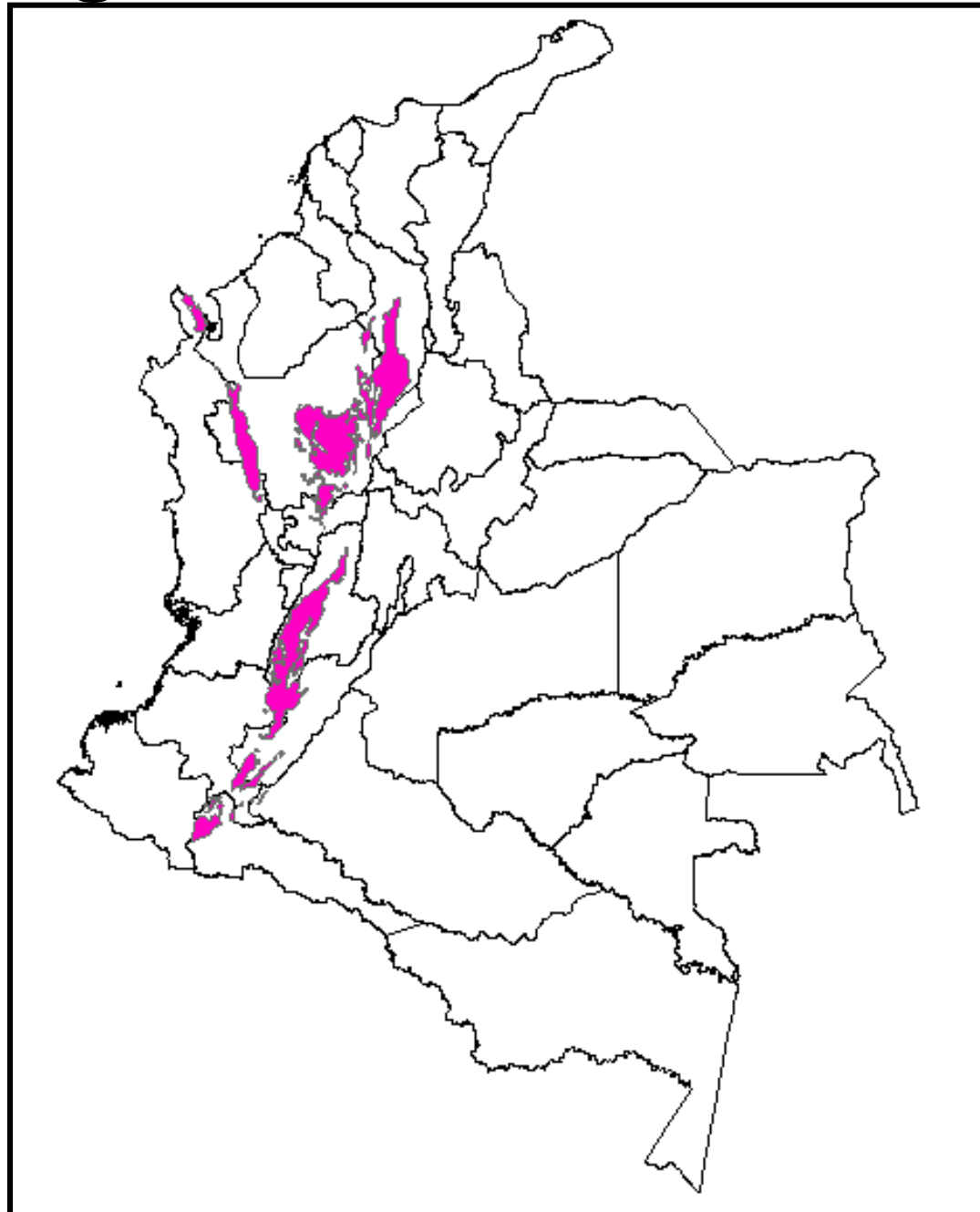
Cuando ΔH es negativo la reacción es exotérmica



LA REACCIÓN DE OXIDACIÓN DE LA PIRITA TIENE UNA FUERTE TERMODINÁMICA, MAYOR QUE LA OXIDACIÓN DEL ETANOL.

Batolitos: rocas ígneas intermedias

- B. Ibagüe: 1-7% (Garzón, 2008)
- B. Sabanalarga: ≈10% sulfuros (Rodríguez, 1995)
- Marmato: 1-8% (Chamois, 2010)
- B. Mande: ≈3% sulfuros (González, 2002)



GEOQUÍMICA LODOLITA

ARCILLAS, PIRITA Y CARBONATOS, CHINGAZA (COLOMBIA)

TABLE 1. Semi quantification of slate (bulk) based on X-ray diffraction (millipore mount).

Minerals (%)	Sample no.				
	960252	960253	960254	960255	960256
Illite	28	49	19	18	27
Rectorite	25	10	20	26	22
Chlorite	17	2	6	17	22
Pyrophyllite	5	8	4	4	6
Quartz	13	15	17	10	6
K-feldspar	3	5	3	4	4
Plagioclase	4	6	4	4	3
Dolomite	2	1	24	14	6
Pyrite	3	4	3	3	4

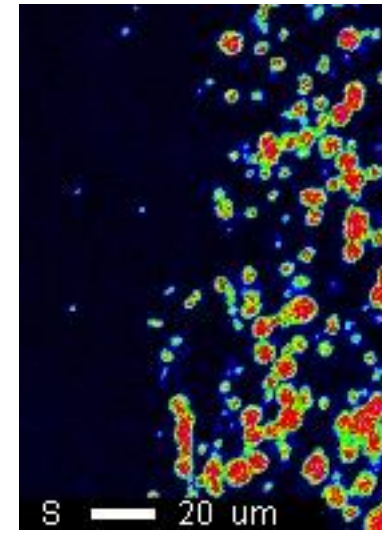
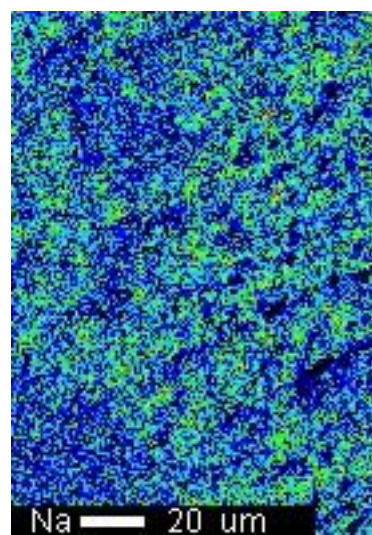
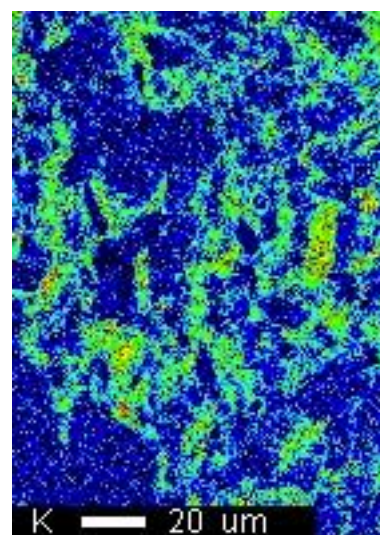
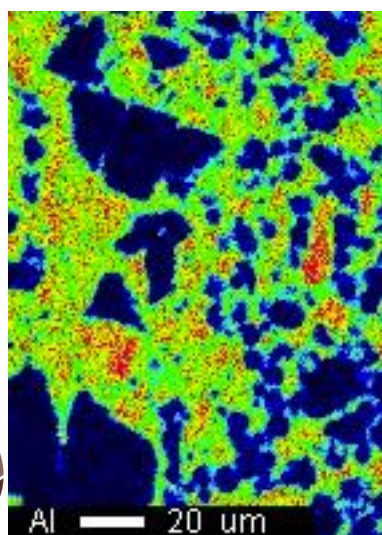
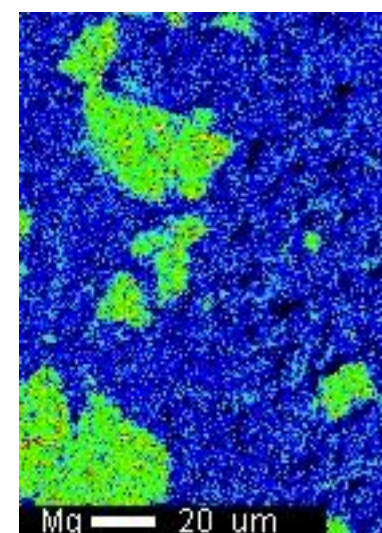
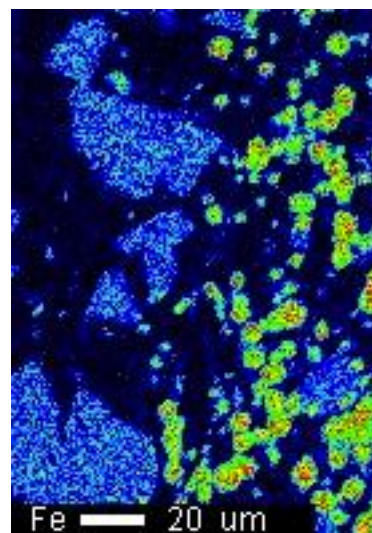
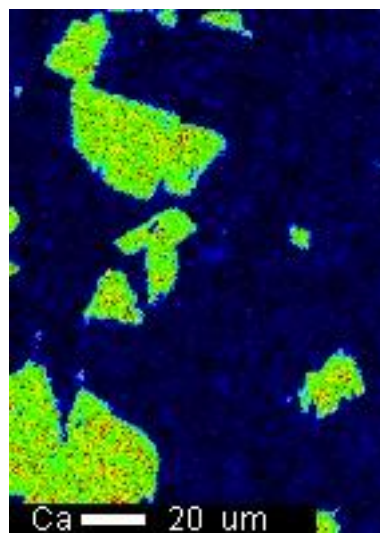
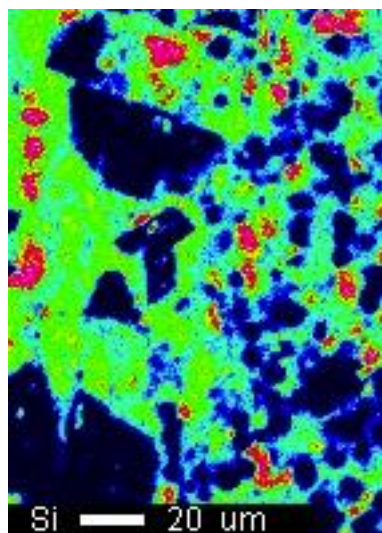
Total organic carbon (TOC) varies between 2.64% and 1.35% in the analysed samples and was not taken into consideration when the mineral content, based on XRD, was calculated.



BRATTLI, 1997. A rectorite-pyrophyllite-chlorite-illite assemblage in pelitic rocks from Colombia.

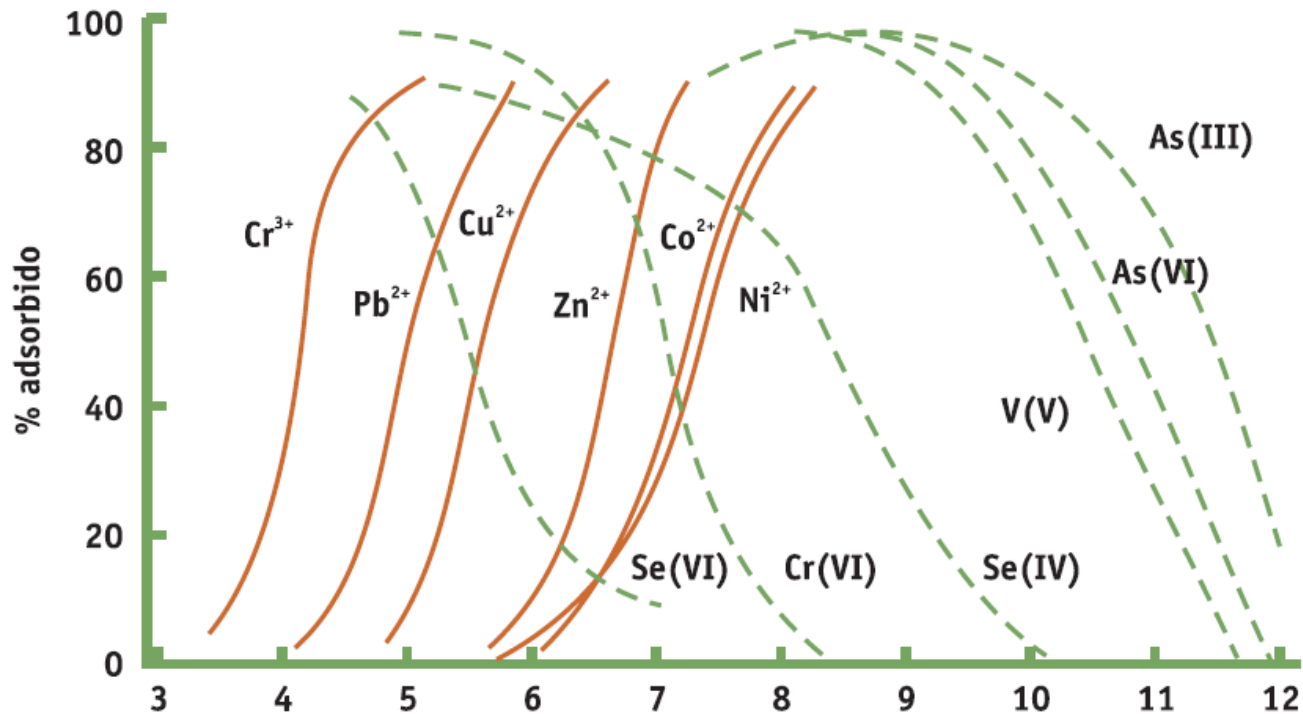
GEOQUÍMICA LODOLITA

ARCILLAS, PIRITA Y CARBONATOS, CHINGAZA (COLOMBIA)



MINERÍA: Contaminación de aguas

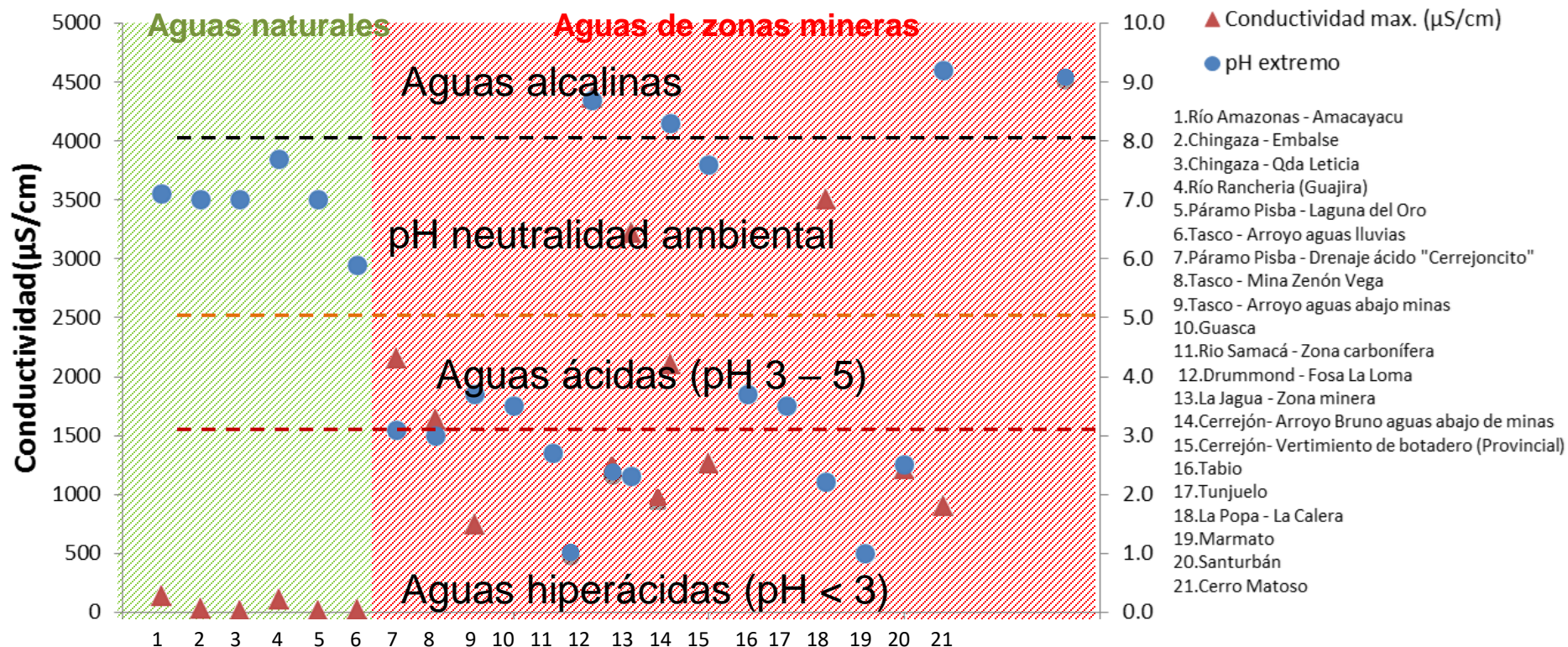
Figura 14. Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales, a diferentes pH



Fuente: Kabata-Pendias, 2000

LA MINERÍA LIBERA Y LIBERARÁ LOS ESPÍRITUS MALOS QUE HABITAN MONTAÑAS Y LLANURAS

Comparación Conductividad - pH en zonas mineras y no mineras



La minería desequilibra ecosistemas acuáticos y libera especies químicas tóxicas (tanto por liberación de estas especies de las rocas como por adiciones para procesos de extracción y beneficio.)

La geología y su relación con la liberación de especies químicas tóxicas



Drenaje Ácido de mina (dam)

Proceso mediante el cual las aguas provenientes de zonas mineras presentan **acidez anómala** ($\text{pH} < 5$) debido a la oxidación de **Sulfuros** al ser expuestos al agua y aire.



Mina La Popa de Caliza (La Calera, Cundinamarca).

pH (campo 2 - 3), pH (laboratorio) 2,2.
Fuente TERRAE 2012 Y 2013



Iron Mountain de hierro, cobre, oro, plata y zinc (California, Estados Unidos). pH -2,5.
Fuente Revista Elements, 2011.

Pirita (sulfuros en general) = 1 : 16,4 **Óxidos de hierro y ácido sulfúrico**
expuestos a la intemperie
(agua y aire)



Lo anterior indica que por cada parte de **Pirita** que se oxida se generan **1,64** partes de **Ácido Sulfúrico**.

Nota: todos los sulfuros generan acidez excepto la galena (Plomo)

Favorecimiento de la reacción por actividad metabólica de **bacterias** comunes en áreas mineras

Oxidación de la pirita es un proceso **espontáneo** bajo temperaturas ambientales y de carácter **exotérmico** (aumento de temperatura favorece oxidación de otros sulfuros)

Dam en La Colosa

	Masa de desechos de roca (Mton)	Masa de roca NO MINERALIZADA (70%) (Mton)	Masa (Mton)	Masa ácido sulfúrico (Mton)
Mínimo				14,3
				99,8
Máximo	4120	2884	7% (máx)	46,7
			201,9	327,0

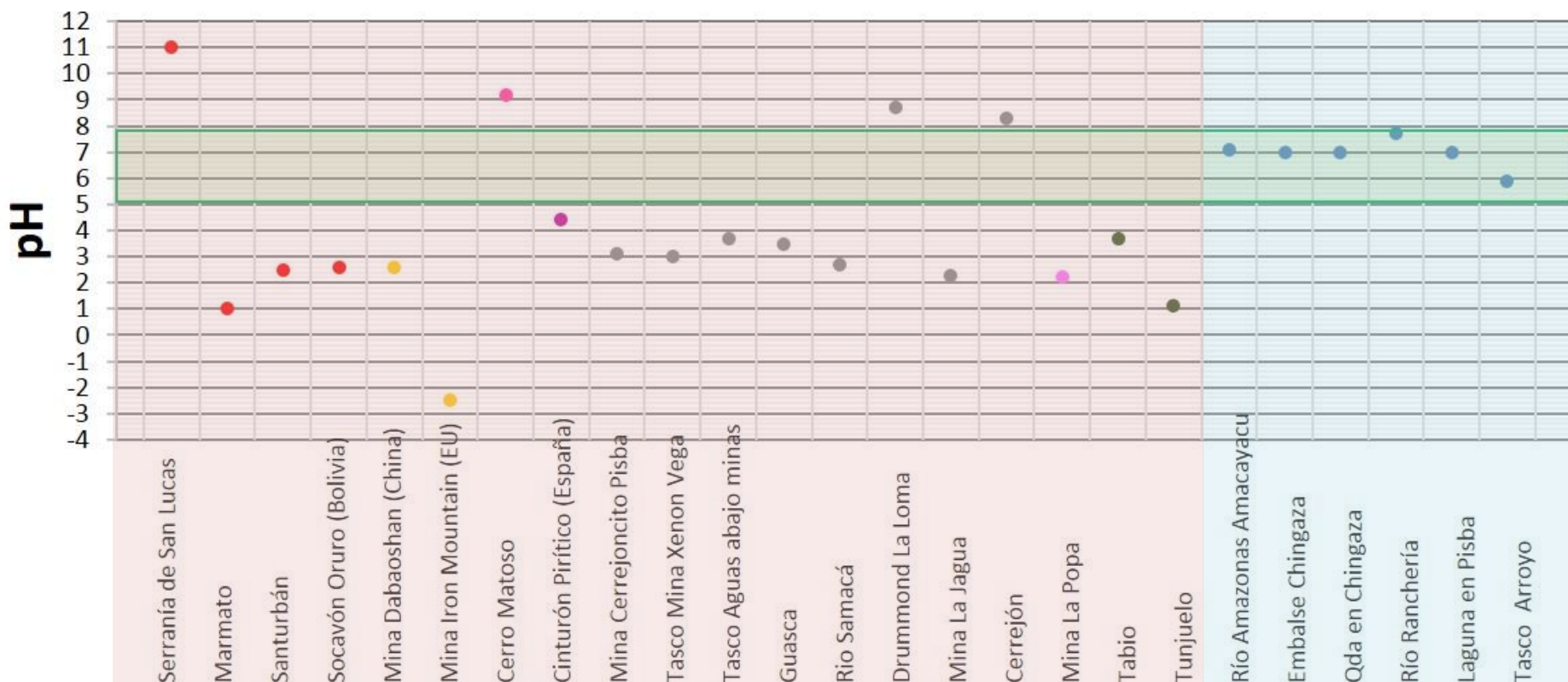
Lo equivalente la masa de agua contenida en 6.810 a 155.714 piscinas olímpicas

Cálculo de la cantidad de pirita (Py) y ácido sulfúrico asociada al proyecto aurífero La Colosa, basados en comparaciones con los proyectos auríferos de Gramalote y Angosturas →

INCERTIDUMBRE DEBIDO A LA FALTA DE INFORMACIÓN LIBERADA POR AGA

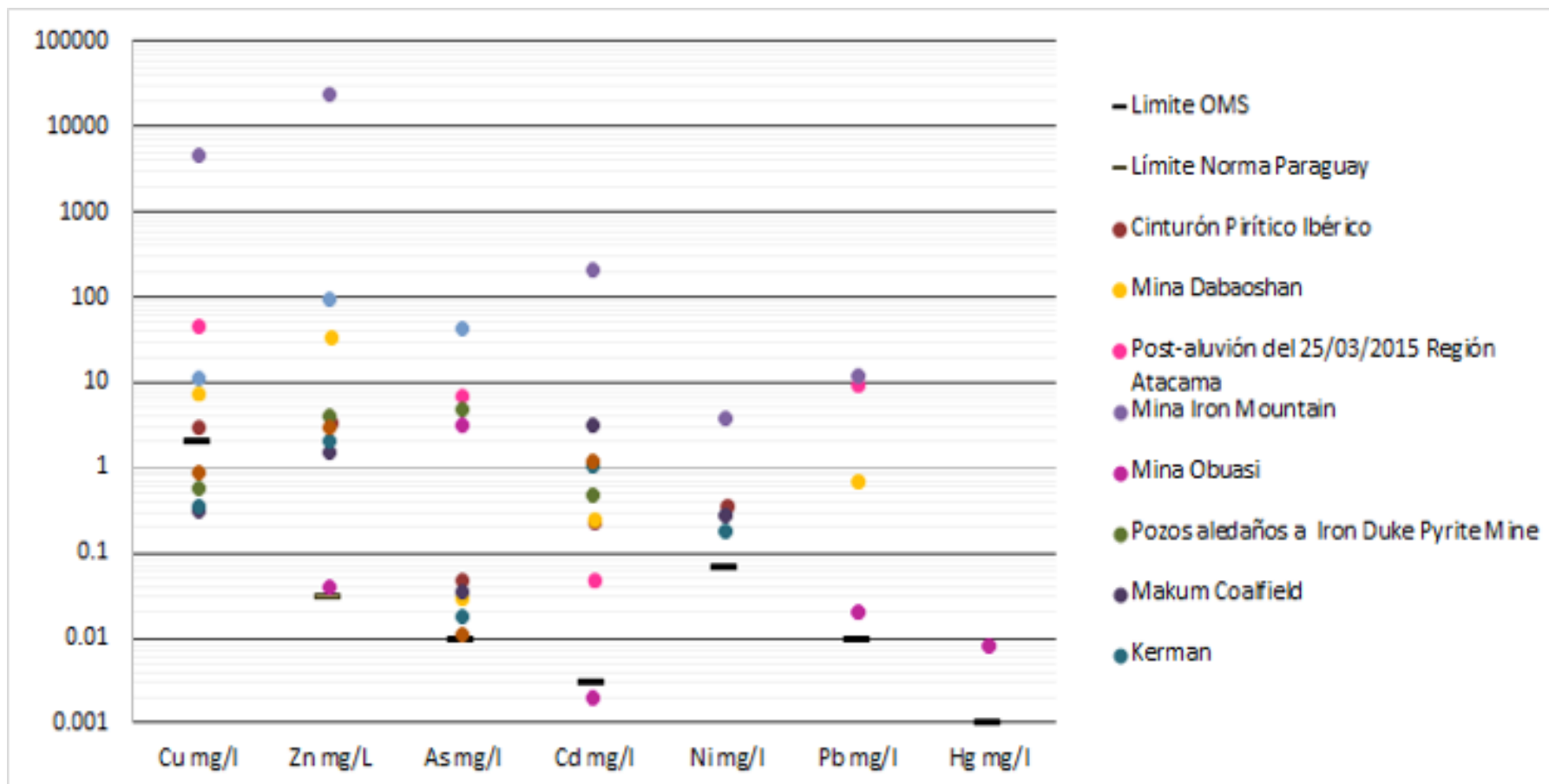
IMPLICACIONES DEL DAM

- Minería de Oro
- Minería Fe y otros metales
- Minería de Niquel
- Minería de sulfuros
- Minería de Carbón
- Minería de Calizas
- Materiales de construcción
- Agua Natural

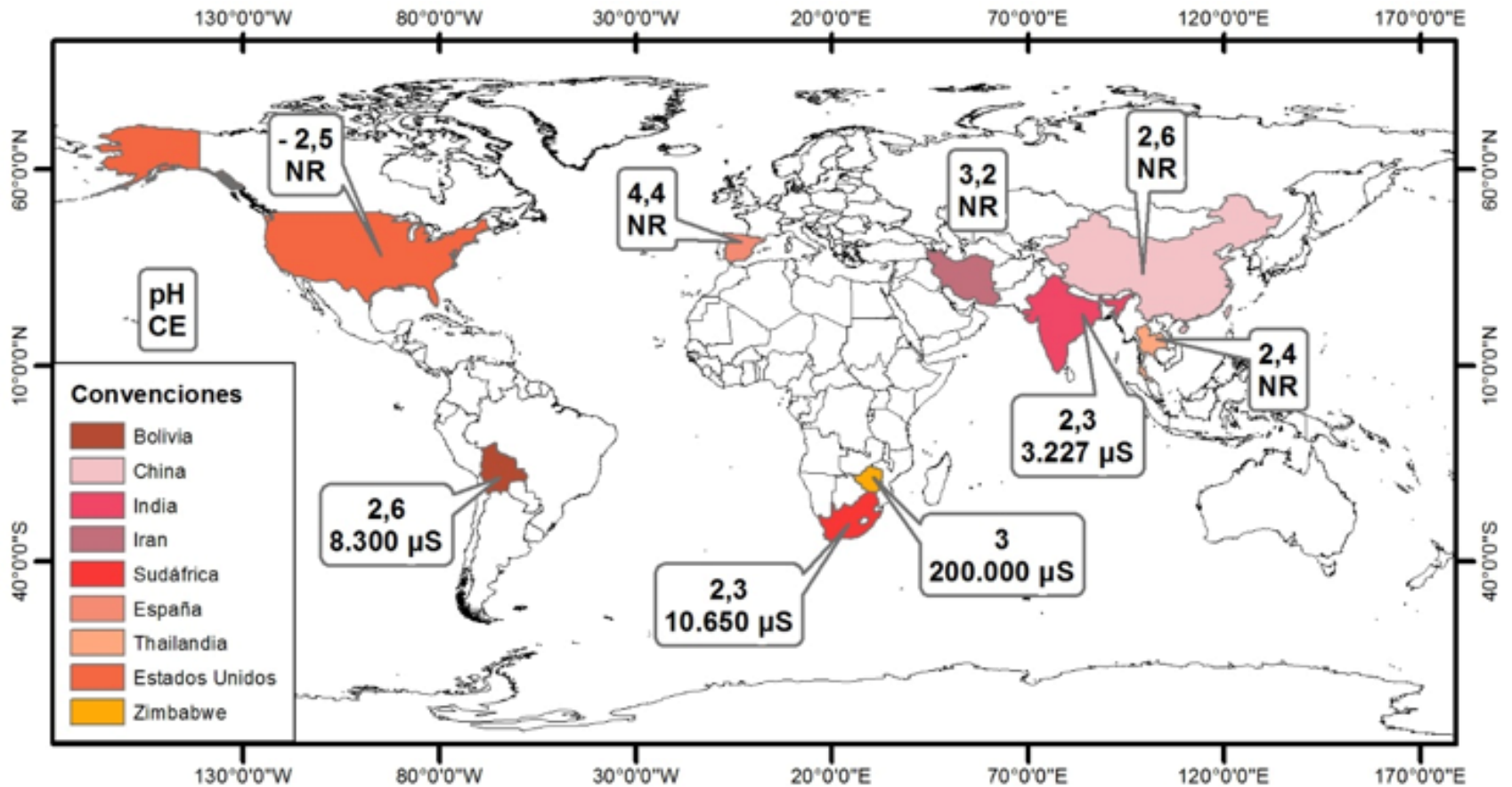


Fuente: Gaviria (s.f), PMA FSA (2002), Reserva Forestal Magdalena - CSB (2003), Nordstrom en Elements (2007), Gaviria (2010), Periodico UN (2011), Zhao et al (2011), SSI (2012), ICA Cerrejón (2012), CGR (2012), CGR (2013), CGR (2013), Zapata (2013), Pardo (2013), EAB (2013), Fierro (2014), Hierro et al (2014).

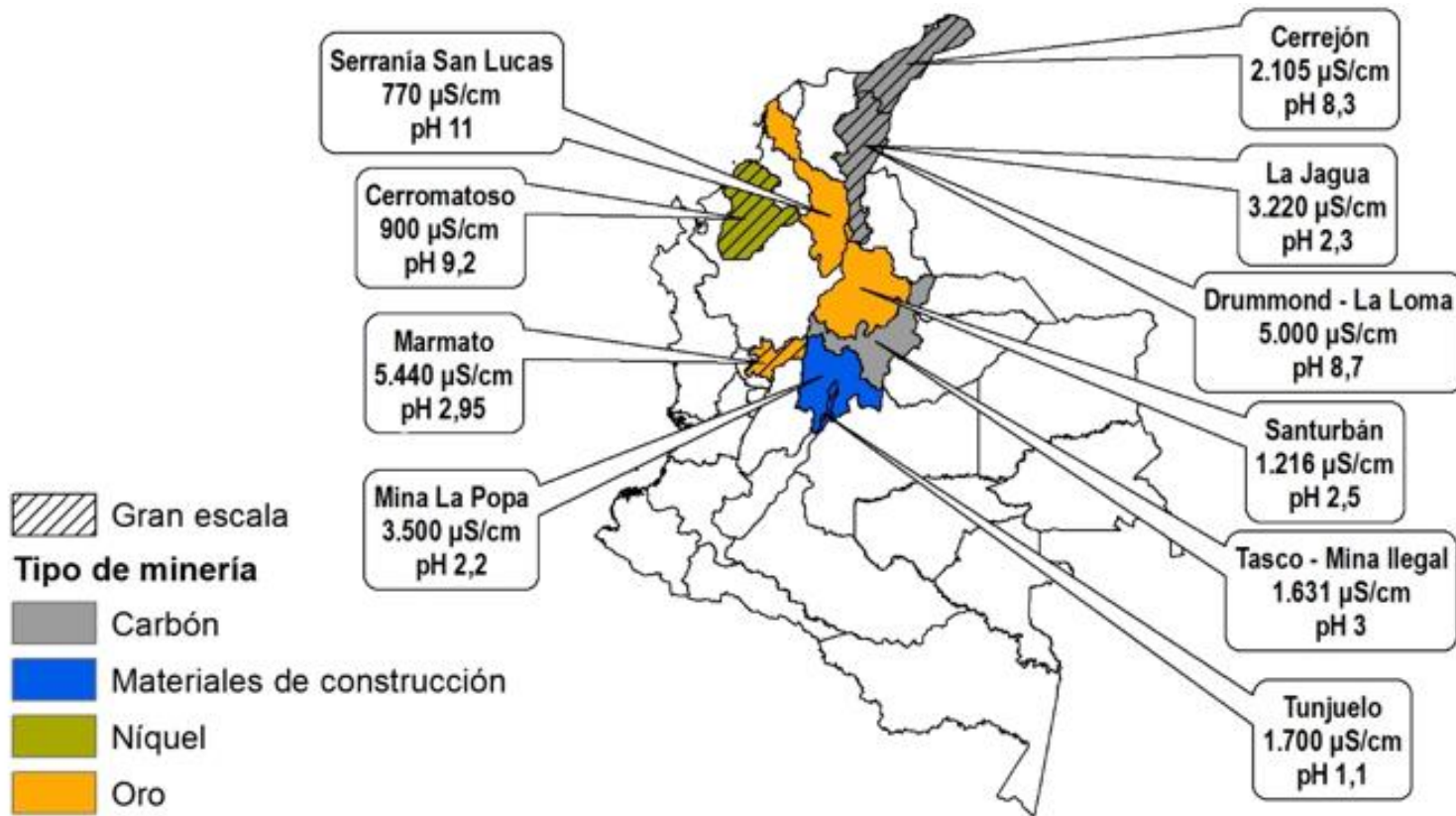
Concentración de metales pesados y otros tóxicos asociados a zonas mineras



pH y conductividades en DAM alrededor del mundo

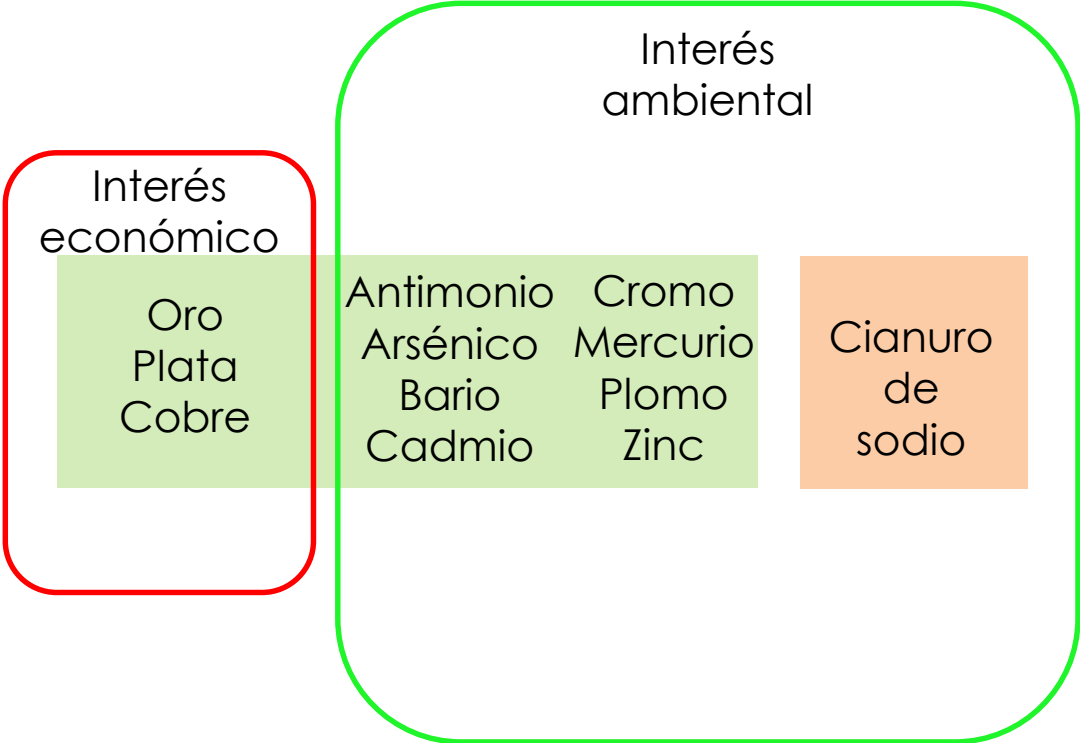
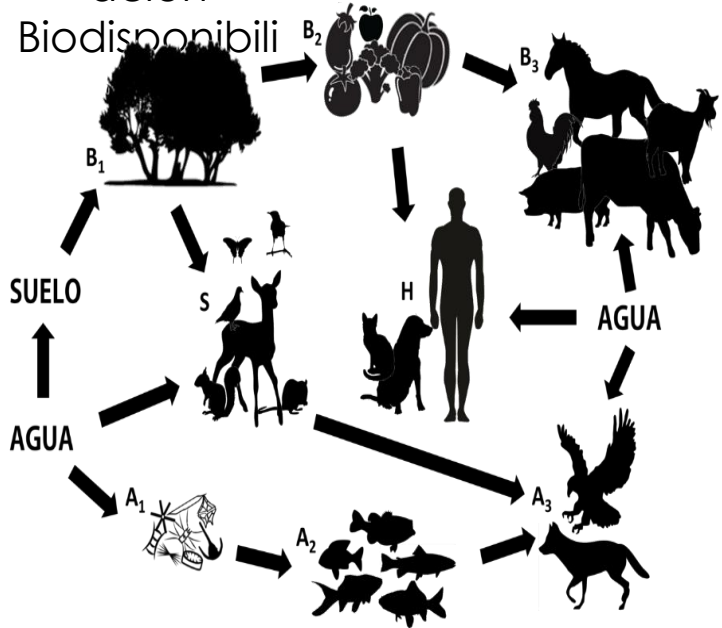


pH y conductividades extremas asociadas a zonas mineras



IMPLICACIONES DEL DAM

Bioacumulación
 Biomagnificación
 Biodisponibilidad



Interés económico

- Oro
- Plata
- Cobre

Interés ambiental

- Antimonio
- Arsénico
- Bario
- Cadmio
- Cromo
- Mercurio
- Plomo
- Zinc

- Cianuro de sodio



Elemento extraído



Elemento introducido



Elemento	Límite internacional	Referencia	Valor detectado (mayor)	Lugar	Efectos adversos reconocidos
Antimonio (Sb)	-	-	33,59%(*)	Manifestación El Orinoco (antimonio)	Neumoconiosis, degeneración del miocardio, infertilidad, cáncer, genotóxico
Arsénico (As)	1 ppb (agua) 2-4 ppm (suelo) 100 µg/m ³ (aire)	ATSDR (MRL)	7000 ppm	Manifestación El Orinoco (antimonio)	Encefalopatías, cáncer, daños gastrointestinales, daños en vejiga y riñones
Bario (Ba)	0,2 mg/kg/día	ATSDR (MRL)	2000 ppm	Manifestación Bermellón	Hipopotasemia, daños en riñones
Cobre (Cu)	10 - 12 mg/día	OMS	300 ppm	Mina abandonada San Antonio CB-2493 y Manifestación Bermellón	Convulsión, anemia, daños en hígado y riñones
Cromo (Cr)	100 µg/L (agua)	ATSDR (MRL)	500 ppm	Mina abandonada San José CB-2496	Alteraciones respiratorias, lesiones intestinales, anemia, infertilidad, afectación al sistema inmunológico, cáncer (VI)
Plomo (Pb)	40 µg/dL (sangre)	NCBI - NIH	150 ppm	Manifestación El Orinoco (antimonio)	Encefalopatías y neuropatías, infertilidad, hipertensión, daños a riñones

Fuentes:

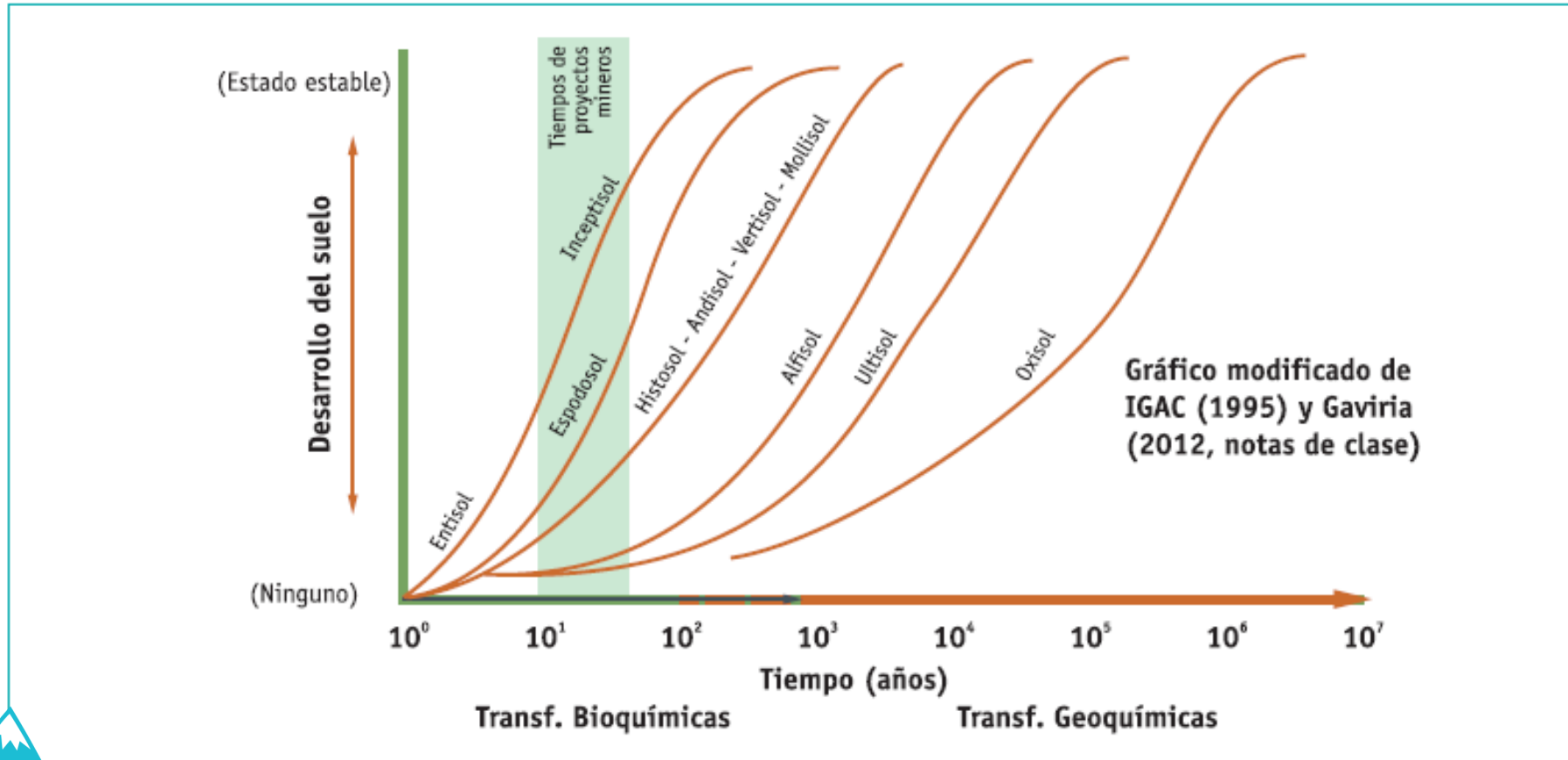
- INGEOMINAS (1975) Ocurrencias minerales en la región central del departamento del Tolima
- INGEOMINAS (1985) Reconocimiento regional para mineralizaciones de oro diseminado en tres zonas de los departamentos de Caldas, Quindío y Tolima, Colombia
- Medlineplus (Copper toxicity)
- ATSDR ToxGuides

¿y el tiempo?
¿y los tiempos?



TIEMPOS DE TRANSFORMACIONES EN LAS ROCAS EXPUESTAS AL AIRE

Figura 21. Duración de procesos geoquímicos



Notas: los tiempos bioquímicos de formación de los suelos menos evolucionados a través de los procesos de meteorización son del orden a años a centenas de años; los procesos geoquímicos son del orden de miles a decenas de millones de años.

Fuente: IGAC (1995) y Gaviria (notas de clase, 2012)

EL IMPACTO DE LA MINERÍA EN LAS AGUAS: En la cantidad y en la calidad



AMBIENTE - La geología: agua y paisaje

Las montañas existen.
Son una masa de árboles y de agua,
de una luz que se toca con los dedos,
☒ de algo más que todavía no existe.
Jaime Sabines



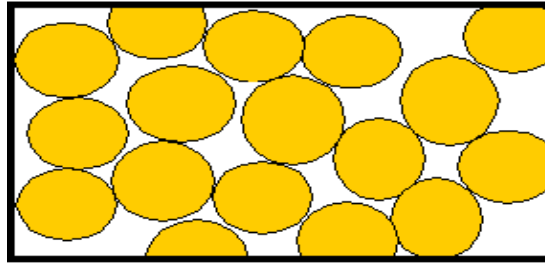
Acuíferos

(A) Poros entre los granos, el contenido de agua puede ser hasta del 30% de su volumen total

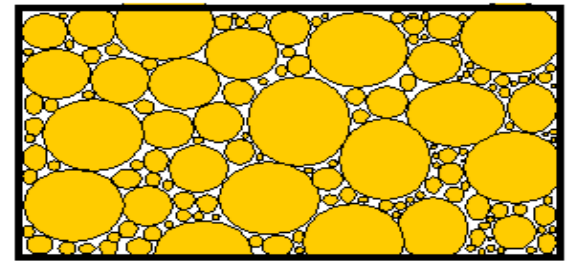
(B) En rocas muy compactas, la porosidad puede ser del 5%

(C) El agua subterránea se encuentra en las fracturas y normalmente no sobrepasa el 1% del volumen de la masa de roca.

(D) Estas fracturas tienden a agrandarse por disolución para formar fisuras y cavernas.



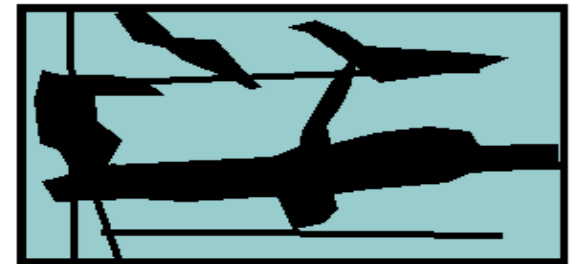
A



B



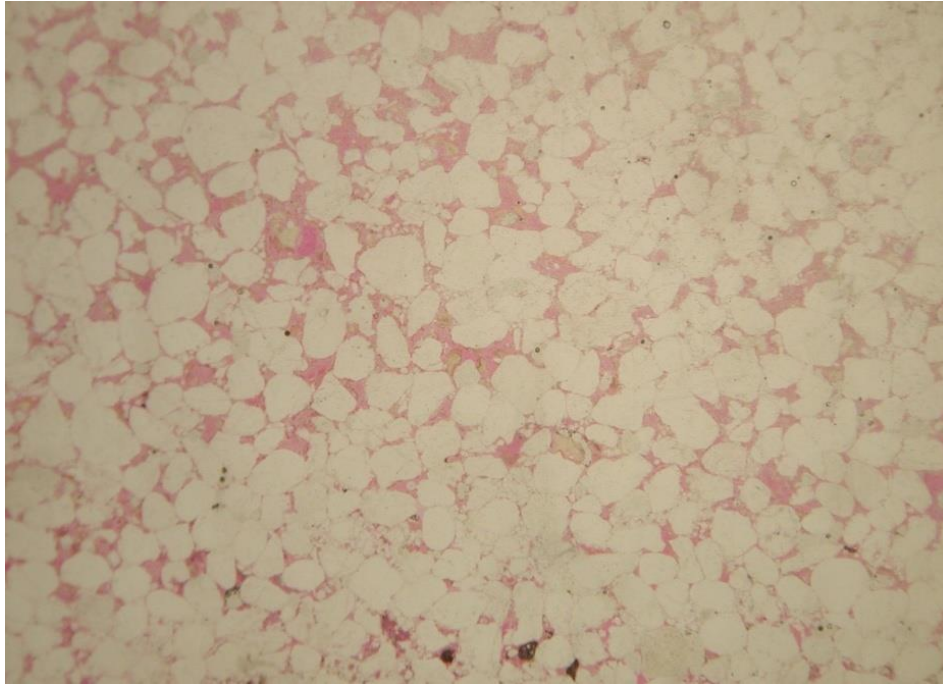
C



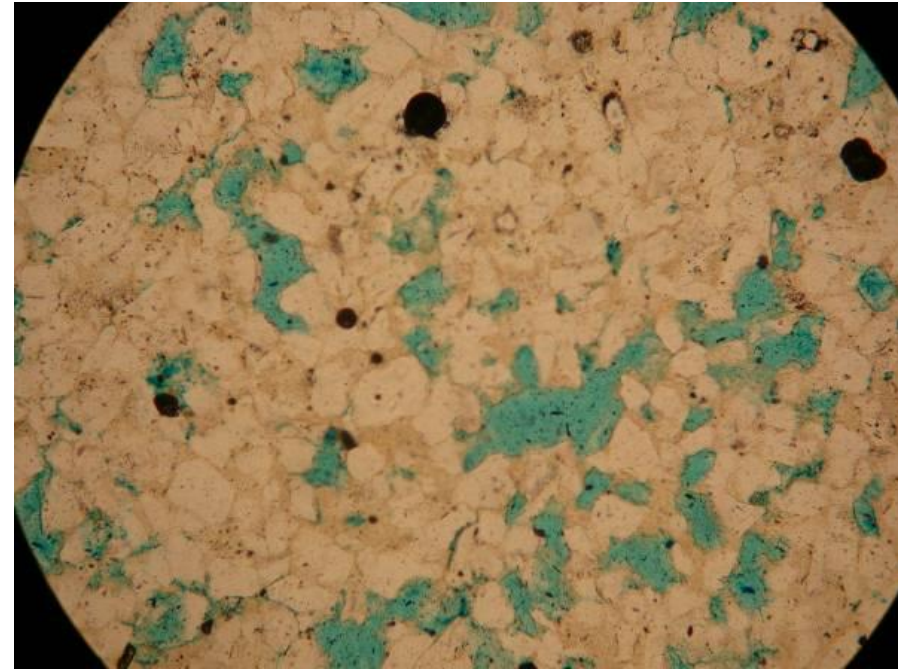
D

Acuíferos: por existencia de poros en la roca

(A) Poros entre los granos, el contenido de agua puede ser hasta del 30% de su volumen total



Sección delgada arenisca de la Fm. Arenisca
Tierna- Cantera Soratama (Usaquén)



Sección delgada arenisca Dura. Sector El
Charquito (Soacha)

Función de la GEA

Bienes naturales: agua, nutrientes, paisaje



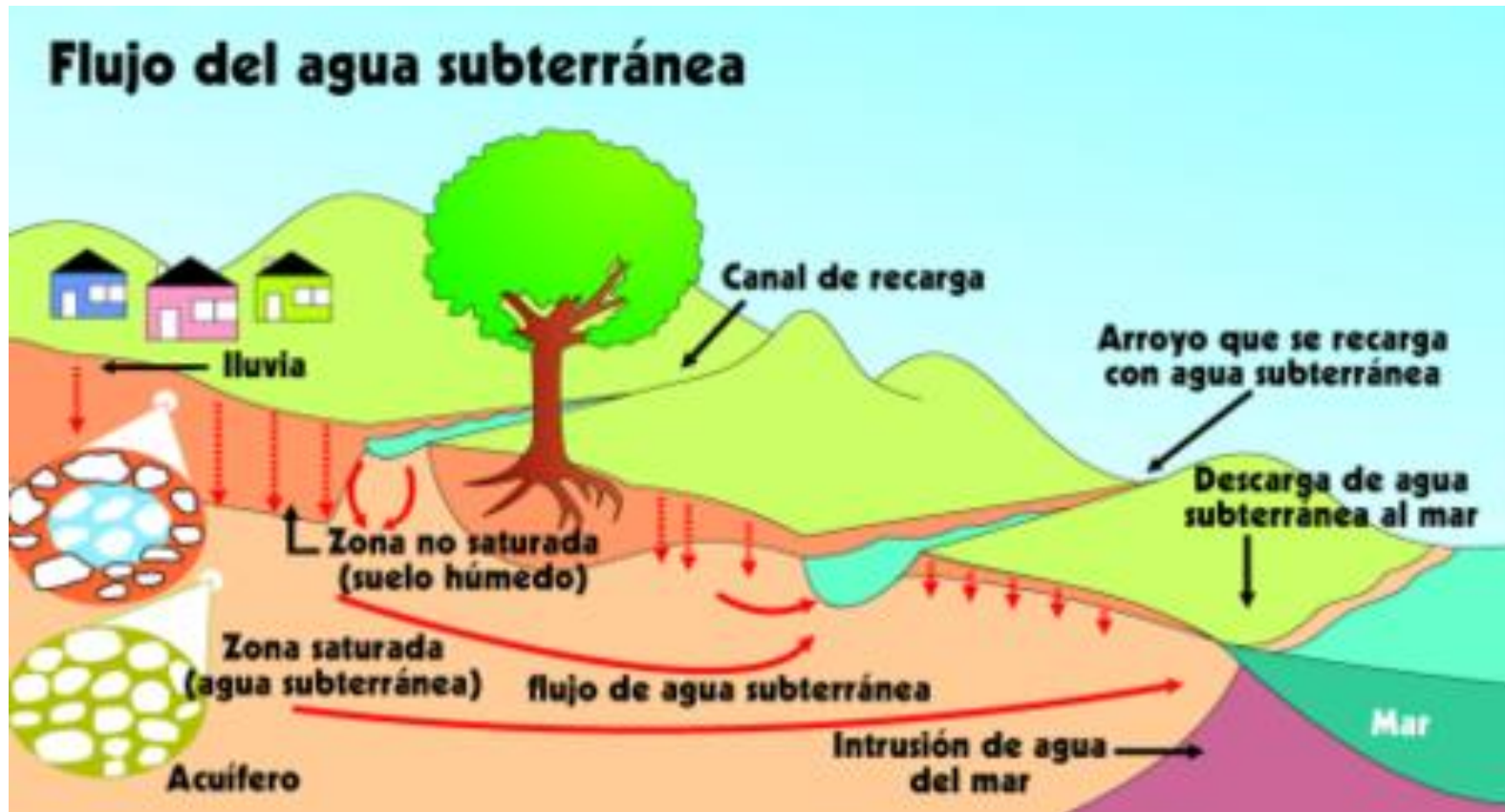
Afloramiento de aguas subterráneas en los tajos de la Fundación San Antonio, Tunjuelo, Bogotá
(Fotografía tomada del ajuste al PMA elaborado por Ingetec (2007) para la FSA)

Acuíferos: por existencia de fracturas en la roca



Rocas ígneas precámbricas muy fracturadas (Granitos en Mitú, Vaupés)

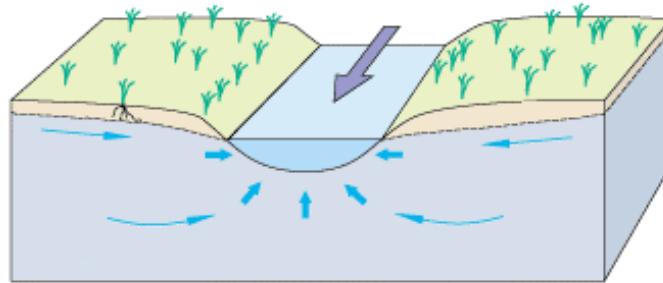
El nivel freático (o napa freática)



Por debajo de cierto nivel (que se denomina freático), cualquier espacio en rocas o suelos, sean poros o fisuras, estarán llenos de agua. En ese caso, la saturación con el agua subterránea impedirá la entrada de aire.

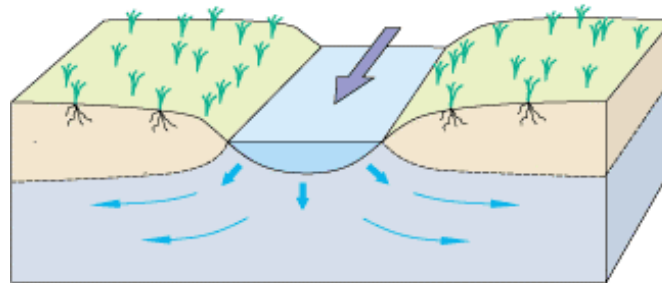
Relación entre agua superficial y subterránea

Efluente



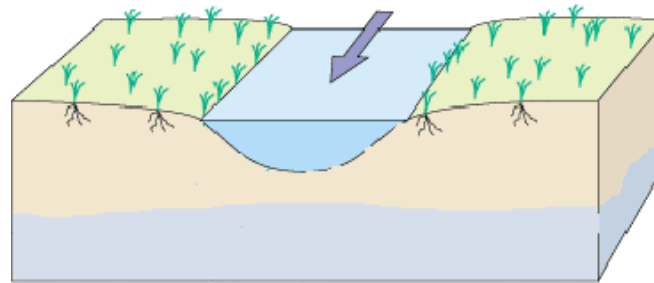
El río gana agua del medio subterráneo.

Influente



El río pierde agua al medio subterráneo.

Independiente



El río no tiene conexión con el agua del medio subterráneo.

Argumentar sobre el acuífero como elemento fundamental del ecosistema



umweltbundesamt^U

Qualität & Quantität von Grundwasser in Europa



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme

Maria Avramov, Susanne I. Schmidt, Christian Griebler (München), Hans Jürgen Hahn und Sven Berkhoff (Landau)

Zusammenfassung

Unser tägliches Leben hängt von den Dienstleistungen der unterschiedlichsten Ökosysteme ab. Einen wichtigen Beitrag liefern unsere Grundwasserökosysteme. Sie gewährleisten die Reinigung des Grundwassers bis zur Trinkwasserqualität, eine aktive Speicherung von sauberem Wasser in gleichbleibender Qualität, den biologischen Schadstoffabbau, die Eliminierung von pathogenen Mikroorganismen die Integrität des Wasserhaushalts und vieles mehr. Diese Dienstleistungen werden nicht zuletzt von den vielfältigen Lebensgemeinschaften in den Grundwasserleitern getragen. Um diese Dienstleistungen dauerhaft zu erhalten, ist ein guter ökologischer Zustand unserer Grundwasserlebensräume Voraussetzung.

Schlagwörter: Gewässerschutz, Grundwasser, Ökosystem, Dienstleistung, Trinkwasser, Schadstoffabbau, biologisch, Mikroorganismen, pathogen, guter ökologischer Zustand

DOI: 10.3243/kwe2010.02.001

Abstract

Services Provided By Groundwater Ecosystems

Our daily lives depend on the provision of services by different ecosystems. An important contribution is made by our groundwater ecosystems. They make sure that groundwater is purified until it reaches drinking water quality; they ensure an active storage of clean water of constant quality, the biological degradation of pollutants, the removal of pathogenic microorganisms, the integrity of water supply, and many other things. These services are provided, last but not least, by a great variety of biocenoses in groundwater aquifers. To ensure the provision of these services in the long run requires a good ecological status of our groundwater habitats.

Key words: water pollution control, groundwater, ecosystem, service, drinking water, degradation of pollutants, biological, microorganisms, pathogenic, good ecological status

Grundwasser in Deutschland



Los acuíferos como elementos fundamentales del ecosistema

Preface: hydrogeoecology, the interdisciplinary study of groundwater dependent ecosystems

Peter J. Hancock · Randall J. Hunt ·
Andrew J. Boulton

Keywords Ecology · Collaborative research ·
Groundwater/surface-water relations · Wetlands ·
Microbial processes

Although we are still developing our understanding, there is increasing recognition that groundwater is essential to many ecological communities. Groundwater is a connector, not just in the aquifer itself, but within, across, and between surface waters and many terrestrial ecosystems.

ecosystems. Moreover, the same location in space can have all three types of flows at different periods of time. Surface ecological processes (such as evapotranspiration) can significantly impact hydrological responses and related hydrochemical function. Thus, the relation of groundwater ecology is a feedback of through which natural ecosystems.



Daño ambiental: "el acuífero puelche"

por ALFREDO EDUARDO ISOLA
2006

www.saij.jus.gov.ar

Id Infojus: DACC060005

Este trabajo pretende aportar ideas acerca de la necesidad de la toma de conciencia respecto de no comprometer el recurso agua, de vital importancia para la vida, para con las generaciones futuras.



Consideraciones conceptuales

"Los acuíferos son sistemas abiertos que están en estrecho contacto con los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos que les son vecinos. Éstos dependen directamente de una cantidad suficiente de agua subterránea y de una buena calidad de la misma"

"...Con base en conocimientos científicos actuales es indiscutible que un ecosistema de agua subterránea y sus ecosistemas vecinos deben estar en un estado "saludable" para garantizar un agua subterránea inofensiva, saludable e higiénica" (Subrayados fuera de texto)

Como consecuencia de las características propias de estas aguas:

"Cada gota de agua subterránea "saludable" contiene entre 10 y 100 veces menos bacterias que una gota de agua de lago o río. A pesar del escaso número de organismos, las bacterias son responsables y cruciales para los flujos esenciales de sustancias y energía así como por la limpieza del agua"

Avramov, M., Schmidt, S. I., Griebler, C., Hahn, H. J., & Berkhoff, S. (2010). Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 74-81.

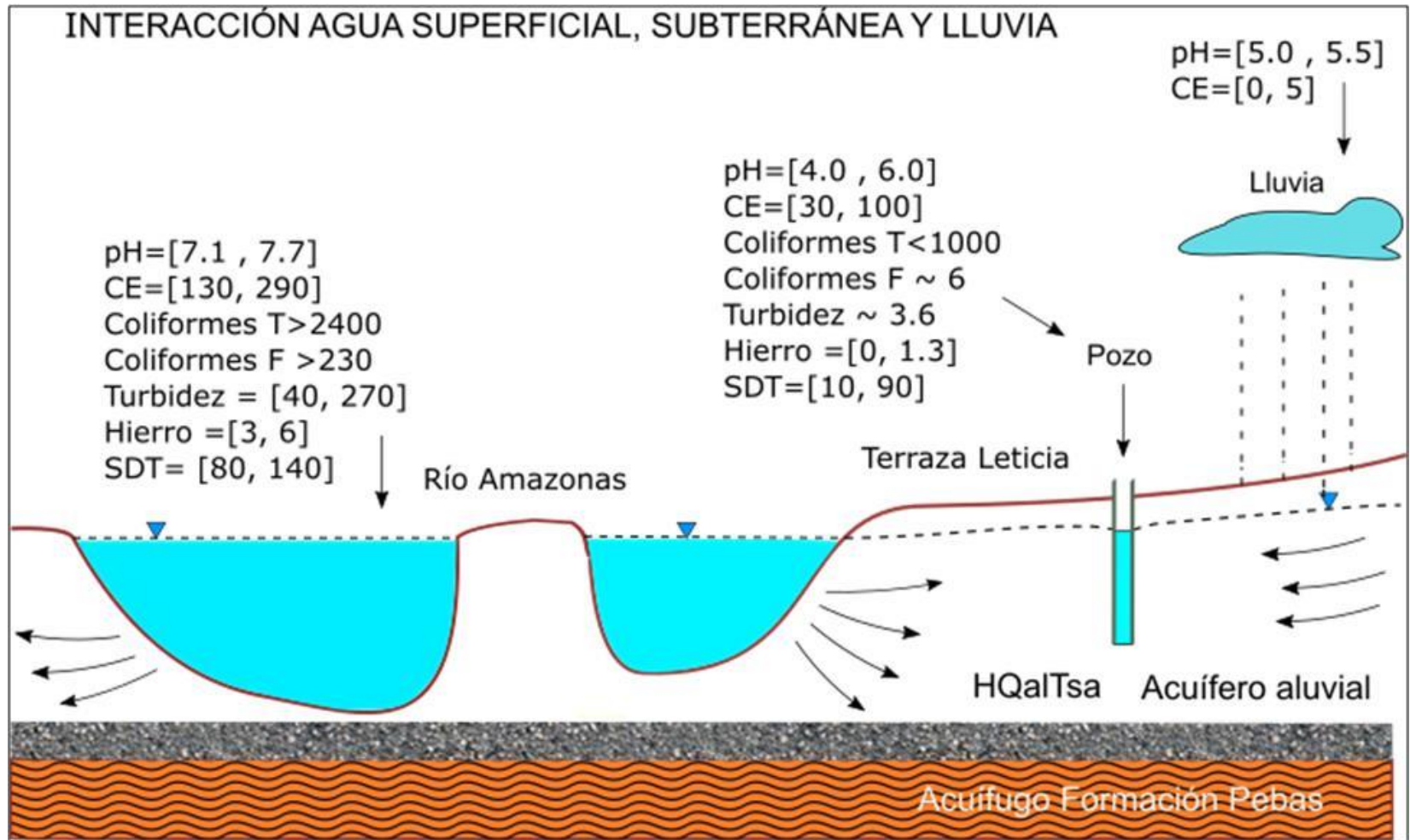
Consideraciones conceptuales

- Los principales servicios ecosistémicos, para los autores, son:
 - **Servicio de limpieza de agua superficial:** Mediante la mineralización de compuestos orgánicos que realiza la microfauna. Depende de dos factores: Tiempo de permanencia del agua y volumen de ésta
 - **Producción de agua potable:** El acuífero no sólo transforma sino que conserva el agua en estado potable, lo cual no ocurre en superficie, donde después de horas o días, el agua deja de serlo por factores ambientales
 - **Reducción de contaminantes:** El proceso de autolimpieza puede eliminar o reducir drásticamente concentraciones de, entre otros, “disolventes clorados, derivados del petróleo, fármacos, explosivos e incluso metales pesados”
 - **Regulación de nutrientes:** Nutrientes inorgánicos como nitratos y fosfatos son atenuados y disueltos en acuíferos, previniendo eutrofización de cuerpos de agua superficiales (lagos, ríos y pantanos)
 - **Eliminación de patógenos:** Microorganismos patógenos y virus (heces de ganado) son asimismo “disminuidos drásticamente” a través del proceso de autolimpieza biológica (Biologische Selbstreinigung)
 - **Sostenimiento de fauna y porosidad:** Si el acuífero está en buen estado, la microfauna impide la colmatación y cierre de poros de la roca por sustancias externas, lo cual preserva la conductividad del mismo



Avramov, M., Schmidt, S. I., Griebler, C., Hahn, H. J., & Berkhoff, S. (2010). Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 74-81.

Consideraciones conceptuales

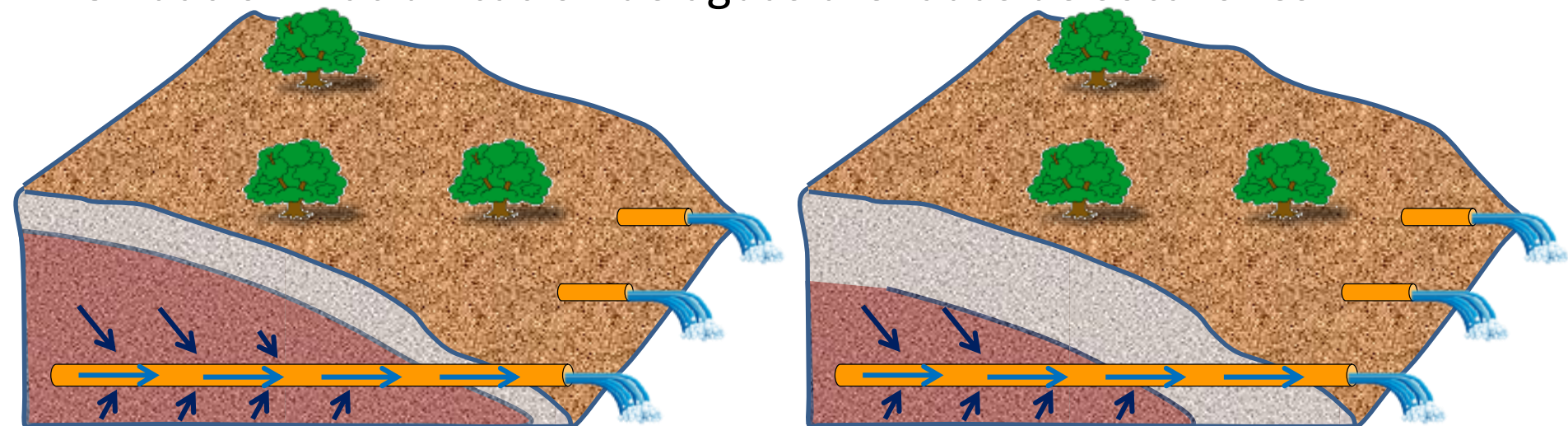


COMPROBACIONES EMPÍRICAS DEL CARÁCTER DEPURADOR DE LOS ACUÍFEROS, EN EL CASO DE LOS QUE CONFORMAN LAS RIBERAS DEL RÍO AMAZONAS EN INMEDIACIONES DE LETICIA. NÓTENSE LOS DATOS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN COMPARACIÓN CON LOS DEL RÍO. FUENTE: SHI (2015).

Minería de carbón.

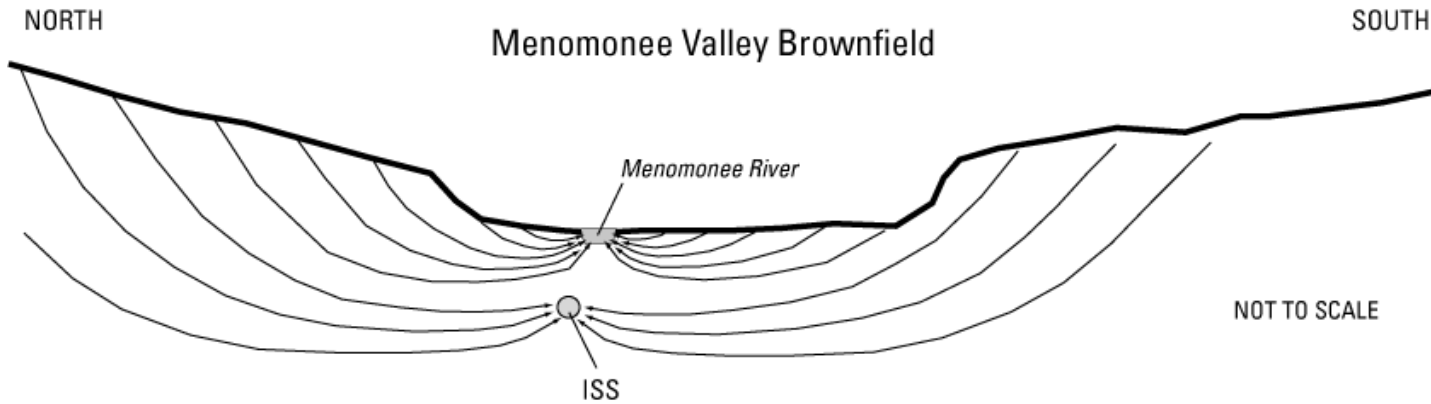
Alta montaña cundiboyacense

- AFECTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
- Profundización del nivel de agua subterránea?
- Cambios en la dirección de flujo del agua subterránea
- Afectación a los pozos o aljibes de fincas cercanas y a los manantiales, ríos y quebradas.
- Oxidación – acidificación de aguas drenadas de socavones.

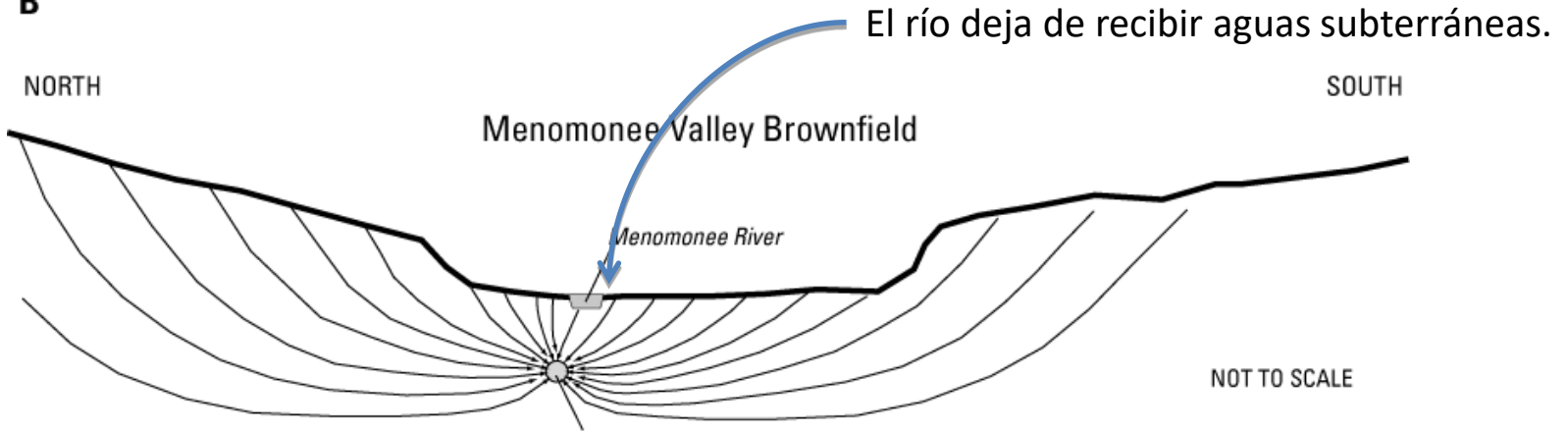


El movimiento de las aguas subterráneas: de mayor a menor presión.

A



B

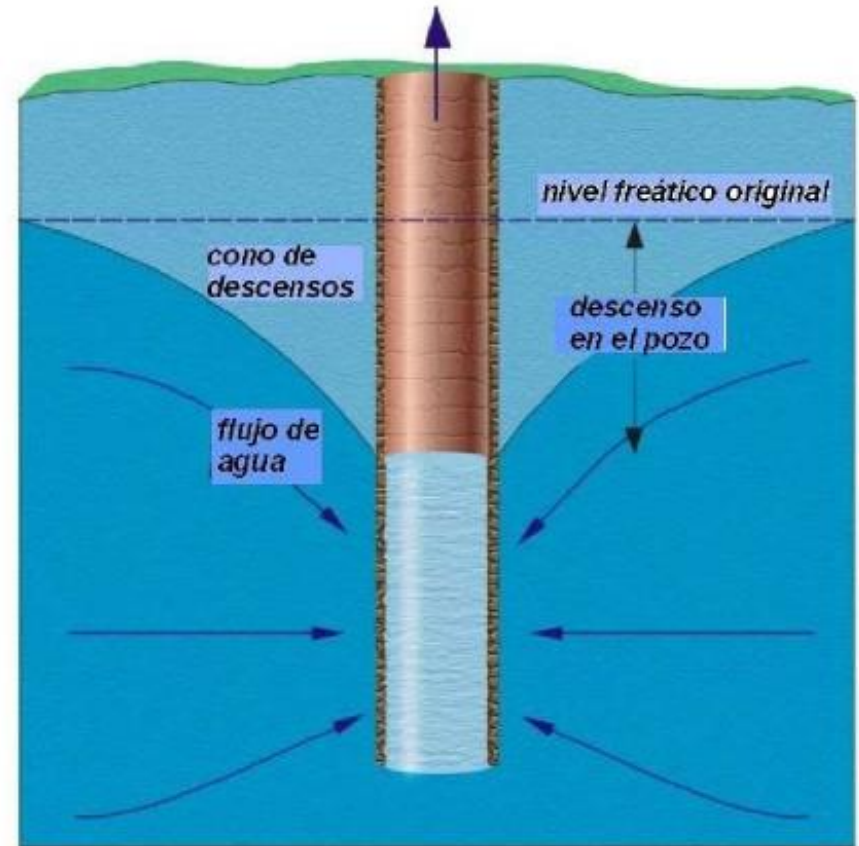


<http://pubs.usgs.gov/sir/2004/5031/>

Los túneles y galerías, así como las perforaciones (a una menor escala), “halan” las aguas subterráneas hacia ellas, modificando completamente el sistema regulatorio hídrico, secando fuentes de agua y manantiales.

Abatimiento (profundización de niveles freáticos por pozos de extracción de aguas)

Esquema del cono de descensos producido al bombear agua desde un pozo perforado en un acuífero libre.

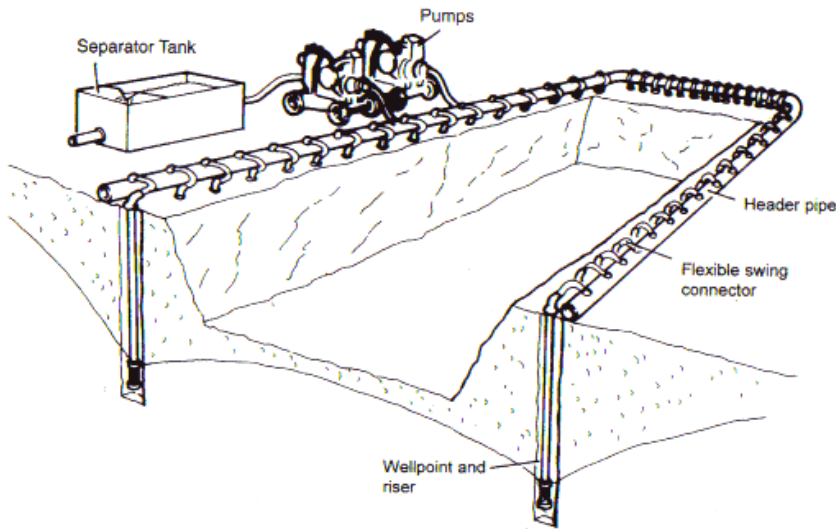


UK Groundwater Forum

Modificado de UK-Groundwater Forum:
"Groundwater, our hidden asset". BGS.

Despresurización de la pared alta en los tajos mineros, con abatimiento del nivel freático

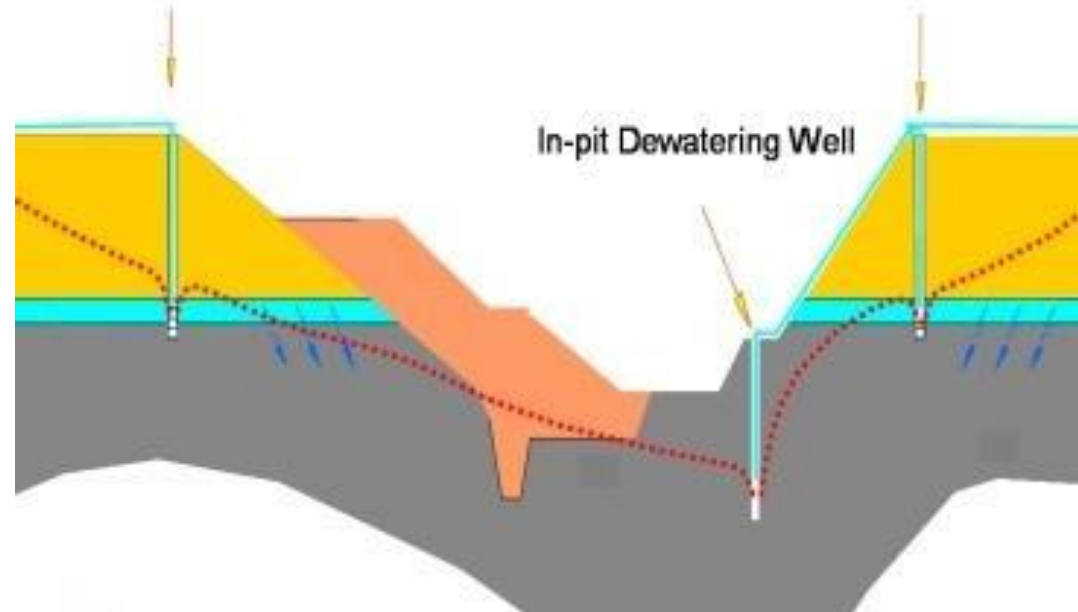
Typical Wellpoint System



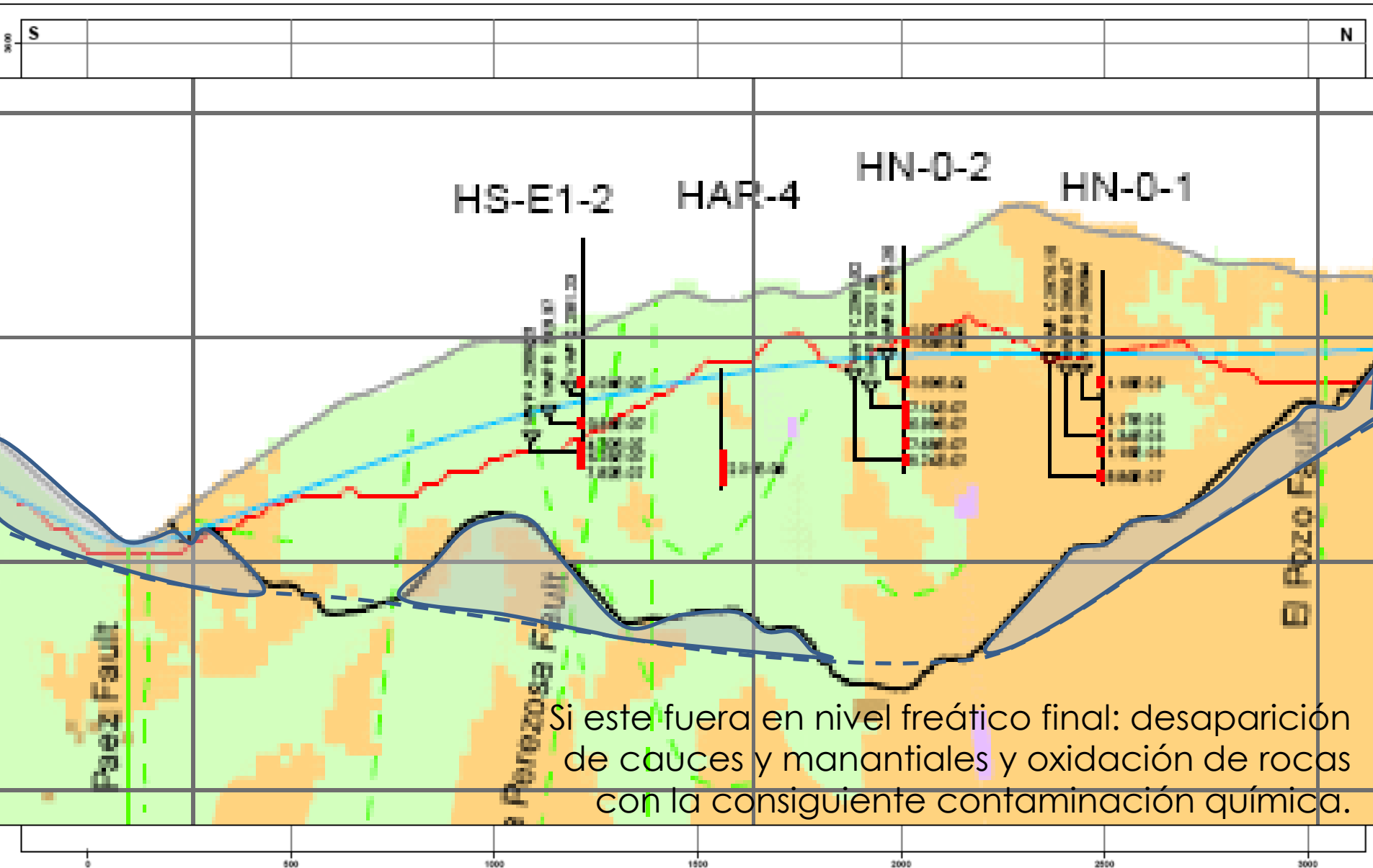
Peripheral Dewatering Well

Peripheral Dewatering Well

In-pit Dewatering Well

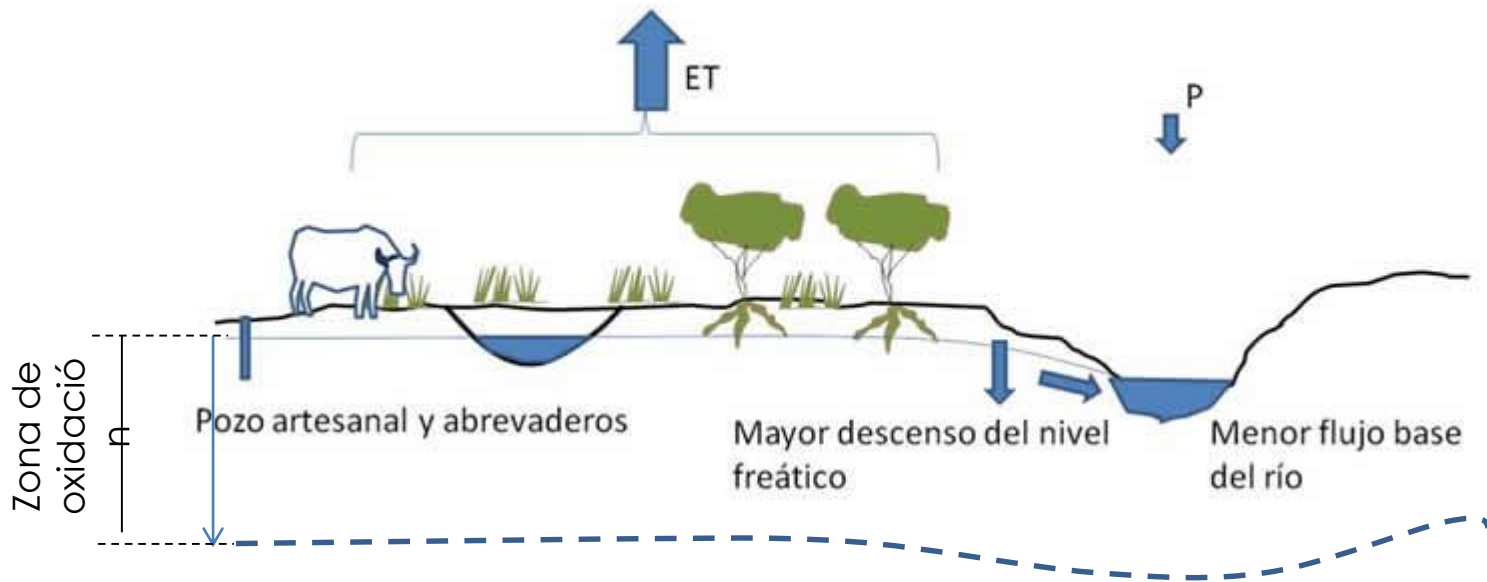


Amenazas - Minería: el impacto y la irreversibilidad



Modificado sobre gráfica del Estudio Hidrogeológico Greystar Proyecto

CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS GLOBALES EN EL CLIMA: Profundización del nivel freático en zonas con aumento de T°



Nivel freático que se abate por aumento de T° y disminución de precipitación

Geomorfología fluvial

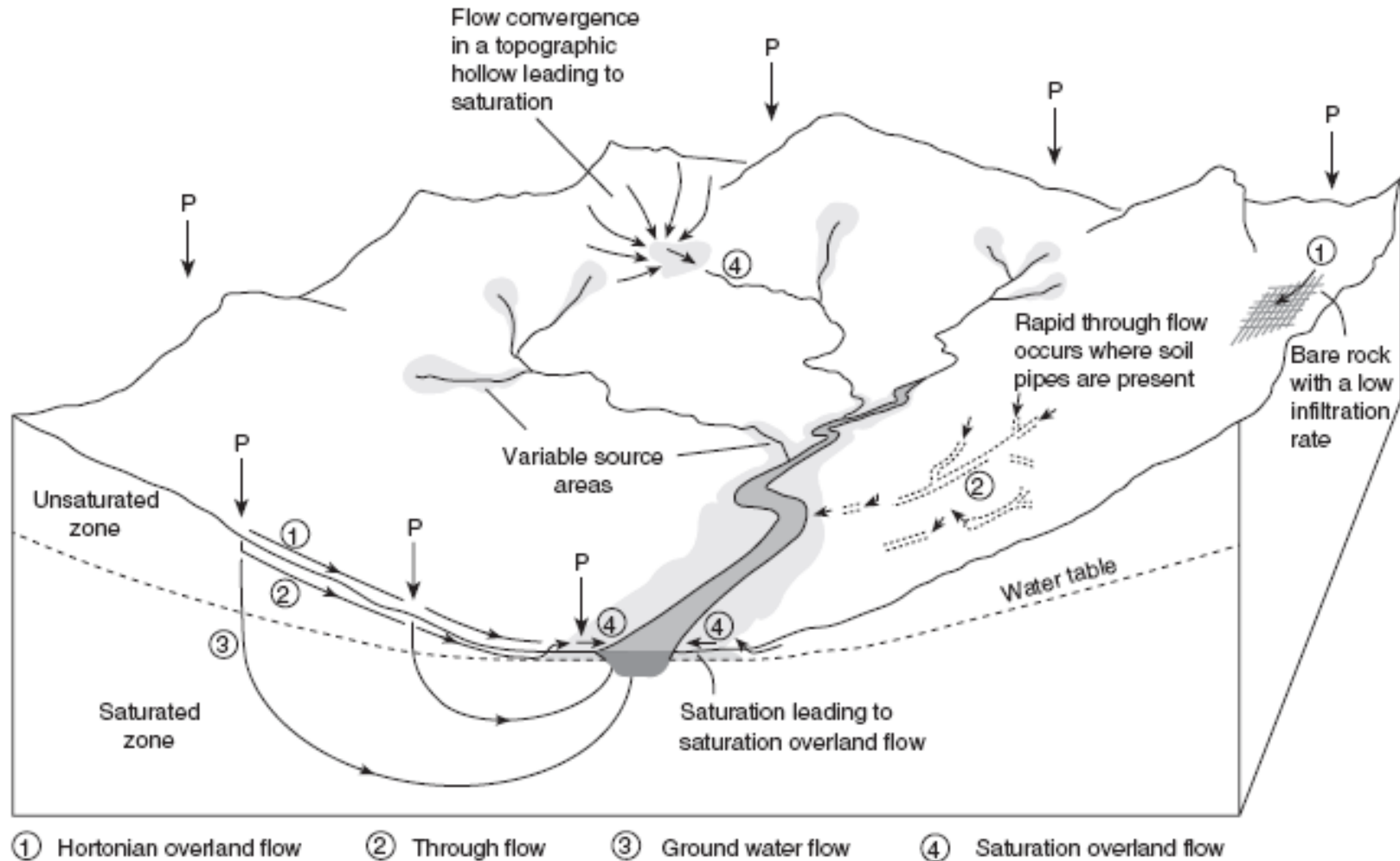


Figure 3.1 Surface and subsurface hydrological pathways.

Tomado de Charlton, 2008.

Especies químicas tóxicas usadas por los explotadores mineros de oro: EL CIANURO



LOS DATOS DE LA CONTAMINACIÓN DE UN PROYECTO MINERO A CIELO ABIERTO (Greystar, 2009)

- 2383 toneladas al mes de lechada de cal adicionada sobre la banda (Lixiviación).
- **1033 toneladas al mes de cianuro de sodio (Lixiviación).**
- 170 toneladas al mes de cemento portland. (Aglomeración).
- 7 toneladas al mes de tierra diatomea (Merrill Crowe).
- 10 toneladas al mes de polvo de zinc (Merrill Crowe).
- 42 toneladas al año de Borax (Fundición).
- 7 toneladas al año de Nitrato de Potasio (Fundición).
- 47 t/año de floculante (para espesadores).
- 235 toneladas al mes de cal (Aglomeración).
- 15 toneladas al año de reactivos PAX y MIBC (Flotación).

PAX: Xanthato Amilico Potasico

MIBC: Metil Ixobutil Carbinol



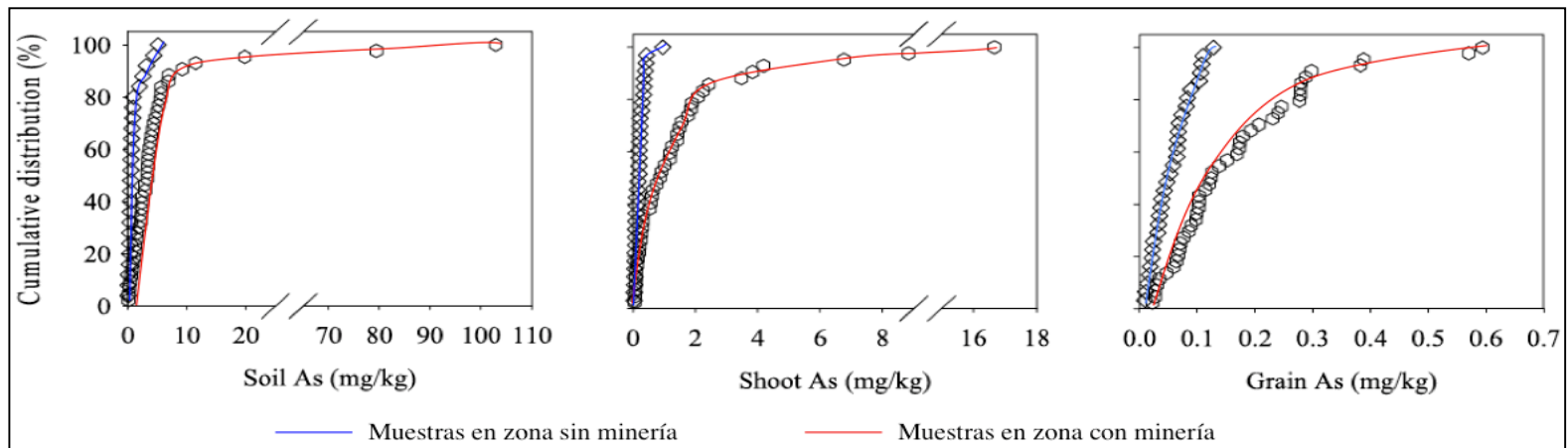
Amenaza sobre la calidad de aguas
superficiales y subterráneas

Empresa	Ubicación	Fecha	Descripción	Fuente
AGA	Amapá-Brasil	1999	En 1999 lluvias fuertes desenterraron centenares de tambores de cianuro de sodio en Amapá, Brasil, en terrenos de una mina asociada al Grupo AngloGold/Anglo American. Hubo muertos, pero nadie se hizo responsable.	http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/ARTICULOS/FUENTESOCTUBRE2006.pdf
Newmont Mining	Nevada-USA	Mayo 2002	24000 galones de solución cianurada fueron derramados en la Mina Twin Creeks. En 2002, ocurrieron dos accidentes, uno de casi 6 toneladas de cianuro y otro de 230.000 metros cúbicos de solución cianurada	http://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/agua-cianuro-y-mineria-del-oro-30-anos-de-accidentes
AGA, Rand Gold Resources y Gob. de Mali	Morila- Malí-África	Marzo 2003	El 16 de marzo de 2003 se produjo un derrame de relaves en Morila, produciendo una fuga desde el predio minero hasta terrenos públicos. El volumen del derrame se estimó en 2082 m ³ .	http://www.icmm.com/document/149
Gold Fields Limited	Wassa West District-Ghana	Mayo 2003	Un derrame de cianuro se produjo en la mina de oro de Tarkwa en el Distrito Wassa West, cuando material químico peligroso fue derramado de una de las tres tuberías construidas.	http://www.rainforestinfo.org.au/gold/spills.htm
AGA	Obuasi-Ghana	2005	El vocero de AngloGold Ashanti Alan Fine declaró a BBC News website que se presentaron dos derrames de cianuro de dos piscinas contenedoras que están siendo limpiados por la compañía.	http://news.bbc.co.uk/2/hi/africa/7103114.stm
Barrick Gold Corp.	Mina de oro North Mara (Tanzania)	2009	La rotura de una presa de relaves, produjo un gran vertido que alcanzó las aguas del río Thigithe. El desastre devastó los ecosistemas de la zona y costó la vida a veinte personas.	http://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/agua-cianuro-y-mineria-del-oro-30-anos-de-accidentes
Newmont Mining	Ahafo gold mine-Rep. de Ghana-África	Octubre 2009	Un Panel Ministerial evaluó el derrame de cianuro y sus secuelas y manifestó que la empresa sería multada por no prevenir el derrame o por no informar adecuadamente sobre el derrame.	http://nodirtygold.earthworksaction.org/voices/wassa_ghana#.Vmyl8Ep96M8

DERRAMES DE CIANURO. RELACIONADOS CON EMPRESAS SUSCRIPTORAS DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE MANEJO DE CIANURO.

Contaminación de agua, suelo y arroz. La zona minera de AGA en Ghana (Africa)

Estudio en distritos arroceros en zonas con influencia de minería y zonas sin influencia de minería con el propósito de estimar las variaciones en las concentraciones de arsénico y otros elementos potencialmente tóxicos.



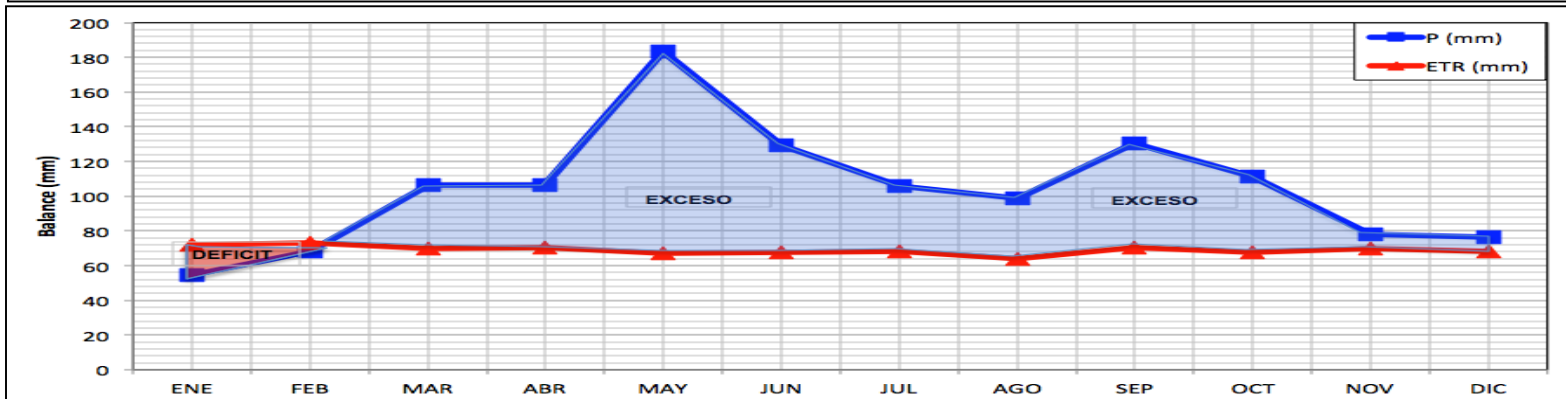
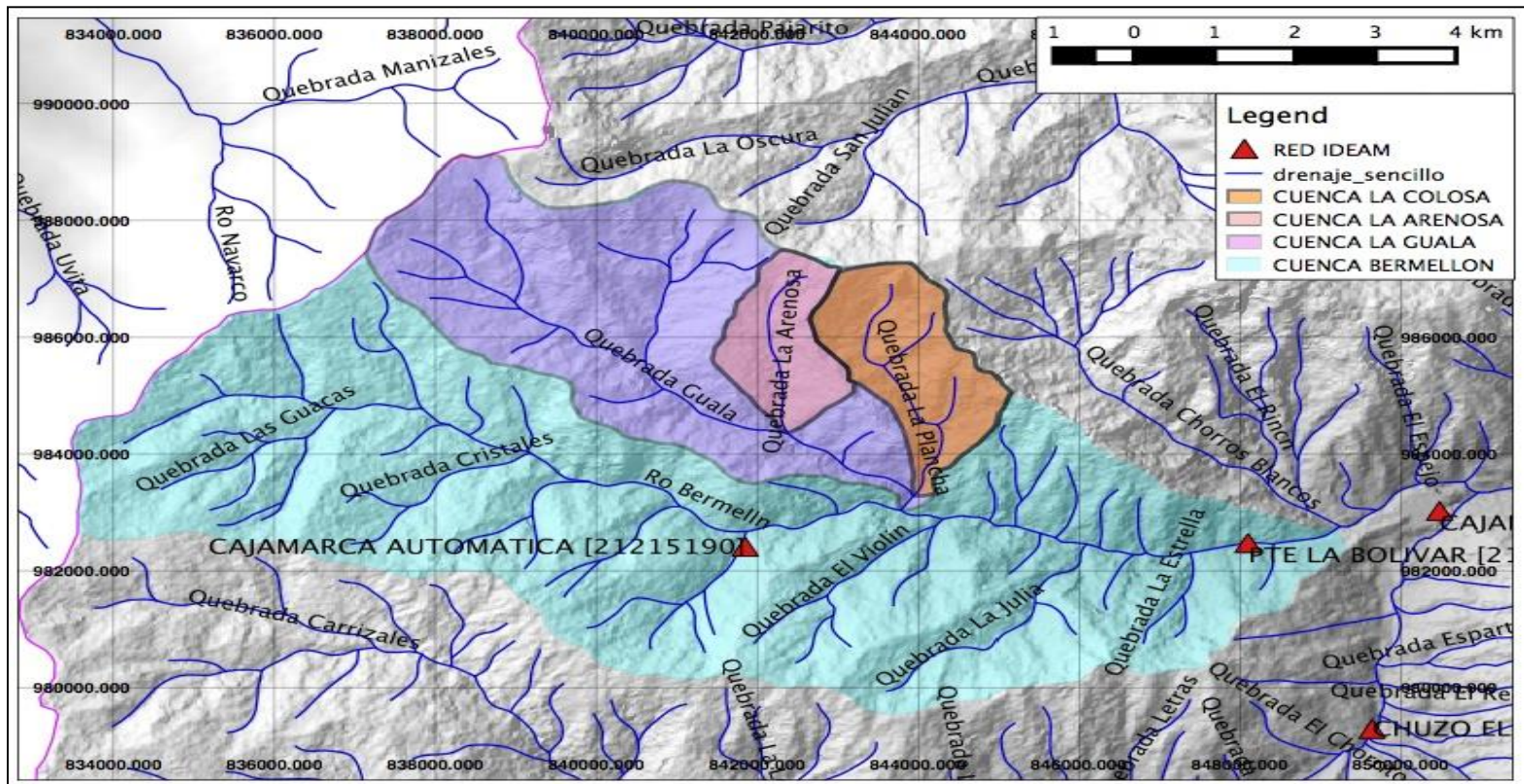
Área de influencia de minería:

- Aumento de de 5 a 6 veces en la concentración media de arsénico en suelos
- Aumento de de 4 a 5 veces en la concentración media de arsénico en plantas
- Aumento de de 3 veces en la concentración media de arsénico en el **grano de arroz**

LOS EVENTUALES PROBLEMAS POR USO DEL AGUA EN LA EXPLOTACIÓN MINERA



Hidroclimatología



LAS PRESAS DE RELAVES: UNA AMENAZA DE GRAN MAGNITUD



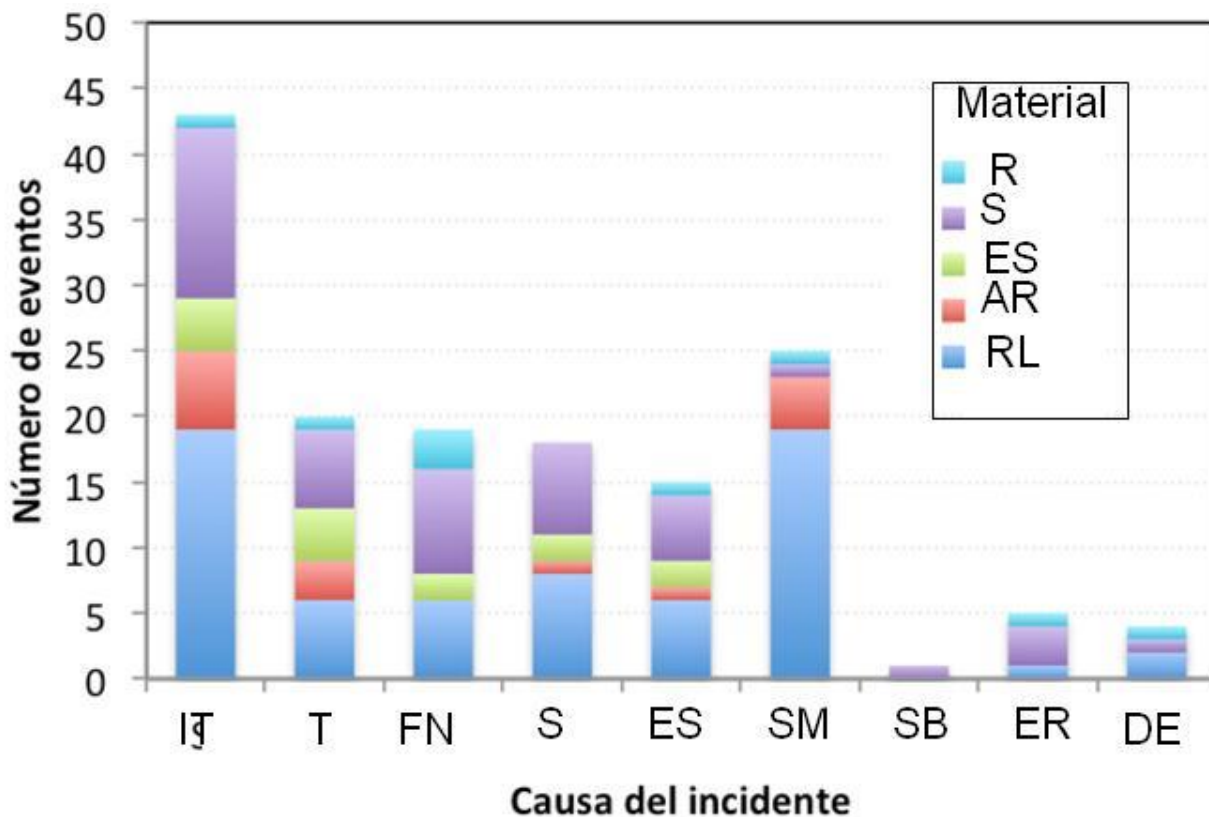
Fallas y accidentes por rotura de presas mineras

Causa	
IT	Inestabilidad del Talud
T	Tubificación
FN	Fundación
S	Sobre paso
ES	Estructural
SM	Sismo
SB	Subsidencia
ER	Erosión
DE	Desconocida

Material	
RL	Relaves
AR	Arena de relaves
ES	Desechos rocosos
S	Suelo
R	Roca

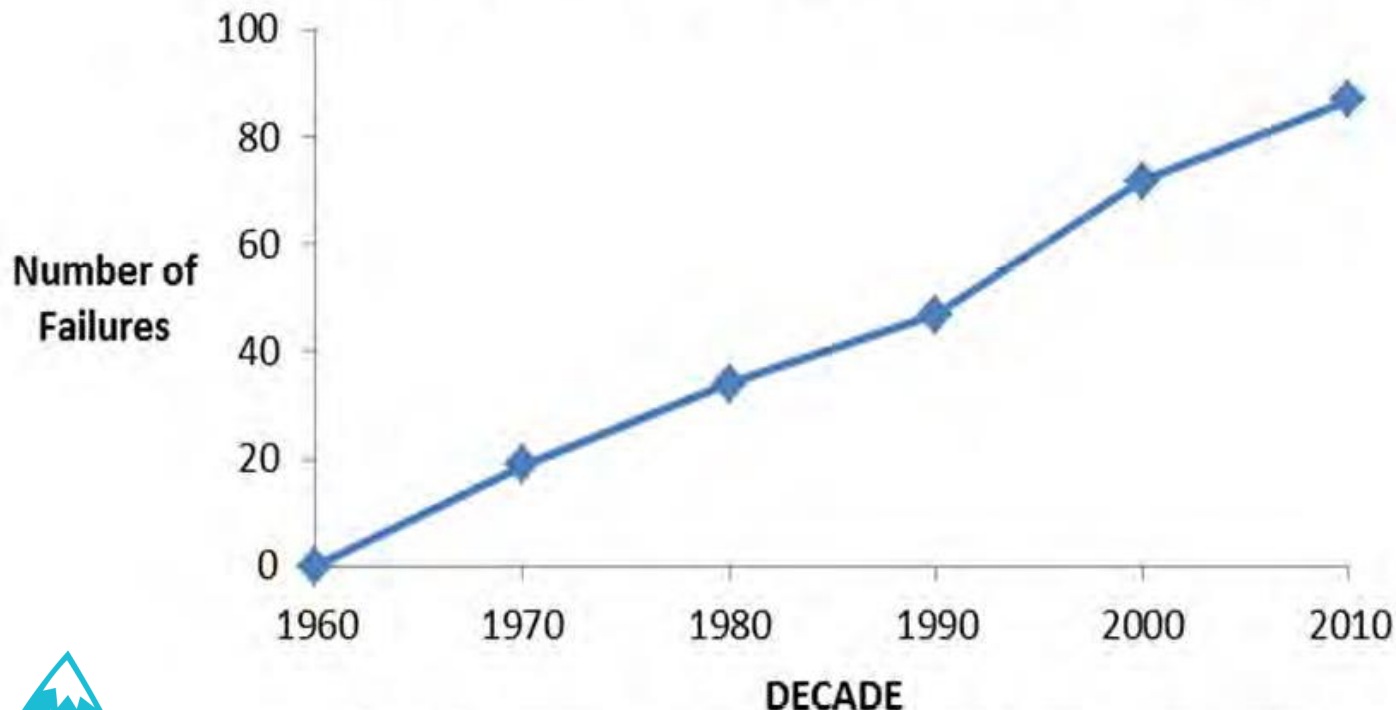
Las fallas de presas de relaves son relativamente frecuentes en el mundo y desde 1970 se han registrado 70 eventos principales, los cuales han resultado en daños sobre los ecosistemas, en tierras de cultivo y en impactos sobre las comunidades, incluyendo la pérdida de **más de mil vidas humanas** (WISE, 2011, en Hudson-Edwards, K., Jamieson, H. & Lottermoser, B. (2011) Mine Wastes: Past, Present, Future)

El porcentaje de fallas por sismo es del 16%, las causas restantes son atribuibles a fallas en diseño y construcción, es decir, a las empresas mineras.



Fallas y accidentes por rotura de presas mineras

Tailings Dam Failures 1960-2010



Data from www.wise-uranium.org/mdaf as of 22Mar11

Las fallas de presas de relaves en todo el mundo, son cada vez más frecuentes.



Mariana, Brasil,
2015
18 muertos, 15
desaparecidos

Contaminación con cianuro y arsénico: Sin información en mina clausurada operada por AGA en Brasil

RECURSOS MINERAIS
&
Sustentabilidade Territorial

Vol. I Grandes Minas

Editores:

*Francisco Rego Chaves Fernandes
Maria Amélia Rodrigues da Silva Enrique
Renata de Carvalho Jimenez Alamino*



Apresentação

A publicação desse livro é o resultado do projeto 'Grandes Minas e APLs de base mineral x Comunidade Local', onde foram realizadas campanhas na forma de estudos de caso sobre o desenvolvimento socioeconômico das comunidades locais e de entorno das regiões onde ocorrem atividades mineradoras.

A pesquisa, patrocinada pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia (MME) e pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), teve como objetivo destacar se as atividades minerais - grandes minerações e Arranjos Produtivos Locais - atualmente instalados e em operação no Brasil, geram benefícios sustentáveis líquidos para as suas comunidades.

Uma ampla rede temática de pesquisa foi instituída a partir da congregação de especialistas de diferentes instituições (universidades e centros de pesquisas), reforçando o nosso compromisso com questões tão atuais quanto os recursos minerais, o desenvolvimento sustentável, o desenvolvimento regional e o meio ambiente.

Rio de Janeiro, novembro de 2011

José Farias de Oliveira
Diretor do Centro de Tecnologia Mineral

Contaminación con cianuro y arsénico: Sin información en mina clausurada operada por AGA en Brasil

A Grande Mina de Ouro de Crixás em Goiás

Francisco Rego Chaves Fernandes¹

Maria Helena Machado Rocha Lima²

Nilo da Silva Teixeira³

Proyecto de minería de oro a cielo abierto / subterránea ya clausurada que fue operada por AngloGold Ashanti.

“La mineralización ocurre en la transición entre metabasaltos y metasedimentos (...) ricos en arsenopirita, característica mineralógica común en los yacimientos auríferos trabajados en los greenstones belts de Rio Itapicuru (...) No existen estudios sobre las consecuencias del movimiento de este tipo de yacimientos, ricos en arsénico, en el área de influencia de la minería de Crixás, tanto en agua (acuíferos y captaciones para consumo humano) o en los alimentos consumidos como carne y productos de horticultura (Figuereido et al., 2006). De igual manera, el cianuro que se hace presente en el proceso de beneficio nunca ha sido monitoreado independientemente.”

Polluting the Future

HOW MINING COMPANIES ARE
CONTAMINATING OUR NATION'S
WATERS IN PERPETUITY.

MAY 2013



Impactos
perpetuos de la
minería de
metálicos:
investigación en
minas de oro,
plata, hierro,
plomo, zinc,
cobre y
polimetálicos.

<http://www.earthworksaction.org/files/publications/PollutingTheFuture-FINAL.pdf>

BASADO EN:

169 estudios o publicaciones de agencias estatales

130 estudios o publicaciones de entidades privadas o particulares

Una cuidadosa revisión de documentos oficiales revela que un estimado de 64.000 a 100.000 millones de litros de agua contaminada será generada por 40 minas cada año durante todos los años y a perpetuidad. (...) De acuerdo con nuestra investigación, los costos de tratamiento de aguas en estas minas se estima en 57.000 a 67.000 millones de dólares por año, una deuda que nuestros hijos y nietos deberán asumir para asegurar agua limpia.

EL DOCUMENTO PLANTEA QUE EN PROMEDIO, CADA MINA GENERA ENTRE 1.600 Y 25.000 MILLONES DE LITROS/AÑO DE AGUA CONTAMINADA Y QUE GENERARÁ ESTA CONTAMINACIÓN A PERPETUIDAD.

EL COSTO PROMEDIO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR MINA SE CALCULA ENTRE 1.425 Y 1.675 MILLONES DE DÓLARES/AÑO

<http://www.earthworksaction.org/files/publications/PollutingTheFuture-FINAL.pdf>



DEL RADICALISMO DESARROLLISTA

“Esa roca, que nosotros llamamos el estéril — asevera Márquez—, es una piedra que se cambia de sitio sin hacerle ningún tipo de tratamiento. Usted levanta la capa vegetal de una zona, coge la piedra que le sirve y la que no la pone en otro lado. Luego restaura esa zona y vuelve a quedar exactamente igual”.

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CM S-13274676>



Felipe Márquez es gerente de anglogold ashanti

MINERÍA: Contaminación de aguas



A two-headed trout deformed by selenium pollution. (photo: U.S. Fish and Wildlife Service)

● go to **original**

<http://readersupportednews.org/news-section2/312-16/24690-mountaintop-removal-coal-mining-decimates-fish-populations-in-appalachia>

Mountaintop Removal Coal Mining Decimates Fish Populations in Appalachia

By Matt Wasson, Appalachian Voices

10 July 14

A [study](#) from researchers at the U.S. Geological Survey (USGS) published this month provides strong new evidence that mountaintop removal coal mining in Appalachia is devastating downstream fish populations.