

Geoquímica ambiental en una mina localizada en el Estado de México

Licenciatura en Ingeniería Civil, UAEH

Asignatura: Hidrogeoquímica

Profesor: Dra. Liliana Lizárraga-Mendiola

Antecedentes

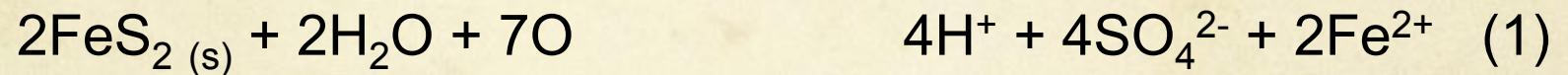
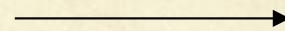


Problemática

Entre los problemas ambientales más comunes asociados a actividades mineras se encuentra el drenaje ácido de mina (DAM).

El DAM es el resultado de la oxidación de sulfuros (pirita), de la hidrólisis de óxidos metálicos y de la liberación de elementos tóxicos (Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Fe, Mn, As, Se, Sb, entre otros).

- Las reacciones involucradas en la oxidación de la pirita son las siguientes (Bullock y Bell, 1994; EPA, 1994; Stumm y Morgan, 1996):



- La oxidación del ión ferroso a ión férrico ocurre más lentamente a valores más bajos de pH:



- Si el ión férrico producido entra en contacto con la pirita, puede ocurrir la siguiente reacción de disolución de la pirita:



- La reacción anterior genera mayor acidez. El ión férrico precipita como hidróxido de hierro:

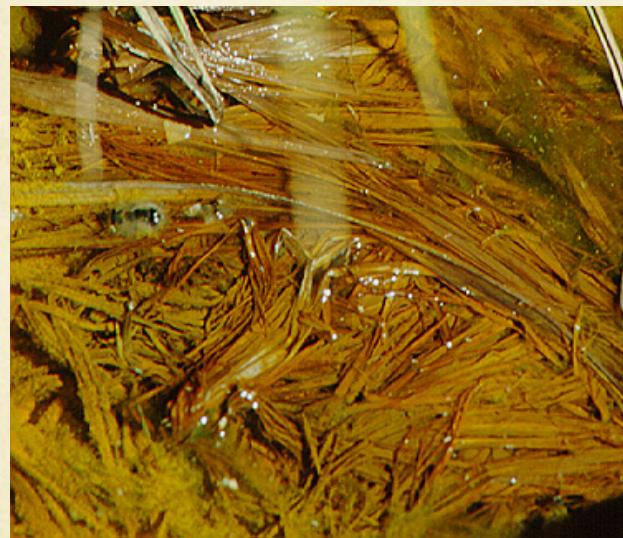


- Este hidróxido precipitado se puede identificar como niño amarillo (del inglés, *yellow boy*)

Yellow boy



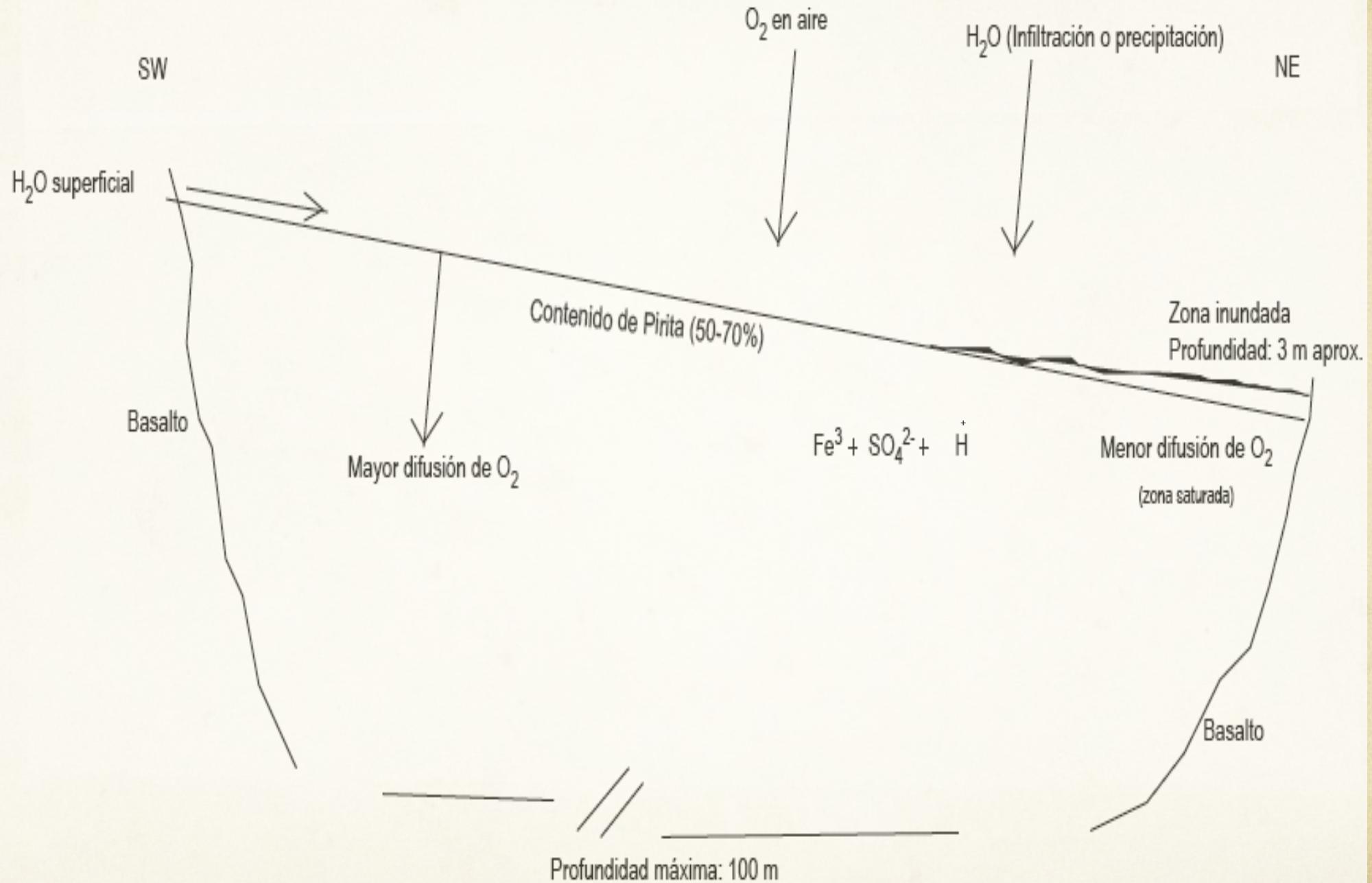
Descarga de DAM a ríos



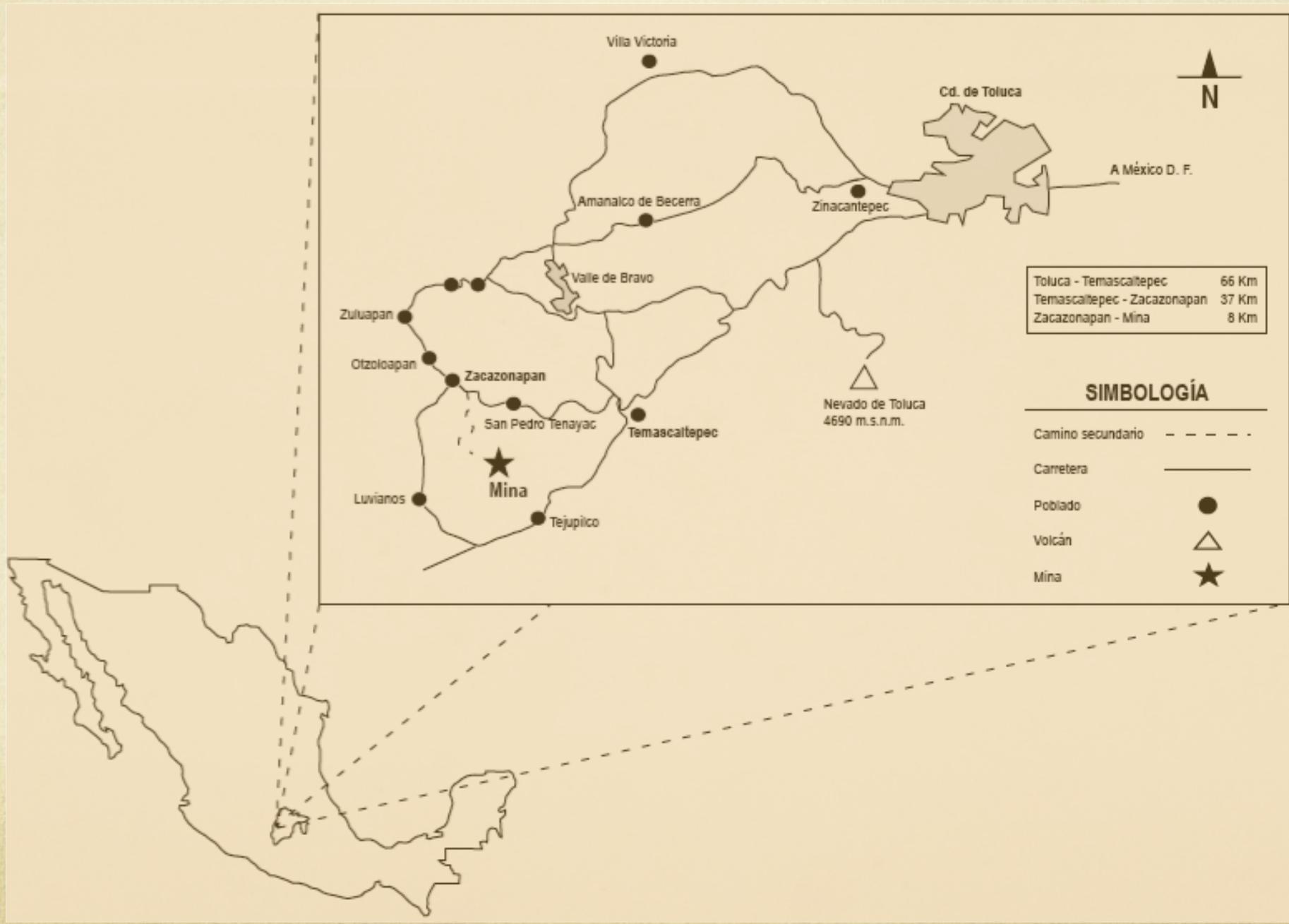
Afectación del DAM a plantas y organismos



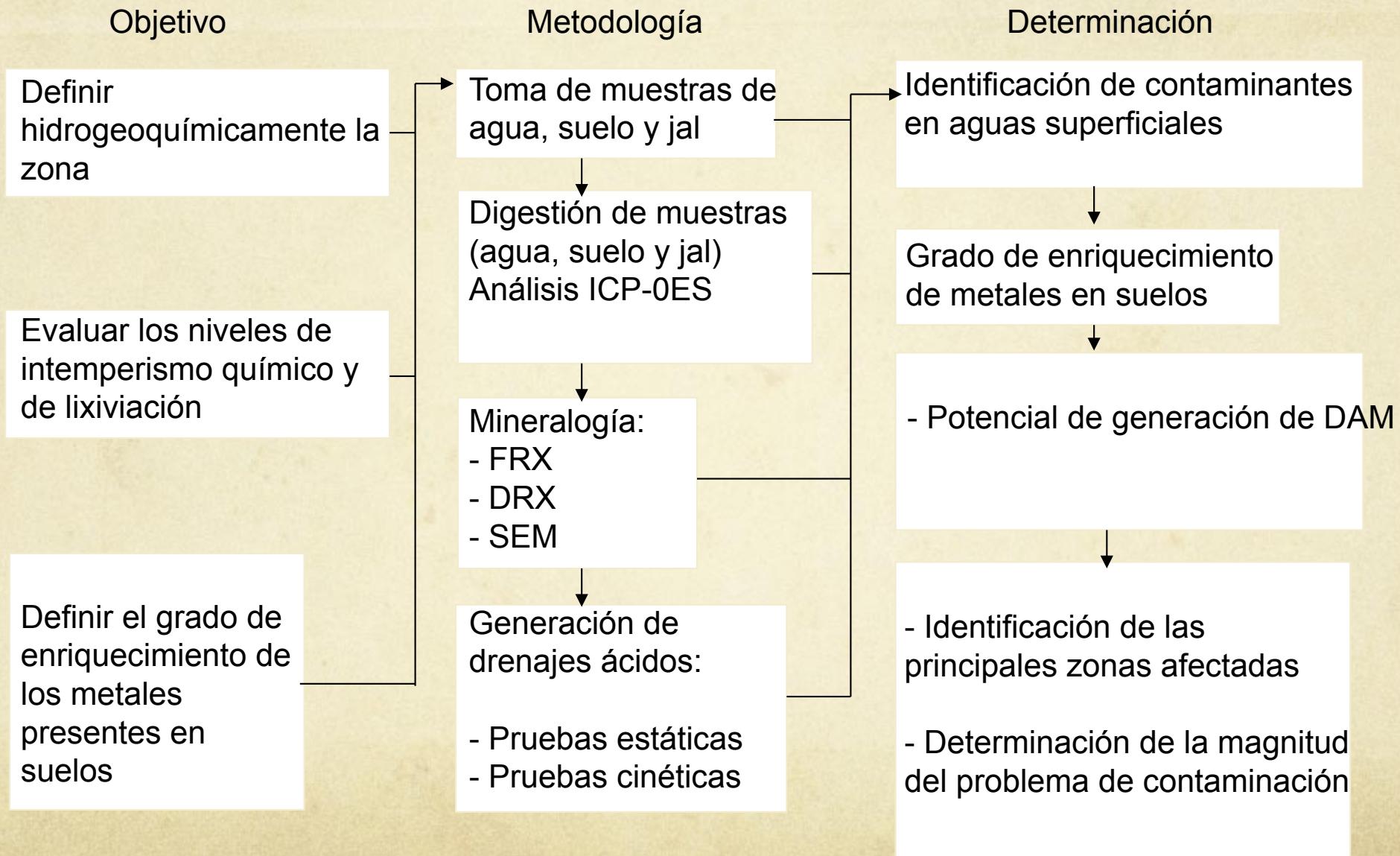
Contaminación de cuerpos de agua



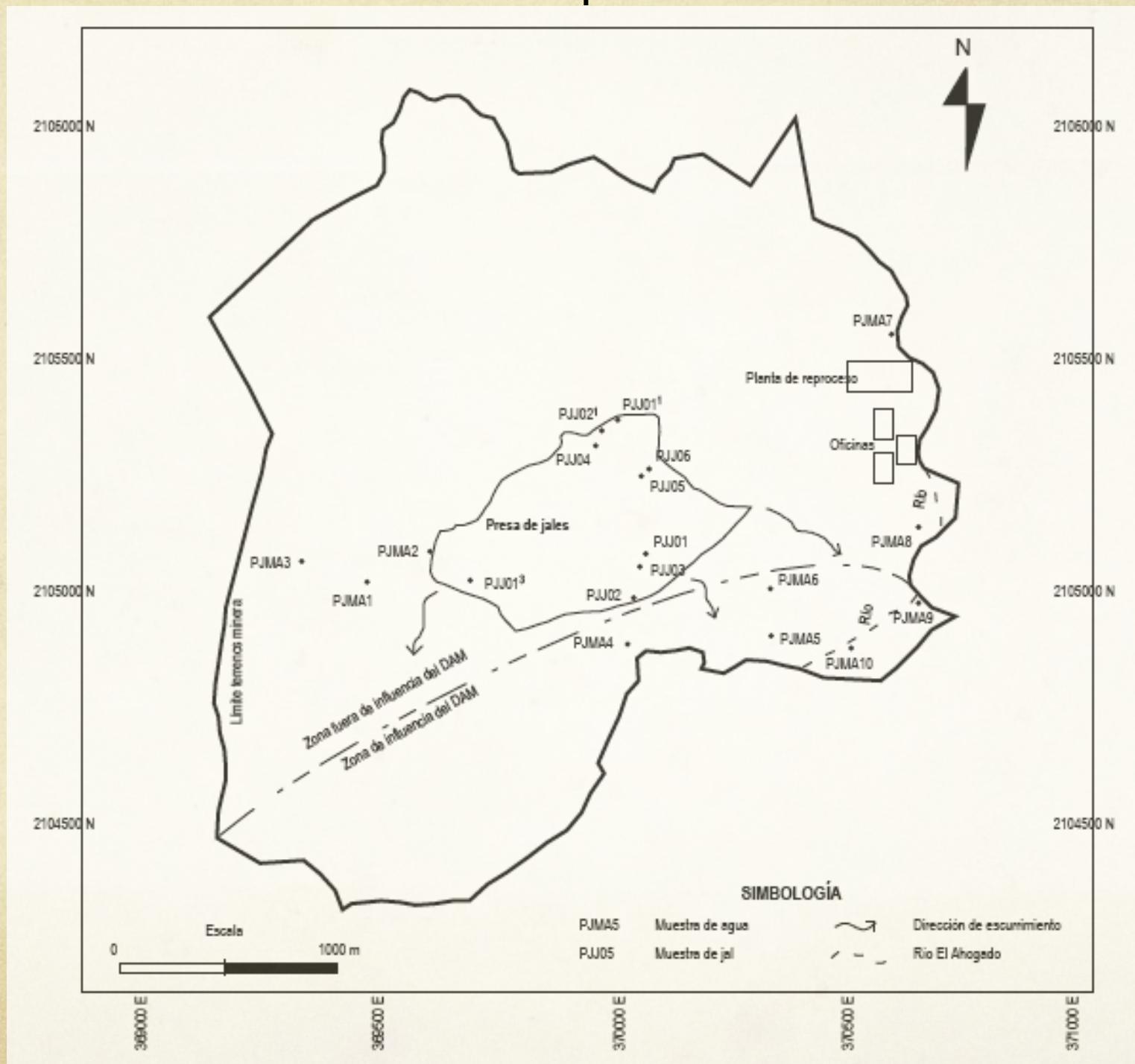
Localización del área



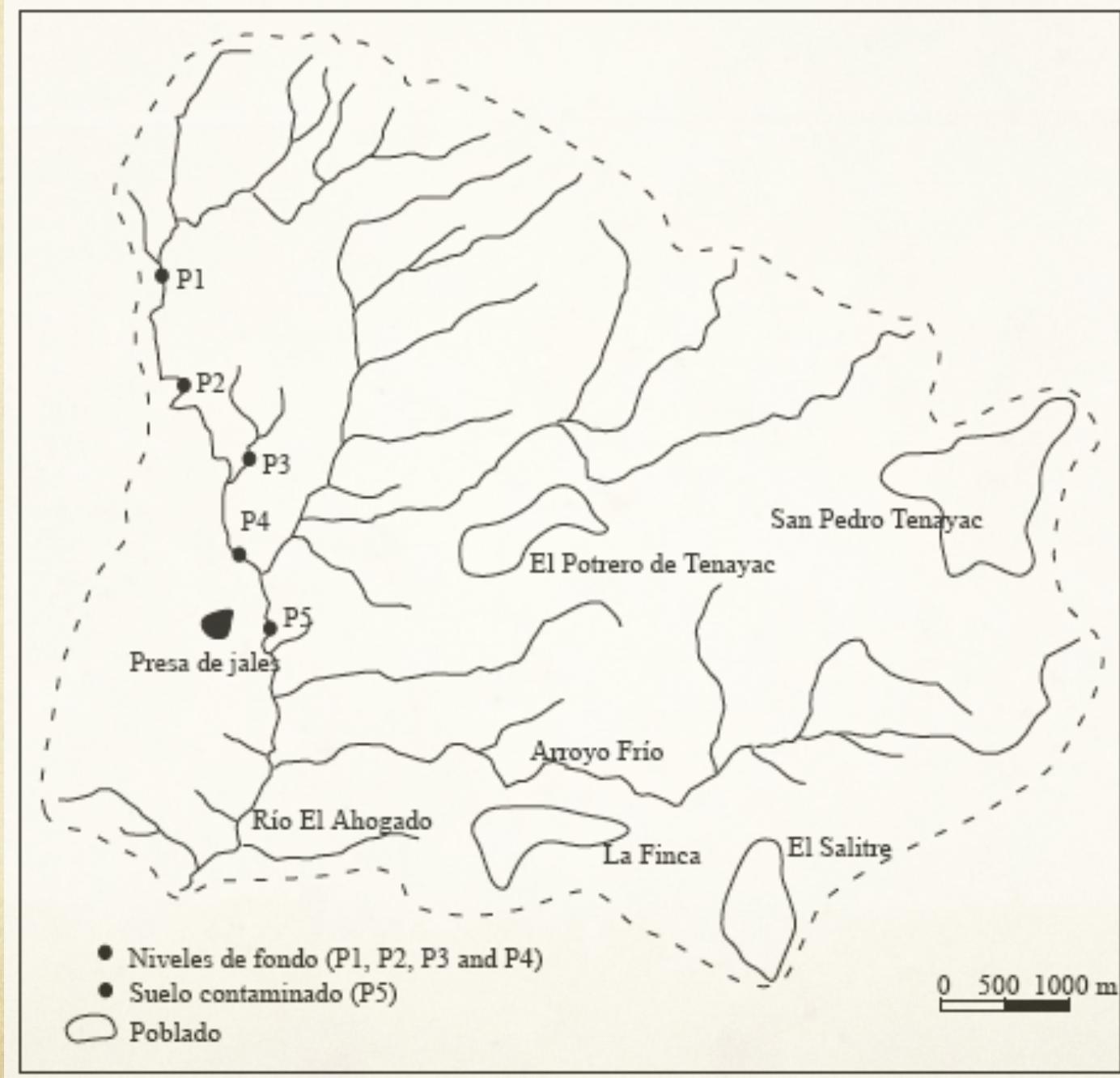
Metodología



Localización puntos de muestreo



Suelos



Resultados Jal

Clave	PJJ01 ¹	PJJ01 ²	PJJ02 ¹	PJJ02 ³	PJJ03 ¹	PJJ05 ²	PJJ06 ²	PJJMC ¹
Especie mineral	%							
FeS ₂ (Pirita)	73	74	67	91	67	75	70	71
ZnS (Esfalerita)	5	5	5	3	5	5	5	5
CuFeS ₂ (Calcopirita)				1			1	
SiO ₂ (Cuarzo)	5	5	8	5	5	5	5	5
SiO ₂ (Cristobalita)			2		2			2
(K, Na)(Al,Mg,Fe)(Si _{3.1} Al _{0.09})O ₁₀ (OH) ₂ (oscovita)	5	5	5		5	5	5	5
(Mg,Fe) ₆ (Si,Al)4° ₁₀ (OH) ₈ (Clinoclora)	5	5	5		5	5	8	5
NaAlSi ₃ O ₈ (Albita)	3	3	3		3	3	3	3
CaSO ₄ * 2H ₂ O *(Yeso)	3	3			8	2		
CASO ₄ * ½H ₂ O (Bassanita)	1		5				3	4

¹Abri l 2004

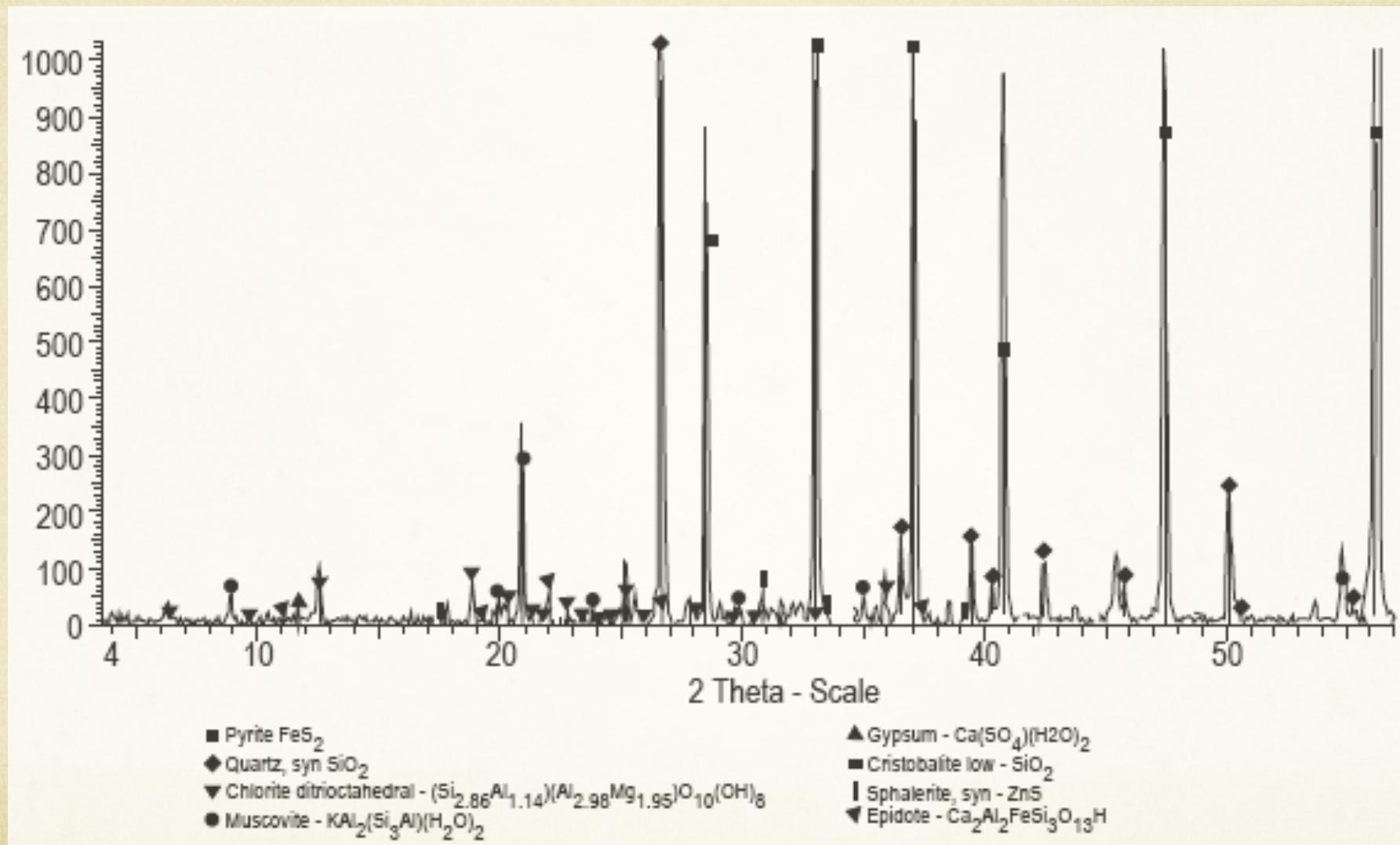
²Abri l 2005

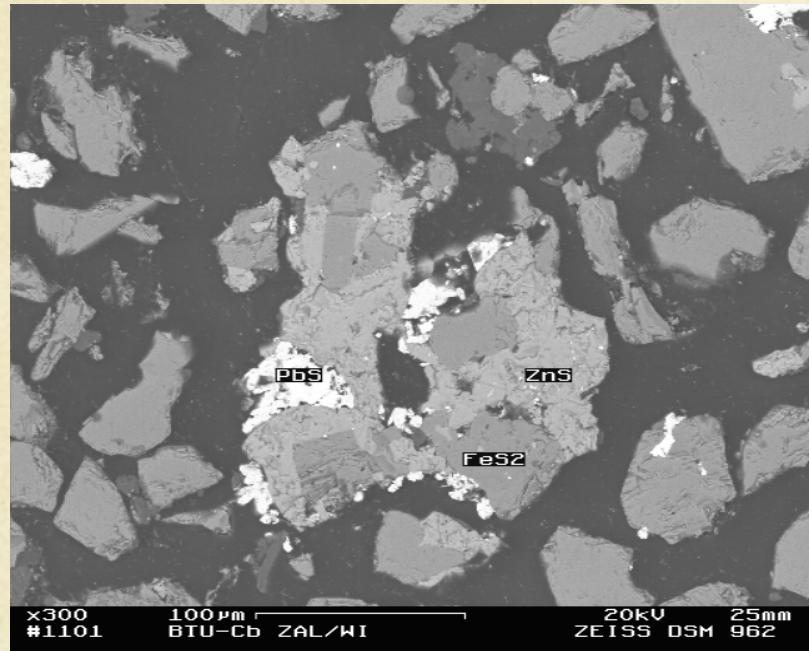
³Agosto 2005

⁴Septiembre 2005

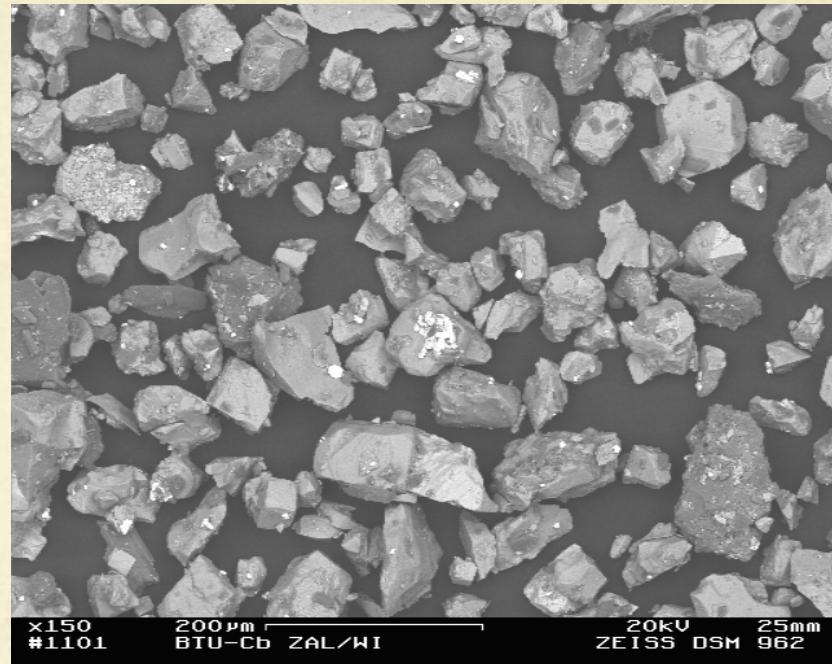
⁵Enero 2006

Mineralogía





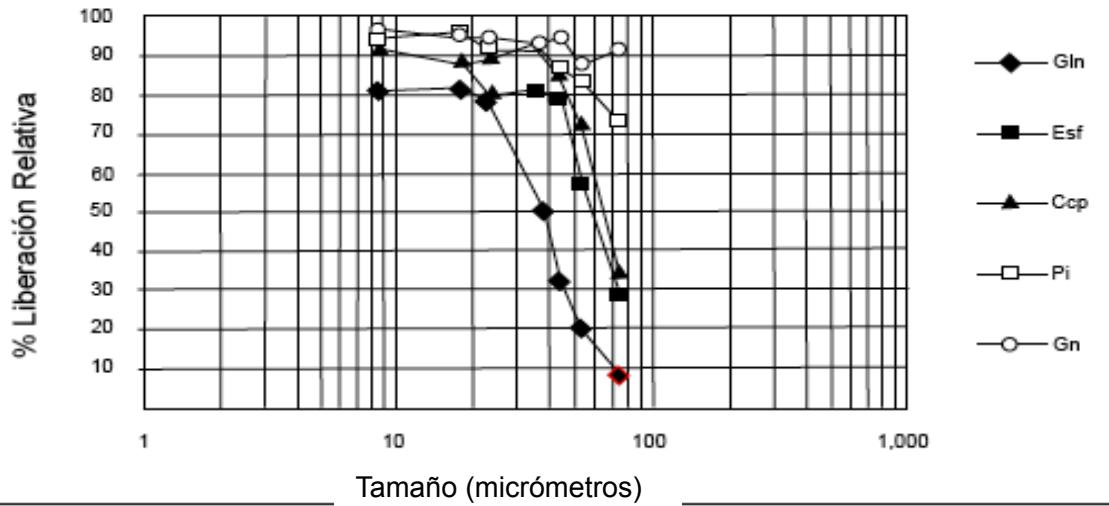
Vista al microscopio del jal. Corte bidimensional



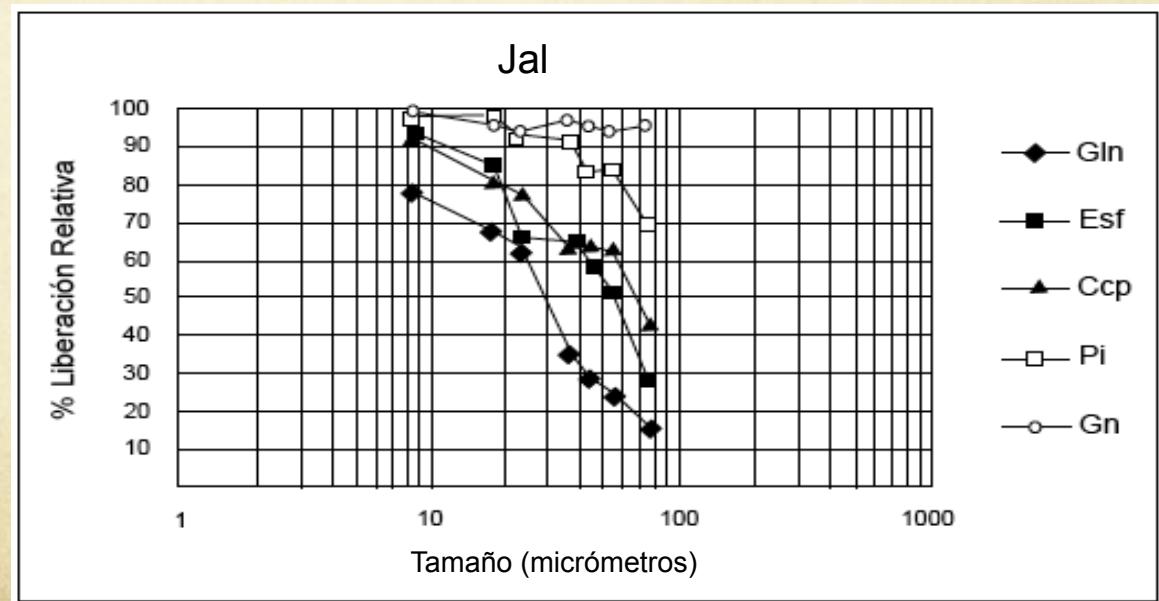
Vista al microscopio del jal. Vista tridimensional

Liberación de minerales

Cabeza



Jal

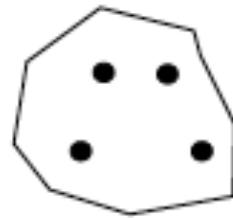


1



Sulfuros totalmente liberados:
Generación de DAR esperado

2



Sulfuros diseminados: Sulfuros no
liberados-Generación de DAR no
esperada

3



Inclusión de sulfuros: Sulfuros no
liberados-Generación de DAR no
esperada

4



Inclusión de sulfuros: Sulfuros
liberados con respecto a la
lixiviación-Generación de DAR
esperada

Potencial de acidez/neutralización

Muestra	Azufre Total (%)	Azufre como Sulfatos (%)	Potencial de Neutralización, PN (kg CaCO ₃ /ton jales)	Potencial de Acidez, PA (kg CaCO ₃ /ton jales)	Potencial de Neutralización Neto, PNN (kg CaCO ₃ /ton jales)
PJJ02-0805	53.05	0.62	5.35	1638.44	0.0033
Muestra compuesta (PJJ06-0405, PJJ02-0805, PJJ01-0106)	46.7	0.97	21.67	1429.06	0.0152
PJJ05-0405	52.49	1.15	42.09	1604.38	0.0262

$$PNN = PN/PA$$

Si:

PNN < 1.2

Jales con potencial de generación de acidez

PNN > 1.2

Jales con potencial de neutralizar la acidez

Agua superficial

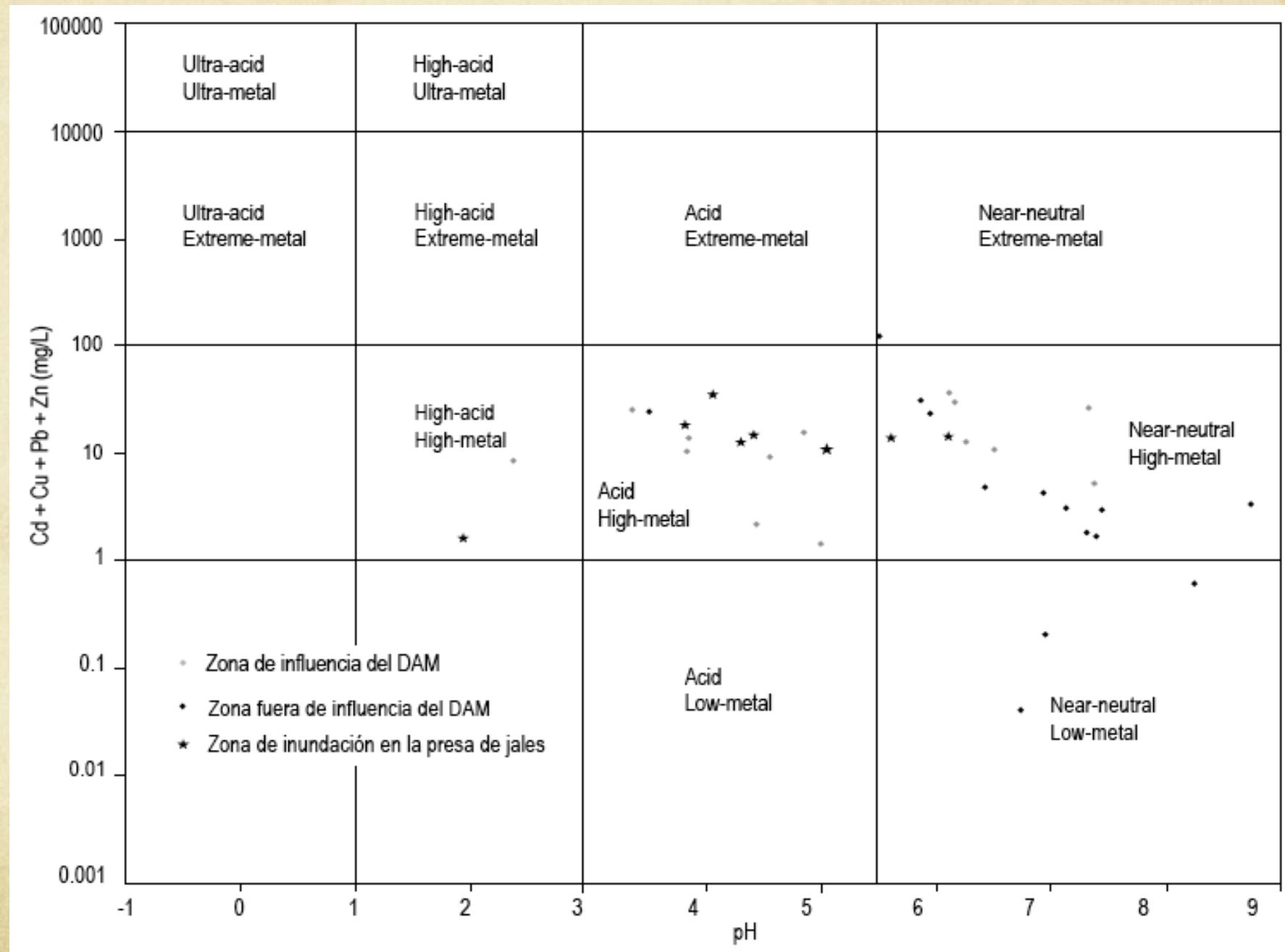
Parámetro	LMP	PJMA4 ²	4	5	6	PJMA5 ²	4	5	6	PJMA6 ²	4	5	6	PJM A10 ⁵	6
Puntos de muestreo localizados en la zona de influencia del DAM															
a		150				400				350				950	
PI		34.11	60.22	8.27	15.23	51.65	51.24	46.24	45.3	48.93	53.77	64.45	67.76	4.15	3.54
pH	6.5-8.5	4.55	6.78	4.08	6.81	4.76	5.03	6.24	3.57	3.98	5.01	6.19	7.62	7.79	7.7
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	100	5800	5640	5420	450	5930	5190	6260	450	6000	5180	6500	450	205	352
Alcalin. (CaCO_3)					80									106	
Al		0.016	0.036	0.08	5		0.067	0.083	0.053			0.077	0.09		
As	0.025			0.1						0.095					
B		0.6	1.1		2.02	2	1.8		3.24	1.9	1.8		3.19		0.27
C					29.12				30.1				38.423		23.078
Ca		507.2	501		560	560	722.4		721	576.4	709		723		56.6
Cd	0.005				0.04	0.06	0.08		0.2		0.11		0.19		
Cl	250	56.7	50.1	64	109.02	47.6	98	186.5	98.2	153	200	235	96.11	245	7.03
Cu	1.0				0.09	0.05	0.02		0.04		0.03		0.04		
Fe	0.3			4.1	0.48	48.8	5.9	6.4	9.56	7.03	6	5.6	9.57	3.4	0.05
H					10.54				13.8				10.42		14.55
HCO_3^-					100									130	
K		1.31	5.21	5.33	118	2.65	1.45	3.26	265	2.54	2.33	1.15	277	2.92	4.5
Li		0.13	0.15		0.27	1.98	1.59		1.58	1.69	1.49		1.63		
Mg		600	596.4		678.2	251	274.8		592	252	271		600.6		8.79
Mn	0.05	4.5	8.16		7.29	3.18	5.96		12	3.18	6.12		12.81		39.5
Na		11	10	12.1	386	20	22.5	19.5	724	19.7	15.65	25.7	732		14.4
Pb	0.01					2.98	3.29	3.6	4.6	3.57	3.44	5.6	4.5		
Si		39	35.02		39.27	3.59	4.3	2594	7.25	3348.8	4.38		7.05	20	14.85
SO_4^{2-}	250	2883	3830	3467	3730	2806.5	4350		4660	5	4250	1504.5	4880		
Sr		2.5	3.2		3.43	1.8	2.1		2.23	2.2	1.9		2.15		0.36
Zn	5.0	4.06	10.68	17.8	10.31	7.42	17.92	46.2	34	7.13	18.21	45.6	35.45	5.2	0.06

NOM-127-SSA1-1994

US EPA (2003)

Canadian guidelines (2006)

Según Ficklin et al. (2006)



Suelo

Factor de enriquecimiento (FE)

$$EF = (M_x)(Fe_b) / (M_b)(Fe_x)$$

Metales	Suelo (mg/kg)					Nivel de fondo (promedio)	FE		
	Nivel de fondo (Sin contaminar)			Contaminado					
	P1	P2	P3	P4	P5				
As	31.0	10.0	21.0	33.0	33.0	23.75	0.42		
Ba	n.a.	n.a.	n.a.	49.4	70.1	12.35	1.72		
Cr	78.0	187.0	149.0	113.0	n.a.	131.75	n.a.		
Cu	46.0	19.0	182.0	64.0	16.0	77.75	0.06		
Fe	2.31	1.14	3.66	1.22	40.01	2.08	5.84		
Pb	20.0	n.a.	63.0	73.0	36.0	39.00	0.28		
Zn	51.0	79.0	159.0	83.0	214.0	93.00	0.69		

n.a. No disponible

FE: Factor de enriquecimiento

Wedepohl, 1995

Conclusión

