

III CONFERENCIA PANAMERICANA DE SISTEMAS DE HUMEDALES  
PARA EL TRATAMIENTO Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL  
AGUA. 2016

Santa Fé. Argentina

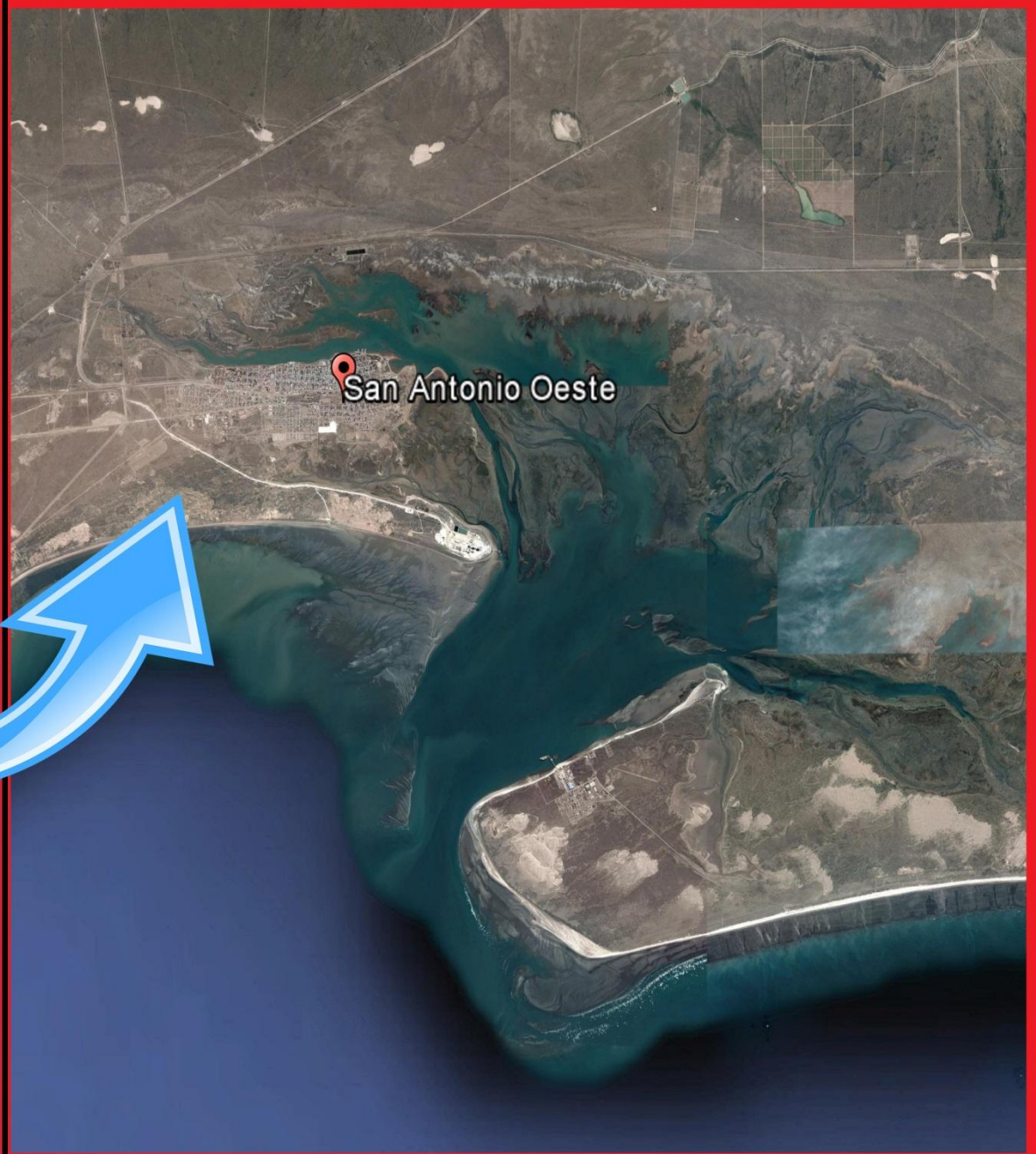
## CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE MARISMAS CONTAMINADAS CON ESCORIAS EN SAN ANTONIO OESTE (RÍO NEGRO, ARGENTINA)

Aloma Sartor

GEIA. Grupo de Estudio de Ingeniería Ambiental

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.  
Argentina.







# DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

56 ha con vegetación alofita en marismas contaminadas

- **Origen de la contaminación:** residuos de la Fundición Geotecnia que operó entre ( 1960- 1984), se extraía Zn y Ag de los minerales provenientes de la Mina Gonzalito localizada a ( 100 km)
- **Localización:** en la bahía interna de San Antonio Oeste (SAO) Río Negro, a 2 km de la ciudad de SAO, de 25.000 habitantes (Censo 2010), en la intersección entre la Ruta Nacional N° 251 y el ingreso a Las Grutas (localidad turística costera) del Golfo San Matías

Clima templado y semiárido

Régimen de lluvias 248 mm/año

Humedad relativa promedio anual: 56 %

Vientos promedio: 19 km/hr

Temperatura media anual: 15,3 °C

# CONSTITUYENTES ORIGINALES DE LAS PILAS DE ESCORIA

- Óxidos de Fe, Si y elementos solubles en la escoria (Mn, Mo, V, S, Cr, As, Al, Ca, Mg, K, P, Ni, Sr);
- Importantes cantidades de Pb, Cu, Fe y Zn atrapados o disueltos (Bonuccelli, 2000).



# ANTECEDENTES DE EVIDENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN

- Estevez et al. (1996). “Evaluación de la contaminación urbana en San Antonio (Provincia de Río Negro). Informe Técnico N° 20”. PMIZCP
- Test de lixiviado y determinación de metales en residuos sólido realizado en INVAP (1999).
- Departamento Provincial de Agua. (2000). “Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Bahía de San Antonio” Informe final. Viedma
- Bonuccelli et al. (2005). “Contaminación por metales pesados derivados por lixiviación de escorias de fundición. San Antonio. Río Negro”. Actas de Congreso Geológico. La Plata
- Diaz Barriga. (2005). “Análisis de muestras y estimación de plomo en sangre” Universidad de San Luis de Potosí. Mexico.
- Departamento de Salud Ambiental. Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones. (2005) “Estudio de probable contaminación por plomo en escolares de San Antonio Oeste”
- Sartor et al. (2007). “Alternativas de tratamientos del sitio contaminado en San Antonio Oeste. Río Negro”. FUNDATEC. UTN. FRBB
- Departamento de Salud Ambiental. (2008). “Modelo Geoespacial para la vigilancia local de la salud”.
- URS, Corporation. (2012). “Plan preliminar de remediación de áreas impactadas por la actividad de la ex fundición Mina Gonzalito en San Antonio Oeste. Provincia de Río Negro.

- En el 2005 se utilizó un modelo biocinético de plomo en sangre (IEUB K) de la EPA para estudiar los efectos en niños expuestos (5-6 años).
- Los resultados fueron que todos los niños expuestos tendrían concentraciones que superarían los 5  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ; una gran mayoría tendrían más de 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  y la tercera parte más de 15  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (Barriga, 2005)

Sobre 200 niños de la muestra para evaluar el plomo en sangre:

**64% más de 5  $\mu\text{g}/\text{dL}$**

**20% más de 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$**

**más de 15 y 27  $\mu\text{g}/\text{dL}$**

**(los niños que viven en cercanías de los depósitos)**

**(Ministerio de Salud Pública de Nación, 2005)**

# METODOLOGÍA PARA CARACTERIZAR EL SITIO

- **Relevamiento del sitio**; reconstrucción de la historicidad del sitio, (cambios de usos y actividades desarrolladas);
- Estudio de la **información existente**, análisis de la documentación, estudios y muestreos pre-existentes;
- Calicatas, muestreos y análisis químicos de material de fuente contaminante a diferentes profundidades y análisis de lixiviación en área de pilas.
- Construcción de nuevos pozos de monitoreo, análisis de agua.
- Muestreos y análisis químicos de sedimentos, análisis de agua en área de marea.
- Perfil de suelo.
- **Evaluación mineralógica** de los sitios
- Estudios de las **vías de transporte de contaminantes** en el sistema.



# MECANISMOS DE TRANSPORTE

- **Transporte por disolución** en el agua de lluvia infiltrada.
- **Transporte por difusión** provocado por gradientes de concentración.
- **Transporte convectivo**, debido al gradiente térmico creado por las reacciones químicas exotérmicas.
- **Transporte advectivo**, de componente horizontal debido al gradiente de presión originado por el viento.



# Comportamiento Mineralógico y Geoquímico del Sitio

- **Condiciones para generación y desarrollo del Drenaje Ácido**
- **Poder de Neutralización de los Minerales Acompañantes**
- **Mineralogía de los Productos de Oxidación**



# RESULTADOS DE MUESTRAS

ANÁLISIS QUÍMICOS DE FUENTE DE CONTAMINACIÓN								
Extracción	MUESTRAS							
	M40	M43			M44			
	Zona Mareas	- 1m	- 0,35m		Más de - 0,75m	Entre - 0,08m y - 0,57m		Entre 0 y - 0,08m
Plomo (g/kg)	< 0,1	0,1	10	< 1 *	0,1	< 0,1	< 1 *	20
Zinc (g/kg)	2,6	1,9	13,4	11,5 *	0,3	10	50 *	13,4
Cobre (g/kg)	0,1	< 0,1	0,5	< 1 *	0,1	0,1	< 1 *	1,8
Hierro (g/kg)	0,6	3,2	8,2	< 0,1*	2,2	5,8	< 0,1 *	165

\* Análisis químico de Lixiviados (mg/l)

Fuente: Informe de FUNDATEC. (2007)

SEDIMENTOS DE MATERIAL FUENTE		
Metal	Metal Lixiviado (mg/l)	Ley 24.051 (mg/l)
Zn	763	500
Cu	42,07	100
Pb	6,2	1
Ag	<0,1	5
Cr	<0,1	5
As	<0,0015	1
Hg	<0,005	0,1
Ni	0,64	1,34

Fuente: INVAP (1997)



# Movilidad relativa de los metales pesados según su Eh-pH

Tabla 5				
Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y Alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd		
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy Baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Zn, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb



## Difractometría de Rayos X

<b>M008 (a 10 cm de prof.)</b>	$\text{PbFe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$	Plumbojarosita (mayoritario)
	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	Natrojarosita (mayoritario)
	$\text{PbSO}_4$	Sulfato de plomo
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de calcio hidratado
	$\text{Ni}_6\text{Fe}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Hidroxi-carbonato de hierro y níquel
	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Óxido de hierro
	$\text{SiO}_2$	Óxido de silicio
<b>M009 (a 10 cm de prof.)</b>	$\text{PbFe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$	Plumbojarosita (mayoritario)
	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	Natrojarosita
	$\text{PbSO}_4$	Sulfato de plomo
	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sulfato de magnesio hidratado
	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$	Cloruro de magnesio Óxido de hierro
	$\text{SiO}_2$	Óxido de silicio
<b>M008 (esfloraciones)</b>	$\text{Na}_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de Zn y sodio hidratado (mayoritario)
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de sodio hidratado (mayoritario)
	$\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	Sulfato de hierro y sodio
	$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de hierro y sodio
	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de hierro hidratado
	$(\text{Fe,Cu,Zn})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de Zn, cobre y hierro hidratado
	$\text{NiSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sulfato de níquel
	$\text{Cu}_2\text{SO}_4$	Sulfato de cobre
	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	Sulfuro de hierro
	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	Óxido de manganeso
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido de hierro
<b>M009 (esfloraciones)</b>	$\text{MnO}_2$	Óxido de manganeso (mayoritario)
	$(\text{Fe,Cu,Zn})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de Zn, cobre y hierro hidr. (mayoritario)
	$\text{Mg}_4\text{O}_3\text{SO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	Oxi-sulfato de magnesio hidratado (mayoritario)
	$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de hierro y sodio
	$\text{Pb}_4\text{O}_3\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Oxi-sulfato de plomo hidratado
	$\text{MgS}$	Sulfuro de magnesio
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido de hierro



- **Ciclos de precipitación y disolución** que afectan la composición de las aguas, generan drenaje ácido y alteran las concentraciones totales de metales pesados y sulfatos.
- **Precipitados solubles** almacenan temporalmente metales pesados que se liberan en épocas de lluvia.

Muestras de suelo en superficie (10 cm), complejos cristalinos **plumbojarosita** ( $\text{PbFe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$ ), **jarosita** ( $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ ), y **natrojarosita** ( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ).

Los compuestos minerales existentes son redes cristalinas conteniendo hierro (en su mayoría); Plomo como cationes y sulfatos y óxidos, como aniones.





- Los principales productos de oxidación de sulfuros son los **oxihidroxidos de Fe** de tonalidades ocres y rojizas, que forman depósitos superficiales y retienen elevadas concentraciones de metales pesados adsorbidos en su superficie.
- Procesos de evaporación: en la estación más seca es frecuente encontrar costras y eflorescencias de **sulfatos de hierro** soluble sobre los cantos rodados o material marino.







# ANÁLISIS MINERALÓGICOS, QUÍMICOS Y DE LIXIVIADOS EN ZONA DE MAREAS

Difractometría de Rayos X		
M40 (Zona Marea)	$\text{SiO}_2$	Óxido de silicio (mayoritario)
	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$	Albita (mayoritario)
	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	Silicato de hierro
	$\text{K}_{0.6}\text{Na}_{0.4}\text{Cl}$	Cloruro de sodio y potasio
	$\text{NaCl}$	Cloruro de sodio
	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$	Carbonato de calcio, magnesio, hierro
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Óxido de hierro

Análisis Químico en sedimentos					
Muestras	Ubicación	Metales (mg/Kg)			
		Plomo	Zn	Cobre	Hierro
M40 (superficial )	Zona Marea	100	2.600	100	600



### **Proceso de transporte por acción del agua**

- por aguas superficiales, (especialmente de las de carácter torrencial)
- acción combinada de las mareas ordinarias y extraordinarias (7 a 9 m de altura)

Las mareas dan lugar a importantes corrientes que provocan una redistribución de los sedimentos limo-arcillosos con metales pesados, hacia el continente en pleamar y hacia la bahía en bajamar.

## AMPLITUD MAREAS

Localidad	Latitud S (°)	Régimen de marea	Pleamar máxima	Bajamar más baja	Nivel medio
<b>Pto. San Antonio (Muelle Este)</b>	40,8	semidiurno	9,14	0,01	4,45
<b>Río Negro (Punta Redonda)</b>	41,03	semidiurno	4,32	0,00	2,13
<b>Cargadero de Punta Colorada</b>	41,77	semidiurno	8,79	0,04	4,45

Fuente: Extraído de Kokot et al



# ANÁLISIS DE AGUA (ZONA MAREA)

Análisis Químico de Agua		
Parámetro	Concentración	Unidad
Sulfuros	0,02	mg/l
Sulfatos (Gravimétrico)	3.900	mg/l
Sulfitos -SO <sub>2</sub> (Titrimétrico)	583	mg/l
Azufre total (Gravimétrico)	1533	mg/l
Sólidos disueltos totales	58.200	mg/l
Conductividad eléctrica	69.200	µS/cm
Dureza Total (Titrimétrico -en CaCO <sub>3</sub> )	15.000	mg/l
Calcio (Absorción Atómica -H.Grafito)	1.405	mg/l
Magnesio (Espectrofotometrico)	2755	mg/l
Plomo (Absorción Atómica -H.Grafito)	< 0,01	mg/l
Cadmio (Absorción Atómica-H.Grafito)	< 0,001	mg/l
Zn (Absorción Atómica-H.Grafito)	< 0,1	mg/l
Hierro (Absorción Atómica -H.Grafito)	0,05	mg/l
Cobre (Absorción Atómica-H.Grafito)	< 0,01	mg/l
Arsénico (A.A. Generador de Hidruros)	<0,01	mg/l

Niveles Guía de Calidad de Agua Para la protección de vida acuática		
Dec. 831/93- Ley Nacional 24.051		
Plomo (total)	0,01	mg/l
Cadmio (total)	0,005	mg/l
Zn (total)	0,0002	mg/l
Cobre (total)	0,004	mg/l
Arsénico (total)	0,0005	mg/l

# TRANSPORTE POR ACCIÓN EÓLICA

Muestras Suelo Superficial en línea recta a SAO				
Muestra	Distancia (m)	Concentración (mg/Kg)		
		Pb	Cu	Zn
S1	100	923	113	483
S2	200	360	64,2	119
S3	300	304	43,5	231,1
S4	400	61,5	20,3	57
S5	500	34,5	6,8	29,4

Ley Nacional 24.051- Dec. 831 (Niveles Guía de Calidad de Suelos) (mg/Kg peso seco)			
Constituyente Peligroso	Uso Agrícola	Uso Residencial	Uso Industrial
CINC (TOTAL)	600	500	1500
COBRE (TOTAL)	150	100	500
PLOMO (TOTAL)	375	500	1000

- Análisis de distribución de partículas . Granulometría.  
% de material fino presente



# MOVILIZACIÓN ANTRÓPICA

- Explotación de cantera de áridos en la Pila 2
- Autódromo
- Tránsito de vehículos y personas
- Viviendas y cría de cerdos

(2006) 13-14 personas residentes (3 niños)

(2012) 41 personas (14 niños)



# ANÁLISIS VOLUMÉTRICO Y DE SUPERFICIE DEL SECTOR DE LOCALIZACIÓN DEL MATERIAL FUENTE

- Pila 1 Cuerpo Sur: 38.859 m<sup>2</sup> (h: 1,5 m)
- Pila 2 Cuerpo Medio: 3.364 m<sup>2</sup> (h: 0,5 m)
- Pila 3 Cuerpo Norte: 14.759 m<sup>2</sup> (h: 0,5 m)  
densidad de 1.600 kg/m<sup>3</sup>

107.840 tn

Franjas periféricas de las pilas del material fuente de contaminación

- Pila 1 Cuerpo Sur: 16.586 m<sup>2</sup> (ancho 20 m)
- Pila 2 Cuerpo Medio: 2.520 m<sup>2</sup> (ancho 10 m)
- Pila 3 Cuerpo Norte: 6.647 m<sup>2</sup> (ancho 10 m)

149.044 tn





# PROPUESTA DE MANEJO DEL SITIO

Sitio	Volumen	Tecnología	Descripción
<b>Pila 1</b>	58.000 m <sup>3</sup>	Contención	Cobertura superior, control de drenaje
<b>Pila 2</b>	1700 m <sup>3</sup>	Remoción y Disposición en celda	Sellado inferior, cobertura superior, control de drenaje
<b>Pila 3</b>	7400 m <sup>3</sup>		
<b>Parcela exfundición</b>			
<b>Sector de cavas</b>		Tratamiento de pendientes y relleno. Evitar/minimizar el ingreso de agua al sistema.	Elevar la sub-base con agregado de material limo arcilloso. Localización de celda de contención del material de Pila 2 y 3 y de la parcela de la ex fundición.
<b>Sectores de contornos</b>	<b>2 ha de cobertura superficial</b>	<b>Fitoremediación</b>	<b>Desarrollo de experiencia con especies nativas</b>

# CRITERIOS PARA DISEÑAR UN PLAN DE REMEDIACIÓN

- Evaluar los **riesgos de movilizar contaminantes** en la operación de cada alternativa de remediación
- **Minimizar las intervenciones** sobre el área
- Evitar el traslado de los contaminantes de un cuerpo receptor a otro
- Implementar de un **sistema de monitoreo y control permanente sobre el área**

Las actividades de remediación y limpieza diseñadas deben incorporar medidas de seguridad e higiene laboral y **extremo control** que eviten el transporte de contaminación fuera del área de intervención.

# ACTORES QUE INTERVINIERON e INTERVIENEN HASTA LA FECHA





**MUCHAS GRACIAS**

[asartor@frbb.utn.edu.ar](mailto:asartor@frbb.utn.edu.ar)