

Investigación de arcillas para uso en descontaminación de aguas arsenicales, en las provincias de Córdoba y San Luis

Donnari E., Gaido F., Miró R., Sanguinetti A., Buceta G., Cozzi G. y Crubellati R.



Depósito de arcilla conocido como Mina Eureka, San Huberto.

***Investigación de arcillas para uso en
descontaminación de aguas arsenicales,
en las provincias de Córdoba y San Luis***

Donnari E., Gaido F., Miró R., Sanguinetti A., Buceta G., Cozzi G. y Crubellati R.

2014

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente Ing. Jorge Mayoral
Secretario Ejecutivo Lic. Pedro Alcántara

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director Lic. Roberto F. N. Page

DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICO MINEROS

Director Dr. Eduardo O. Zappettini

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

Donnari E., Gaido F., Miró R., Sanguinetti A., Buceta G., Cozzi G. y Crubellati R., 2014. Investigación de arcillas para uso en descontaminación de aguas arsenicales, en las provincias de Córdoba y San Luis. Recursos Minerales N°36. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 32p. Buenos Aires.

ISSN 0328-2325

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES – SEGEMAR
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. Julio A. Roca 651 - 3° piso - 1322 Buenos Aires
República Argentina

BUENOS AIRES - 2014



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Metodología	2
2. GEOLOGÍA	2
2.1. Sitios de muestreo y características de los depósitos	2
2.1.1 Región de la vertiente occidental de las Sierras Grande y de Comechingones	4
2.1.2. Región del piedemonte oriental de la Sierra de Comechingones	10
2.1.3. Región norte de la Sierra Chica y porción sudoriental de la cuenca de las Salinas Grandes ..	12
3. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS ARCILLAS	16
3.1. Granulométricos	16
3.2. Caracterización mineralógica	16
3.3. Análisis químicos	17
4. ENSAYOS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO	18
4.1. Metodología	19
4.1.2. Cálculo y resultados del ensayo	20
5. CONCLUSIONES	21
6. AGRADECIMIENTOS	21
7. ANEXO I: Difractogramas	23
8. BIBLIOGRAFÍA	31

INVESTIGACIÓN DE ARCILLAS PARA USO EN DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS ARSENICALES, EN LAS PROVINCIAS DE CÓRDOBA Y SAN LUIS. REPÚBLICA ARGENTINA

Donnari E.¹; Gaido F.²; Miró R.²; Sanguinetti A.¹; Buceta G.¹; Cozzi G.³ y Crubellati R.³

¹ Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
Av Gral Paz 5445 - Campus INTI-Buenos Aires. eva.donnari@segemar.gov.ar

² Servicio Geológico Minero Argentino. Delegación Regional Córdoba.
Celso Barrios 1712. (5014) Córdoba. fernanda.gaido@segemar.gov.ar

³ Instituto de Tecnología Minera. Servicio Geológico Minero Argentino.
Av. General Paz 5445 - Campus INTI. Buenos Aires. guillermo.cozzi@segemar.gov.ar

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar arcillas de diferentes depósitos de las provincias de Córdoba y San Luis para su uso en la descontaminación de arsénico en aguas para el consumo humano.

La investigación realizada se localizó en el ámbito de las Sierras Pampeanas Orientales (Figura 1), en la provincia de Córdoba, el piedemonte occidental de la sierra Grande, el norte de la sierra Chica, la porción sudoriental de la cuenca de las Salinas Grandes y el piedemonte oriental de la sierra de Comechingones. En la provincia de San Luis se extendió por el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones.

La investigación se orienta a promover el conocimiento y uso de sustancias naturales que aporten una alternativa posible y económica en el tratamiento de aguas de consumo con elevados tenores de arsénico, tal como se registra en numerosas localidades del norte y centro-sudeste de la provincia de Córdoba y en otras provincias argentinas.

1.1. ANTECEDENTES

En Argentina, la incidencia del consumo de agua contaminada con niveles variables de arsénico se conoce desde principios de siglo pasado. La enfermedad, denominada de «Bell Ville» por la localidad de procedencia de los pacientes, fue descripta por primera vez en la Argentina por Goyenechea (1917). La denominación actual es Hidroarsenicismo Cróni-

co Regional Endémico (HACRE), (Tello, 1951). Investigaciones geoquímicas posteriores ampliaron el conocimiento sobre la extensión regional del arsénico, estimándose que afecta a unos dos millones de personas, en un área de 1.700.000 km² en el cono sur americano, potencialmente expuestas a la ingestión de agua con más de 50 microgramos de arsénico (Fernández Turiel et al, 2005). El área afectada se extiende en un continuo noroeste-sudeste desde la costa pacífica a la atlántica, con el límite meridional ubicado aproximadamente a los 30° LS en Chile y los cursos de los ríos Desaguadero y Colorado en Argentina. El límite septentrional corresponde al borde norte del Altiplano y los cursos de los ríos Bermejo y Paraná. En territorio argentino, las provincias más afectadas son Tucumán, Santiago del Estero, Chaco, Córdoba, Santa Fé, San Luis, La Pampa y Buenos Aires (Nicoli et al., 1989; Cabrera et al., 2005).

El empleo de arcillas en la remoción de metales tóxicos es una metodología de remediación investigada en diversas partes del mundo y de interés creciente en nuestro país, donde estas sustancias naturales se encuentran en abundancia y presentan características favorables para tal uso (Oliveira et al., 2003; Andrade et al., 2005; González et al., 2005; Mopoung et al., 2006; Storniolo et al., 2005 y 2007, Botto et al, 2011)).

La selección de las áreas con potencialidad en materiales arcillosos a relevar en la provincia de Córdoba se acotó principalmente, en base a la clasificación mineralógica y genética de los depósitos de arcilla de la provincia de Córdoba (Bertolino y Murray, 1996) y el informe sobre minerales industriales, arci-

llas y caolines de la Secretaría de Minería de la citada provincia (Cornaglia, 1990-91). Esta información se complementó con las hojas geológicas 3166-36, Valle de Calamuchita (Gaido et al., 2006); 3366-IV, Villa Dolores (Bonalmi et al., 1998); 3363-III, Río Cuarto (Degiovanni et al., 2005); 3366-II, Santa Rosa de Conlara (Costa et al., 1999); 3163-1, Jesús María (Candiani et al., 2010) y 3166-II, Cruz del Eje (Candiani et al., 1998). Otros antecedentes de valor para el relevamiento geológico y minero en el campo, fueron provistos por el sector de catastro minero de la Secretaría de Minería de la Provincia de Córdoba.

1.2. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en cuatro etapas:

- **Relevamiento geológico de las áreas preseleccionadas** en base a los antecedentes bibliográficos recabados. Consistió en toma de muestras compuestas sobre sedimentos aflorantes en barrancas y frentes de canteras, georreferenciadas mediante posicionador satelital GPS map 60CS Garmin. Se efectuaron también, mediciones de susceptibilidad magnética de las muestras por medio de un Susceptibilímetro GMS-2 portátil, de Geo Instruments, Ltd, de sensibilidad 1×10^{-5} SI (Sistema Internacional,) calibrado para realizar las mediciones en contacto directo con el sedimento. Estas mediciones se realizaron a los efectos de conocer y comparar los registros de susceptibilidad magnéticas de los sedimentos en los diferentes ambientes formacionales.
- **Procesamiento analítico de las muestras:** se realizó el análisis sedimentológico (separación granulométrica y estimación porcentual de las fracciones pelíticas), la determinación mineralógica por difracción de rayos X y los análisis químicos por fluorescencia de Rayos X e ICP.
- **Ensayos de testeo de adsorción de arsénico:** se implementaron mediante el equipo portátil de determinación semicuantitativa de arsénico Merckquant de la firma Merck.
- **Evaluación de resultados y conclusiones.**

Los análisis sedimentológicos se realizaron en el laboratorio de Sedimentología del Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM-SEGEMAR).

La caracterización mineralógica por difracción de Rx y los análisis químicos (FRX -ICP) se realizaron en los laboratorios del Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN-SEGEMAR). Los ensayos de

testeo de adsorción de arsénico se llevaron a cabo siguiendo el protocolo indicado por el kit de Test Merckquant, en el laboratorio químico del IGRM, SEGEMAR.

2. GEOLOGÍA

Los afloramientos de arcillas reconocidos se encuentran dentro del área de sierras y cordones montañosas que forman parte de la unidad morfoestructural denominada «Sierras Pampeanas Orientales» (Caminos, 1979; Ramos, 1999; Miró, 1999). En la provincia de Córdoba los cordones montañosos principales, de orientación submeridiana, son de este a oeste los de la sierras: Chica, Norte, Pajarillo-Copacabana-Masa y de Las Peñas; en el sector central: las sierras Grande y de Comechingones, y al oeste las sierras de Pocho, Serrezuela y de Guasapampa. Las unidades serranas están geológicamente constituidas por rocas metamórficas, granitoides y fajas miloníticas del Cámbrico y Ordovícico (ciclos Pampeano y Famatiniano); granitoides de dimensiones batolíticas (ciclo Achaliano), sedimentitas del Carbonífero y depósitos volcano-sedimentarios de edad cretácica. Los cordones montañosos fueron el resultado de la actividad tectónica compresiva ocurrida en el ciclo Ándico, que produjo la fragmentación, basculamiento y ascenso de los grandes bloques serranos, delimitados por fallas inversas longitudinales (Gordillo y Lencinas, 1979). Entre los bloques se encuentran valles intermontanos de origen estructural como los de Punilla, Calamuchita y San Alberto, que fueron rellenados por depósitos neógenos volcánicos y sedimentarios de origen eólico, fluvial y salino, parte de los cuales han sido objeto de esta investigación (Figura 1).

2.1. SITIOS DE MUESTREO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS

El relevamiento de campo realizado en la provincia de Córdoba se extendió en las regiones de las sierras Grande, norte de sierra Chica, porción sudoriental de la cuenca de las Salinas Grandes y sudeste de la sierra de los Comechingones comprendiendo diversas manifestaciones arcillosas en los departamentos San Alberto, San Javier, Santa María, Ischilín, Cruz del Eje y Río Cuarto. En la provincia de San Luis se extendió por el piedemonte suroccidental de la sierra de Comechingones. (Figuras 1 y 2).

Las manifestaciones relevadas se encuentran asociadas a unidades geológicas cuyas edades han

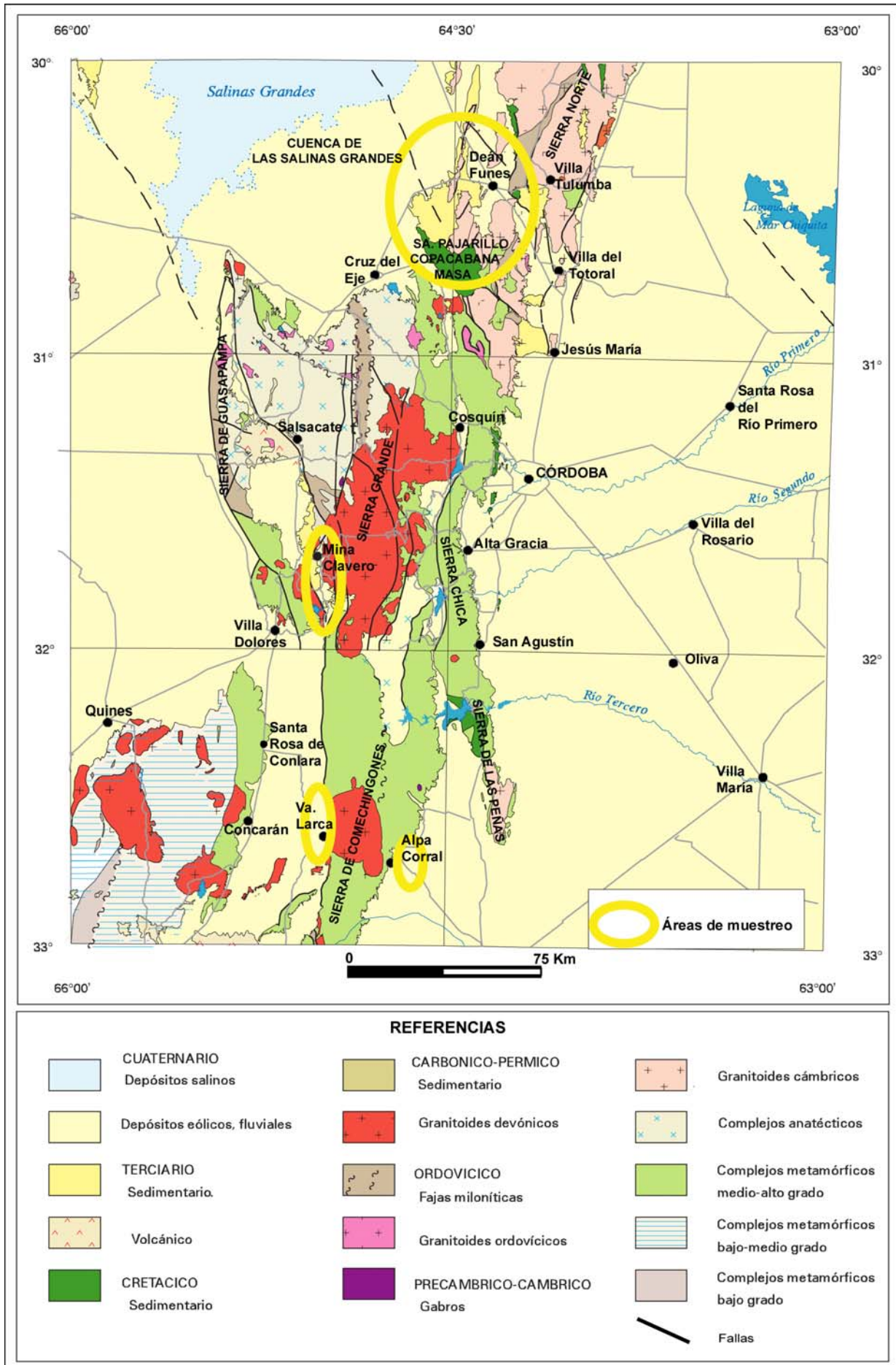


Figura 1: Geología simplificada de las Sierras Pampeanas Orientales y áreas de muestreo.

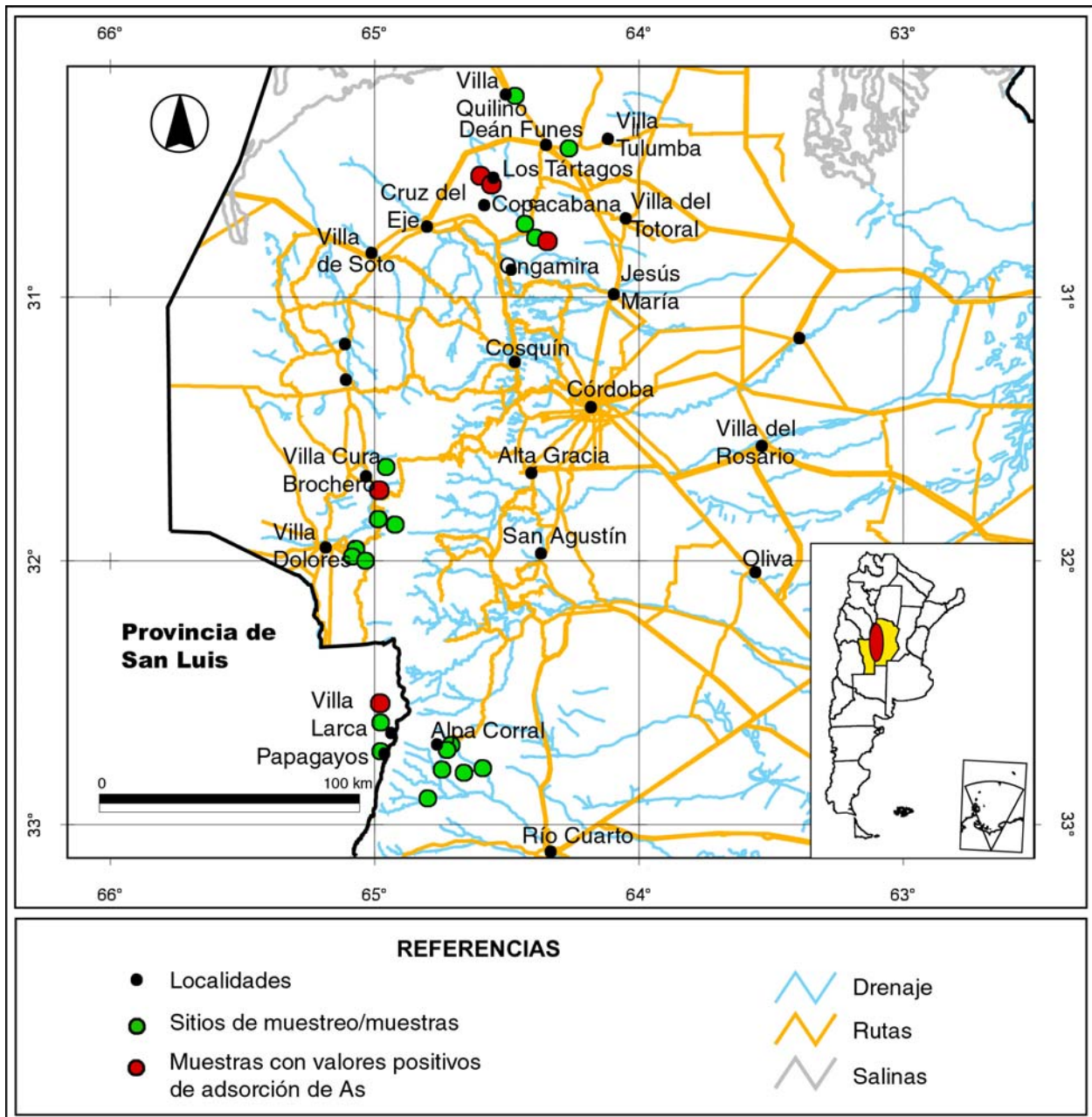


Figura 2: Ubicación de los sitios de muestreo.

sido asignadas a los periodos Terciario y Cuaternario (Cuadro 1).

Se agrupan en tres regiones en donde se han diferenciado distintos tipos de depósitos de acuerdo a los rasgos geomorfológicos y genéticos existentes:

2.1.1. REGIÓN DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LAS SIERRAS GRANDE Y DE COMECHINGONES

Comprende el piedemonte que se desarrolla en toda la vertiente occidental de las sierras Grande y de Comechingones. Los depósitos forman una unidad sedimentaria compuesta por diversas generaciones y niveles de abanicos aluviales que alcanzan es-

pesores considerables y que constituyen depósitos de piedemonte aterrazados (Methol, 1971). Los depósitos se unen a una cierta distancia del frente de sierra definiendo una bajada cuyo nivel de base esta formado por los ríos de Los Sauces (Córdoba) y, más al sur, el Conlara (San Luis).

2.1.1.1. Depósitos arcillosos de las facies marginales de los abanicos aluviales-coluviales

Constituyen una secuencia heterogénea donde alternan bancos discontinuos de conglomerados masivos, con bloques métricos, con intercalaciones arenosas conglomerádicas con abundante limo. Lateralmente

MUESTRA	COORDENADAS	DEPÓSITO	EDAD	SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA (SI)	DEPÓSITO
1	S31° 51' 42.6" W64° 55' 15.7"	A° El Cocal	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
2	S31° 51' 46.7" W64° 55' 13.4"	A° El Cocal	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
3	S31° 50' 32.4" W64° 59' 01.2"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
4	S31° 50' 29.5" W64° 59' 01.7"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
5	S31° 50' 29.3" W64° 59' 03.0"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
6	S31° 57' 16.1" W65° 04' 10.0"	Bca de Los Loros	Cuaternario	92x10 ⁻⁵	Coluvial; piedemonte
7	S31° 59' 04.3" W65° 04' 59.5"	Chuchiras	Cuaternario	52x10 ⁻⁵	Coluvial; piedemonte
8	S31° 59' 56.9" W65° 0' 1 59.4"	Achiras de Abajo	Cuaternario	110x10 ⁻⁵	Coluvial; piedemonte
9	S31° 50' 29.8" W64° 59' 01.7"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
10	S31° 50' 29.8" W64° 59' 01.6"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
11	S31° 50' 29.8" W64° 59' 01.6"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
12	S31° 50' 29.8" W64° 59' 01.6"	Mina Eureka	Terciario-Cuaternario	0-10x10 ⁻⁵	Alteración*
15	S32° 47' 30.7" W64° 44' 37.1"	San Bartolomé	Cuaternario	160x10 ⁻⁵	Aluvial
17	S32° 47' 14.3" W64° 35' 17.6"	Río Seco	Cuaternario	126x10 ⁻⁵	Aluvial
18	S32° 48' 15.7" W64° 39' 35.6"	La Invernada	Cuaternario	260x10 ⁻⁵	Aluvial
19	S32° 43' 00.9" W64° 43' 27.9"	Alpa Corral	Cuaternario	215x10 ⁻⁵	Aluvial
20	S32° 54' 02.2" W64° 47' 51.3"	Las Albahacas	Cuaternario	120x10 ⁻⁵	Aluvial
21	S32° 43' 19.5" W64° 58' 28.4"	El Recuerdo	Terciario-Cuaternario	0-80x10 ⁻⁵	Alteración*
22	S32° 32' 22.9" W64° 58' 35.8"	A° San Miguel	Cuaternario	120x10 ⁻⁵	Aluvial
23	S32° 36' 48.3" W64° 58' 29.4"	Bca. del Calvario	Cuaternario	100x10 ⁻⁵	Aluvial
25	S30° 14' 12.4" W64° 27' 59.0"	La Florida	Cuaternario	S/D	Aluvial
27	S30° 26' 09.7" W64° 15' 43.5"	Sauce Punco	Terciario	10-12x10 ⁻⁵	Sedimentario, lago
28	S30° 32' 23.0" W64° 35' 49.2"	Los Tártagos	Terciario	70-85x10 ⁻⁵	Sedimentario, lago
29	S30° 34' 22.2" W64° 33' 23.9"	Río Saguión	Terciario	10-12x10 ⁻⁵	Sedimentario, lago
30	S30° 43' 22.1" W64° 25' 46.0"	Las Higuieritas	Terciario	36-47x10 ⁻⁵	Sedimentario, lago
31	S30° 47' 15.4" W64° 20' 42.6"	Puesto Viejo	Terciario-Cuaternario	16-20x10 ⁻⁵	Falla
32	S30° 46' 26.0" W64° 23' 21.3"	El Reposo	Terciario	11-15x10 ⁻⁵	Sedimentario, lago

Cuadro 1: Resumen de las principales características de los depósitos de arcillas en los sitios de muestreo

* Por circulación de aguas termales. Los bajos valores de susceptibilidad magnética registrados en todas las muestras del borde occidental del batolito de Achala, son consistentes con los hallados en la roca parental (Geuna et al., 2008).

estas últimas pasan a lentes arcillosas pardo rojizas que pueden tener extensiones excepcionales de hasta 30 m y espesores que no superan los 5 m.

De las canteras habilitadas en estos sedimentos se han extraído materiales tanto para la industria ladrillera cerámica como para la alfarería. A este ambiente pertenecen las muestras de Barranca de Los Loros (006), Chuchiras (007), Achiras de Abajo

(008), arroyo San Miguel (022) y Barranca del Calvario (023) en la provincia de San Luis.

Manifestación Barranca de los Loros

Coordenadas: 31° 57' 10" S – 65° 04' 27" O

Muestra: 006

Acceso: la barranca de Los Loros se localiza sobre la margen derecha (norte) del arroyo Los

Molles, ubicado al oeste del centro de la localidad de Villa Las Rosas, en la zona conocida como El Barrial.

Características del depósito

La barranca está compuesta por material arenoso hacia la superficie y arcilloso-limoso hacia la base. La arcilla es de color marrón claro, con abundante muscovita. Posee una altura aproximada de 8 m. La muestra se tomó en un nivel intermedio, a 3 m de altura (Figura 3).

La roca sobre la que se ha depositado el material aluvial es de composición granítica. A pocos metros de la barranca muestreada se observa el contacto entre el granito y la roca de caja que es un gneis cuarzo biotítico, con una foliación metamórfica de rumbo e inclinación N350°/65° NE.

La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es de 92×10^{-5} SI.

Manifestación Chuchiras

Coordenadas: 31° 59' 07" S – 65° 04' 59,5" O
Muestra: 007

Acceso: la manifestación se encuentra en terrenos de la finca Villa Nieves, próxima a la escuela Luis Tessandori, a 700 m al sur del arroyo Chuchiras, en la localidad homónima.

Características del depósito

Consiste en un destape semicircular de 1 m de espesor compuesto por material arcilloso-limoso pardo rojizo. Hacia arriba se depositan rodados

de composición granítica de tamaño guijarro. La base no es visible (Figura 4).

La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es de 52×10^{-5} SI.

Manifestación Achiras de Abajo

Coordenadas: 31° 59' 56,9" S - 65° 01' 59,4" O
Muestra: 008

Acceso: se accede al depósito por el camino vecinal que conduce a la localidad de Achiras Abajo, a 800 m al sur del arroyo Chuchiras.

Características del depósito

Consiste en un frente de cantera 4 m de altura. El nivel inferior, de 3,50 m, es masivo, de color castaño, composición arcillosa de alta plasticidad, con delgadas intercalaciones calcáreas (Figura 5). El horizonte superior (50 cm) posee abundante materia orgánica y es de color marrón oscuro y de composición limo arcillosa.

La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es de 110×10^{-5} SI.

Manifestación Arroyo San Miguel

Coordenadas: 32° 32' 23" S – 64° 58' 35,8" O.
(985 m.s.n.m).

Muestra: 022

Acceso: El arroyo San Miguel se localiza entre las localidades de Villa Larca (sur) y Balcarce (norte), departamento Junín, provincia de San Luis). Se accede desde la intersección del arro-



Figura 3: Depósito de arcilla próximo al cauce del arroyo Los Molles, en la Barranca de los Loros, Las Rosas.



Figura 4: Depósito de arcilla al sur del A° Chuchiras, Chuchiras.

yo San Miguel con la RP N° 1 (puente), caminando 500 m aguas arriba (este).

Características del depósito

El depósito se ubica sobre la margen norte del arroyo San Miguel, de caudal torrentoso y estacional (seco en los meses de otoño-invierno-primavera) y que desciende del borde occidental de la sierra de Comechingones, con dirección oeste. Corresponde a un depósito de fluvio-aluvial, cuyo perfil tiene una potencia de 12 m y comienza con una base arcillosa (de donde se tomó la muestra) de 1 m de potencia, continúa una secuencia arenosa con bloques dispersos de granito de diámetro variable (inferior a 10 cm), con tendencia granodecreciente. Hacia arriba alternan capas irregulares de 50 cm a 1 m de espesor, de arena gruesa-grava y limo arcillas. (Figura 6). El color es castaño claro, la textura limo arcillosa.

La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es de 120×10^{-5} SI.

Manifestación Barranca del Calvario

Coordenadas: 32° 36' 48.3" S – 64° 58' 29.4" O. (1.075 m.s.n.m).

Muestra: 023

Acceso: partiendo desde la localidad de Villa Larca, departamento Junín, provincia de San Luis, se toma el camino que conduce a la Barranca del Calvario, ubicada 1 km al NE de la localidad de Villa Larca.



Figura 5: Depósito de arcilla en la localidad de Achiras de Abajo.

Características del depósito

Corresponde a un depósito coluvio-aluvial compuesto por una base limo arcillosa de 70 cm de espesor (de donde se tomó la muestra). Hacia arriba continúa con un banco conglomerádico de matriz arenosa que engloba clastos de tamaño variable (10 cm) de material granítico, cuarzoso y metamórfico en menor proporción. (Figura 7) La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es de 100×10^{-5} SI.

2.1.1.2. Depósitos de alteración hidrotermal y/o retransportados

Se han reconocido tres depósitos de éstas características. Uno corresponde al ubicado sobre el arroyo El Cocal (muestras 001, 002), afluente del arroyo El Perchel (en cercanías al paraje El Huai-co).

El segundo depósito corresponde a la mina Eureka (muestras 003, 004, 005, 009, 010, 011, 012), ubicada en la localidad de San Huberto, a 5 km al sur de la localidad de Nono, en el borde occidental del batolito de Achala. Se trata de una potente acumulación sedimentaria, emplazada en el bolsón de Nono, que muestra evidencias de microfracturación. Estas fracturas pueden haber sido las vías de circulación de aguas termales que provocaron la alteración hidrotermal de cuerpos pegmatítico-graníticos (Angelilli et al., 1980). Al sur de la mina Eureka existen



Figura 6: Depósito de arcilla próximo al cauce del arroyo San Miguel, San Luis.



Figura 7: Depósito de arcilla en el paraje Barranca del Calvario, Villa Larca, San Luis.

depósitos menores (Mina de Tierra y Mina la Hononada; Romagnino, 1999) a los que se les atribuyen relaciones de consanguinidad con ésta. Se destaca que los valores de susceptibilidad magnética hallados en muestras del arroyo Cocal y mina Eureka son bajos (0 a 10×10^{-5} SI), consistentes con los obtenidos para la facies porfiroide del granito del batolito de Achala, que varía entre 5 y 80×10^{-5} (SI), por lo que se lo clasifica como granito paramagnético (Geuna et al., 2008).

El tercer depósito es la cantera denominada El Recuerdo (muestra 021), ubicado en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones, próximo al batolito granítico de Cerro Áspero (Pinotti, 1998), afectado por la falla de Comechingones -falla que perturba a los tres depósitos involucrados-. En este último, los valores de susceptibilidad magnética hallados son también bajos (0 a 80×10^{-5} SI), a diferencia de las facies porfiroides del batolito de Cerro Áspero (Pinotti et al., 2006) que fueron caracterizadas como ferromagnéticas (portadoras de magnetita).

Manifestación Arroyo El Cocal

Coordenadas: $31^{\circ} 51' 46,7''$ L.S – $64^{\circ} 55' 13,4''$ L.O; (1331 m.s.n.m)

Muestras: 001, 002

Acceso: el depósito se ubica al este de la Mina Eureka, sobre el faldeo occidental de la sierra Grande y en las márgenes norte y sur del arroyo El Cocal, afluente del arroyo El Perchel.

Características del depósito

Sobre ambas márgenes del arroyo El Cocal, en una zona de pronunciada pendiente (zona de falla que afecta el borde occidental del granito de Achala) y concentración de bloques graníticos, se identificó una barranca de una altura aproximada de 5 m, en cuyo perfil se observa una notable variación textural y de coloración. En la base se reconoce una roca de composición granítica que hacia arriba se transforma en un agregado arcilloso y friable, de colores blanco-verdosos a rosado-rojizos, de probable origen hidrotermal, acumulados a modo de bolsones de 2 a 3 m de diámetro.

La susceptibilidad magnética del sedimento arcilloso es baja.

Manifestación Mina Eureka

Coordenadas: $31^{\circ} 50' 29,4''$ S - $64^{\circ} 59' 01,7''$ O

Muestras: 003, 004b (frente cantera), 005, 009, 010, 011 y 012 (mix pila).

Acceso: el depósito se ubica en la localidad de San Huberto al este de la RP N° 14, próxima al arroyo El Perchel.

Características del depósito

Bajo una cubierta superficial estéril de aproximadamente $1,5$ - 2 m de espesor, se localiza una potente acumulación sedimentaria, expuesta en el frente abierto de una cantera inactiva. Su composición es heterogénea, constituida por conglomerados de matriz limo-arenosa y lentes de material arcilloso-micáceo intercaladas, formando bandas de coloración variable de gris blanquecino-verdoso a rosado rojizo por tinción de óxidos de hierro (Figuras 8 y 8.1).

El yacimiento tiene un rumbo general ONO–ESE, buzamiento subvertical y una potencia promedio de 25 a 35 m. La corrida mineralizada es de unos 400 m, discontinua, diferenciándose dos cuerpos (Cornaglia, 1990-91). El análisis mineralógico del material arcilloso realizado (Bertolino y Murray, 1996) da una composición mayoritaria de illita (90 - 100 %) para la fracción inferior a 2 μ m. Se observan numerosas fracturas longitudinales que cortan el frente del depósito, a modo de posibles líneas de circulación de aguas. Dentro del material illítico verdoso-blanquecino se observan clastos de diferentes tamaños de cuarzo y epidoto.

Manifestación El Recuerdo

Coordenadas: $32^{\circ} 43' 19,5''$ S - $64^{\circ} 58' 28,4''$ O (1.070 m.s.n.m)

Muestra: 021



Figuras 8 y 8.1: Depósito de arcilla conocido como Mina Eureka, San Huberto.

Acceso: en la provincia de San Luis, a 3 km al sur de la localidad de Papagayos, se ubica el puesto Peralta a escasos metros al este de la RN N° 1. Desde el mencionado puesto se recorren 3 km al oeste por camino consolidado hasta arribar a la cantera de arcilla, actualmente en explotación.

Características del depósito

El depósito se ubica en el piedemonte occidental de la sierra de Comechingones. La zona está afectada por una falla inversa que levanta el bloque de la sierra de Comechingones, perturbando el borde occidental del batolito granítico de Cerro Aspero (Pinotti, 1998). La roca original, que se reconoce en la brecha de falla expuesta en la zona de explotación, corresponde a un granito gris rosado de grano medio.

La explotación actual, comprende un frente de cantera de 7 m de altura, sin banqueos, y un desarrollo de 20 m (N-S) y de 60 m (E-O). La roca original (granito) se encuentra totalmente alterada y convertida en un material arcilloso con diferentes tonalidades (verde, rojo, blanquecino, amarillento) y texturas, producto de la acción de la falla.

La susceptibilidad magnética es nula en los sectores de arcillas verde-blanquecina y rojo, mientras que en un sector de color castaño rojizo alcanzó los 80×10^{-5} SI (Figura 9).

Por encima del depósito se observa una cubierta de material coluvial conglomerádico (de aproxi-

madamente 2 m de potencia) matriz soportado, compuesto por clastos subredondeados y escasamente seleccionados de granitos, metamorfitas y cuarzos (bloques de hasta 20 cm de diámetro), cementados por una matriz areno-limosa (grano fino) y tonalidad rosada, cubierta por vegetación. La secuencia presenta una grosera estratificación con aparente inclinación al oeste.



Figuras 9: Depósito de arcilla El Recuerdo.

Topográficamente la explotación se ubica en el piedemonte serrano donde se observa un importante quiebre de pendiente respecto de la ladera serrana. El sector está formado por lomas bajas y suaves cubiertas por una vegetación densa, de color verde intenso (por encima del granito cataclástico) y de bajo porte y coloración verde más clara, menos densa, por sobre el conglomerado.

2.1.2. REGIÓN DEL PIEDEMONTTE ORIENTAL DE LA SIERRA DE COMECHINGONES

La zona está comprendida dentro de la provincia geomorfológica Llanura Chaco-pampeana y corresponde a la denominada «Faja eólica ondulada periserrana» (Cantú y Degiovanni, 1984).

El sector se caracteriza por formar lomas alargadas según la pendiente regional, predominando los sedimentos de origen eólico, con granulometría variable entre arena fina y limos finos. Pueden reconocerse también algunas morfologías de origen aluvial, como el abanico de Alpa Corral en la desembocadura del río Barrancas. Al sur de la mencionada localidad la zona se abre hacia la llanura pampeana.

2.1.2.1. Depósitos de terrazas fluviales y abanicos aluviales (fluvio-aluviales-coluviales).

El piedemonte oriental de la sierra de Comechingones está representado por depósitos aluviales y coluviales que afloran en una estrecha franja debido a que están cubiertos por mantos loésicos del Pleistoceno superior-Holoceno. Hacia el este de la faja predominan las arenas finas y los limos finos pero con algunos sectores de granulometría más gruesa especialmente aquellos de origen aluvial asociados al abanico del río de Las Barrancas o Seco. En el área de La Invernada (muestra 018) y San Bartolomé (muestra 015) se han acumulado materiales fluvio-eólicos cuyas potencias rondan los 10 m y presentan bolsones arcillosos, detectados también en la Barranca de Los Loros, Alpa Corral, (muestra 019).

Se incluyen las manifestaciones de río Seco (muestra 017) y Las Albahacas (muestra 020).

Manifestación San Bartolomé

Coordenadas: 32° 47' 30.8" S – 64° 44' 37.1" O.

Muestra: 015

Acceso: el depósito se ubica sobre la margen norte del río San Bartolomé, en la intersección del vado y de la RP N° 23 que conduce a la loca-

lidad de Alpa Corral, departamento Río Cuarto.

Características del depósito

Corresponde a una terraza antigua labrada por el río San Bartolomé. El perfil de la terraza tiene una altura de aproximadamente 8 m. La base es arenarcillosa, de 1 m de potencia; por encima sigue un banco de arcilla muy plástica de color marrón oscuro, de 1,5 m de espesor, de donde se tomó la muestra. Continúa un banco de arena media de 3 m de espesor, granodecreciente, con clastos redondeados y mal seleccionados en la base que alternan con bloques de 5 a 20 cm de diámetro de granito y metamorfita (relleno de paleocanal). Hacia arriba continúa un potente banco de material limo-arcilloso, de aproximadamente 3 m de espesor. El perfil culmina en el techo con una cubierta superficial estéril, (Figura 10).

La susceptibilidad magnética del material arcilloso es de 60×10^{-6} SI.

Manifestación Río Seco

Coordenadas: 32° 47' 14.3" S – 64° 35' 17.6" O. (697 m.s.n.m)

Muestra: 017

Acceso: el depósito se ubica sobre la margen norte del río Seco (aguas abajo del río Barrancas). El acceso se realiza por camino vecinal que une las localidades de Río Seco (este) y San Bartolomé (oeste), departamento Río Cuarto. A la altura del paraje La Invernada (escuela), se



Figura 10: Depósito de arcilla próximo al río San Bartolomé, San Bartolomé.

toma un desvío con rumbo norte que accede a un puesto habitado, después de recorrer 4 km. Desde el puesto se continúa a pié por un sendero marcado y tras el recorrido de 500 m se arriba al depósito que se ubica en la margen norte del río Seco.

Características del depósito

Corresponde a un nivel de terraza de aproximadamente 3 m de altura, compuesto por una matriz limo arcillosa con intercalaciones de lentes arenosas (Figura 11). El nivel pelítico yace a modo de bolsón discontinuo, es de color pardo rojizo (húmedo) y castaño rosado (seco) y tiene una potencia de 30 a 50 cm.

Manifestación La Invernada

Coordenadas: 32° 48' 15.7" S – 64° 39' 35.6" O. (719 m.s.n.m)

Muestra: 018

Acceso: el depósito se ubica en la margen norte del camino vecinal que une el paraje La Invernada (este) y San Bartolomé (oeste), a 9 km al este de la RP N° 23, departamento Río Cuarto.

Características del depósito

Corresponde a un depósito de abanico fluvio-aluvial, ubicado en la parte distal del mismo. El afloramiento posee una potencia de 4 m y está compuesto por un material limo arcilloso de textura homogénea, grano fino, color castaño rosado (seco) y marrón oscuro (húmedo). Topográfica-

mente el sector corresponde a una hondonada o bajo (Figura 12).

El material ha sido objeto de explotación para uso vial, aunque actualmente la labor, de desarrollo N-S, se ha destinado como basurero. Se encuentra en medio de un sembradío de soja.

Manifestación Alpa Corral

Coordenadas: 32° 43' 00.9" S – 64° 43' 27.9" O. (850 m.s.n.m)

Muestra: 019

Acceso: el depósito se ubica sobre en la margen este de la RP N° 23, a 3 km al sur de la localidad de Alpa Corral, departamento Río Cuarto.

Características del depósito

Corresponde a un depósito de abanico fluvio-aluvial, ubicado en la parte media del mismo. El afloramiento posee una potencia de 2 m y está compuesto por un material limo arcilloso con fracciones de arena fina, color castaño amarillento en seco (Figura 13).

Manifestación Las Albahacas

Coordenadas: 32° 54' 02.8" S – 64° 47' 51.3" O. (850 m.s.n.m).

Muestra: 020

Acceso: el depósito se ubica en la margen norte del camino que conduce a la localidad de Las Albahacas, a 2 km de la intersección con la RP N° 23, departamento Río Cuarto.



Figura 11: Depósito de arcilla sobre la margen norte del río Seco, Río Seco.



Figura 12: Depósito de arcilla en el paraje La Invernada.



Figura 13: Depósito de arcilla al sur de la localidad de Alpa Corral.

Características del depósito

Corresponde a un depósito de abanico fluvio-aluvial, ubicado en su parte media. El afloramiento posee una potencia de 4 m y está compuesto por un material limo arcilloso con fracciones de arena fina, de textura homogénea, color castaño rosado. La extensión areal en sentido E-O es de aproximadamente 50 m. (Figura 14).

La susceptibilidad magnética es de 120×10^{-5} SI.



Figura 14: Depósito de arcilla próximo a la localidad de Las Albahacas.

2.1.3. REGIÓN NORTE DE LA SIERRA CHICA Y PORCIÓN SUDORIENTAL DE LA CUENCA DE LAS SALINAS GRANDES

La región forma parte de una extensa cuenca sedimentaria meso-cenozoica limitada por el bolsón de las Salinas Grandes al norte y el sistema de las sierras Norte al este y Chica al sur.

2.1.3.1. Depósitos sedimentarios lagunares continentales (lagos salinos, alcalinos).

Los depósitos corresponden a una secuencia continental terciaria (Mioceno-Plioceno) expresada en el extremo norte de la sierra de Masa, constituidos por fangolitas, limolitas y arcilitas con intercalaciones de areniscas (Formación Saguión), Candiani et al., 1998; 1999). Corresponden a este grupo los depósitos de Sauce Punco (muestra 027), Los Tártagos (muestra 028), Saguión (muestra 029), sur de Las Higueritas (muestra 030) y El Reposo (muestra 032), al este de Ongamira.

Manifestación Sauce Punco

Coordenadas: $30^{\circ} 26' 09.7''$ S – $64^{\circ} 15' 43.5''$ O. (903 m.s.n.m).

Muestra: 027

Acceso: el depósito se ubica en la margen norte de la RP N° 16 que comunica la localidad de Deán Funes y el paraje Inti Huasi, departamento Ischilín, a 9,5 km al este de la primera localidad y a 4 km al suroeste de Inti Huasi.

Características del depósito:

Consiste en una secuencia estratificada que comienza en la base con una intercalación de bancos arcillosos y arenosos de 3 m de potencia, con niveles carbonáticos, sobre el que se deposita una secuencia (1 m) de conglomerados clasto sosten, angulosos, de composición granítica.

La cantera se encuentra abandonada y fue explotada por Cerámica Deán Funes; posee taludes verticales sin banqueo (Figura 15).

El material arcilloso es de color rojo, friable.

La susceptibilidad magnética es de 12×10^{-5} SI.

Manifestación Los Tártagos

Coordenadas: $30^{\circ} 32' 23''$ S – $64^{\circ} 35' 49.2''$ O. (646 m.s.n.m).

Muestra: 028

Acceso: el acceso al paraje Los Tártagos se ubica a 150 m al norte de la intersección de las RN N° 38 y RP N° 16. Es un camino consolidado que con rumbo NE y tras el recorrido de 28 km,



Figura 15: Depósito de arcilla Sauce Punco.



Figura 16: Depósito de arcilla en cantera ubicada en el paraje Los Olivares, Los Tártagos.

permite el acceso al depósito ubicado en el paraje Los Olivares, 3 km antes de llegar a Los Tártagos, departamento Ischilín.

Características del depósito

Está constituido por 15 a 35 m de depósitos continentales rojizos de granulometría fina. La secuencia se compone mayoritariamente de pelitas color rojo a marrón rojizo oscuro con areniscas rojas subordinadas (Figura 16). Las pelitas están representadas por arcillitas, limolitas y fangolitas masivas a levemente laminadas, friables a ligeramente endurecidas, dispuestas en capas de 2 a 30 cm de espesor que, como en las fangolitas masivas, pueden llegar hasta los 2 m. Las areniscas varían de medianas a muy gruesas, son váquicas, con sábulos dispersos, están poco consolidadas y tienen estructura entrecruzada, laminación horizontal o masiva, y se disponen en capas de 2 a 40 cm de espesor (Candiani et al., 1998).

La cantera se encuentra actualmente abandonada y parcialmente inundada. Fue explotada por Cerámica Cruz del Eje. La susceptibilidad magnética es de $70-85 \times 10^{-5}$ SI.

Manifestación Saguión

Coordenadas: $30^{\circ} 24' 22.2''$ S – $64^{\circ} 33' 23.9''$ O. (728 m.s.n.m).

Muestra: 029

Acceso: a 3 km al este del paraje Los Olivares, próximo a Los Tártagos, (departamento Ischilín), se desprende un camino consolidado y poco transitado

que, con rumbo sur, comunica Los Tártagos con Copacabana y que permite, tras el recorrido de 5,5 km, arribar al depósito actualmente en explotación.

Características del depósito

Consiste en una acumulación de sedimentitas rojas que forman un banco interestratificado de 4 m de potencia, con alternancia de pelitas, areniscas rojas y delgados niveles de yeso cristalino intercalados, sin base expuesta. Se hallaron dos ejemplares de gasterópodos con tinción rojiza en su caparazón calcárea, de 1,5 cm de largo, correspondientes al género *Spixia* sp, según determinación de bióloga Romina Scarpa, (IGRM) y cuyas características corresponderían a ambiente continental, de acuerdo a opinión de los especialistas Claudia del Río y Sergio Miquel del Museo de Ciencias Naturales, Bernardino Rivadavia, de Buenos Aires (Figura 17). En una zona marginal, a nivel de base de la cantera, se observa una manifestación lagunar con abundante desarrollo de juncos en su interior.

Los depósitos serían continentales, de transición a probable ambiente marino, (ingresión paranense), (Bertolino, 2000).

La cantera fue explotada por Cerámica Cruz del Eje y actualmente es explotada por la firma Cerro Negro (Figura 18). La susceptibilidad magnética de los sedimentos arcillosos es de 12×10^{-5} SI.

Manifestación Las Higuieritas

Coordenadas: $30^{\circ} 43' 22.07''$ S – $64^{\circ} 25' 45.95''$ O.

Muestra: 030



Figura 17: Gasterópodo *Spixia* Sp obtenido en depósito de arcilla próximos al río Saguión.

Acceso: el depósito se localiza a 3 km al sur del paraje Las Higuieritas y se accede al mismo por el camino consolidado que se desprende de la RP N° 17, 4 km antes de llegar a la gruta de Ongamira (oeste-este), departamento Ischilín.

Características del depósito

Secuencia sedimentaria continental rojiza, compuesta por una alternancia de areniscas micá-



Figura 18: Depósito de arcilla próximo al río Saguión.

ceas de grano fino y pelitas de 40 cm de espesor (Figura 19).

La susceptibilidad magnética del nivel arcilloso es de $36-47 \times 10^{-5}$ SI.

Manifestación El Reposo

Coordenadas: 30° 46' 26" S – 64° 23' 21.3" O

Muestra: 032

Acceso: el depósito se ubica sobre la RP N° 17, a 4,5 km al este de la intersección de los caminos Ongamira-Ischilín, en proximidades de la comunidad Evangelista El Reposo.

Características del depósito

Se trata de una arcilla roja, friable, plástica que fue utilizada para impermeabilizar la presa de Los Nogales (Jesús María) (com. verbal Sr Suárez, Puesto Viejo). El nivel pelítico tiene un espesor de aproximadamente 70 cm. Se observan procesos de salinización, (Figura 20).

La susceptibilidad magnética del material arcilloso es de $11-15 \times 10^{-5}$ SI.

2.1.3.2. Depósitos aluviales y coluviales

Los depósitos están representados por acumulaciones fluvio torrenciales de composición limo arenosa y limo arcillosa que presentan alto contenido de carbonatos. Forman lomadas aterrazadas en una zona llana cubiertas por materiales loésicos, lacustres y salinos cuaternarios.



Figura 19: Depósito de arcilla ubicado al sur del paraje Las Higuieritas.



Figura 20: Depósito de arcilla ubicado en el paraje El Reposo, Ongamira.

Corresponde a esta zona la muestra 025 ubicada al sureste de la localidad de Villa Quilino, en ámbitos del valle intermontano.

Manifestación La Florida

Coordenadas: 30° 14' 12.4" S – 64° 27' 59" O. (451 m.s.n.m).

Muestra: 025

Acceso: se realiza por un camino que se desprende de la RN N° 9 (N) en el paraje La Florida, transitando 1,7 km con rumbo SE hasta un campo privado. El depósito se ubica dentro de la finca rural del Sr Bignoli, a 2 km al sur de la localidad de Quilino, departamento Ischilín.

Características del depósito

Corresponde a un depósito de llanura aluvial, observable en un perfil de un zanjón E-O cavado a partir de una vertiente dentro del campo. Su base está compuesta por un banco de 0,60 m de espesor y extensión lateral visible, de arcilla verdosa oscuro en húmedo, muy plástica y que arrojó elevado contenido de carbonato en el análisis en seco. Por encima se depositan un nivel de 1 m de espesor de limo y arcilla y en el techo 0,80 m de arena y limo (Figura 21)

2.1.3.3. Depósitos residuales asociados a zonas de fallas

Son depósitos vinculados genéticamente a una zona de falla que afecta a una pegmatita subverti-



Figura 21: Depósito de arcilla ubicado en el paraje La Florida, Quilino.

cal emplazada en rocas gnéissicas del basamento plutónico-metamórfico paleozoico. La falla afecta el borde oeste de la pegmatita (Bertolino y Murray, 1996). En la zona de muestreo, el material se dispone a modo de bolsón, a ambos lados de una huella, dentro de la propiedad rural denominada Puesto Viejo (muestra 031).

Manifestación Puesto Viejo

Coordenadas: 30° 47' 15.4" S – 64° 20' 42.6" O

Muestra: 031

Acceso: se accede por la RP N° 17, un camino consolidado que une los parajes de Ongamira y Todos los Santos, en el departamento Ischilín. A 6 km al este de la gruta de Ongamira se desprende un camino hacia el sur que conduce al establecimiento rural denominado Puesto Viejo, de propiedad del Sr. Suárez, dentro de cuya finca deben recorrerse en dirección sur 2,5 km hasta llegar al depósito.

Características del depósito

La manifestación resulta de la alteración de un granitoide-pegmatóide que ha sido afectado por una falla de rumbo N-S. El material se dispone en forma de bolsón y se concentra a ambos lados de una huella dentro de la propiedad. La potencia del nivel visible no supera los 40 cm y no se puede estimar su extensión lateral, por la ausencia de labores, (Figura 22).



Figura 22: Depósito de arcilla ubicado en el paraje Puesto Viejo, Ongamira.

La arcilla es de color rojo oscuro, con textura friable, se presenta en terrones irregulares de mediana dureza y aspecto mantecoso.

La susceptibilidad magnética del material arcilloso no supera los 20×10^{-5} SI.

3. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS

El procesamiento analítico de las muestras se inició en el laboratorio de sedimentología del IGRM con la clasificación granulométrica de los sedimentos seleccionados. Se realizaron tamizados por vía húmeda y seca. Por la primer vía húmeda*, se cuantificaron los porcentajes de la fracción pelítica, portadora de las arcillas de interés para adsorber arsénico. Por vía seca se tamizó y recuperó la fracción pelítica a los efectos de proveer el material necesario y adecuado para realizar los ensayos mineralógicos, químicos y de testeo por arsénico, posteriores.

Fracción	Malla del tamiz	ϕ	Tamaño
Arena	230	4ϕ	$>0.063\text{mm}$
Pelítica			$<0.063\text{mm}$ ($63\mu\text{m}$)

Cuadro 2. Escala de grados Wentworth

3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS

Separación granulométrica

Para la determinación porcentual de fracciones se empleó el método de tamizado por vía húmeda*, sobre 20 a 50 g promedio de cada muestra, separando la fracción arena de acuerdo a la escala de grados de Wentworth, (Cuadro 2)

Tamizado por vía seca

Se realizó mediante un tamizador de rotopercusión Zonytest, obteniéndose fracciones menores a $63 \mu\text{m}$ (pelíticas), las cuales mantienen sus condiciones originales pues no presentan contaminación externa ni alteración térmica de los minerales planares (ej. destrucción de capas de agua por altas temperaturas, adsorción de elementos presentes en el agua, etc).

Estimación de porcentajes

- Región vertiente occidental de sierras Grande y de Comechingones (cuadro 3)
- Región del piedemonte oriental de la sierra de Comechingones (cuadro 4)
- Región norte de la sierra Chica y porción sudo-oriental de la cuenca de las Salinas Grandes (cuadro 5)

3.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

Metodología

Se utilizó la técnica de Difracción por Rayos X, de aplicación específica para el reconocimiento de los minerales constituyentes de las fracciones pelíticas y de los filosilicatos, ($< 2 \mu\text{m}$) de las muestras, mediante un difractómetro marca Philips, modelo X'Pert MPD, con radiación K α de Cu, en los intervalos de barrido 2 theta comprendidos entre $5-70^\circ$ («no orientado») y entre $2-30^\circ$ («orientados») con paso/tiempo de $0,03^\circ/2\text{s}$.

Se analizó la composición mineralógica de la fracción pelítica de las muestras y de la fracción arcilla ($< 2 \mu\text{m}$), confeccionando preparaciones de polvo «no orientadas» y preparaciones de agregados «orientadas».

* La pérdida por tamizado por vía húmeda es del 0,2% y debe tenerse en cuenta que el ensayo es destructivo, ya que la fracción menor a 63 micras m no puede ser recuperada. Si es preciso, la muestra es previamente secada en horno a baja temperatura y disgregada con mortero de mano.

Muestra	Peso gr	% Arena	% Pelita
002, A° El Cocal	20	39,9	60,1
006, Bca. Los Loros	20	57,5	42,5
007, A° Chuchiras	20	42,5	57,5
008, Achiras de Abajo	20	27	73
012, Mina Eureka	20	25,66	74,34
021 B-C, El Recuerdo	30	79	21
021 D, El Recuerdo	30	42	58
022, A° San Miguel	30	34	66
023, Bca. del Calvario	30	27	73

Cuadro 3. Porcentual de fracciones, región vertiente occidental de sierras Grande y de Comechingones

Muestra	Peso gr	% Arena	% Pelita
015, San Bartolomé	20	7,5	92,5
017, Río seco	20	16,7	83,3
018, La Invernada	20	25	75
019, Alpa Corral	20	15,4	84,6
020, Las Albahacas	20	29	71

Cuadro 4. Porcentual de fracciones, región del piedemonte oriental de la sierra de Comechingones

Muestra	Peso gr	% Arena	% Pelita
025, La Florida	50	30	70
027, Sauce Punco	50	10	90
028, Los Tártagos	50	18	82
029, Río Saguión	50	2	98
030, Las Higuieritas	30	42	58
031, Puesto Viejo	30	16	84
032, El Reposo	30	5	95

Cuadro 5. Porcentual de fracciones, región norte de la sierra Chica y parte sudoriental de la cuenca de las Salinas Grandes.

Muestra	FRACCIÓN PELÍTICA							
	Qz	Fil	PI*	FK*	Ca	He	Anf	Ye
012, Mina Eureka	xxx	xx	x	x				
022, A° San Miguel	xxx	xx	xx	x	-	x	x	-
028, Los Tártagos	xxx	xxx	xx	x	x	x		
029, Saguión	xxx	xx	xx	x	xx	x		x
031, Puesto Viejo	xxx	xx	xx	x	xx	xx		

Cuadro 6: Composición mineralógica de la fracción pelítica

dos» (natural, calcinado a 550° C y glicolado). El análisis de datos se realizó utilizando el programa High Score Plus de PANalytical.

Se presentan los resultados cuali-cuantitativos de la mineralogía correspondiente a las muestras 012, 022, 028, 029 y 031 (cuadro 6), (ver Anexo 2, difractogramas respectivos):

En el cuadro 7 se muestra la composición de los filosilicatos (Fil) en la fracción menor a 2 µm con estimación de su contenido relativo y en el Anexo 2 los difractogramas respectivos:

3.3. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis se realizaron sobre la fracción pelítica de las muestras, para conocer cuantitativamente los elementos mayoritarios, utilizando la siguiente metodología analítica: a) Estabilización de la muestra a 105-110° C y posterior análisis por fluorescencia de Rayos X, dispersivo en longitud de onda, empleando como método de preparación de muestras la fusión automática con tetraborato de litio como fundente y utilizando Materiales de Re-

Muestra	FILOSILICATOS				
	K*	Sm*	Mi/I*	Cl*	otros
012, Mina Eureka	x		xxx	x	
022, A°. San Miguel	x	x	xxx	-	Talc
028, Los Tártagos	x	I/S?	xxx	x	
029, Saguión	x	xxx	xx	x	
031, Puesto Viejo	x	xx	xxx	x	V?
Referencias: K: caolinita; Sm: esmectitas; Mi/I: mica/illita; Cl: cloritas; V: vermiculita; Talc: talco; ?: componente dudoso					

Cuadro 7: Composición mineralógica de la fracción de filosilicatos

Analito	012	022	028	029	031
SiO ₂ (g/100g)	49,93	61,15	61,14	56,95	48,11
Al ₂ O ₃ (g/100g)	32	16,5	14,58	15,77	14,98
Fe ₂ O ₃ (g/100g)	1,56	6,06	6,18	5,84	5,46
TiO ₂ (g/100g)	0,07	0,82	0,9	0,77	0,73
P ₂ O ₅ (g/100g)	0,06	0,19	0,16	0,16	0,15
MnO (g/100g)	0,08	0,12	0,1	0,09	0,05
CaO (g/100g)	0,28	1,65	2,08	4,15	10,06
MgO (g/100g)	0,82	1,8	3,18	3,54	2,21
Na ₂ O (g/100g)	0,05	3,36	3,26	1,52	0,9
K ₂ O (g/100g)	9,41	2,77	3,2	3,85	3,72
SO ₃ (g/100g)	0,05	< 0,01	0,2	0,21	<0,01
Pérdida por calcinación a 1000°C (g/100g)	5,45	5,2	4,44	6,91	13,33
Total	99,76	99,62	99,42	99,76	99,7

Cuadro 8: Análisis químico de elementos mayoritarios

Analito (µg/g)	022	028	029	031
Arsénico	8	2	11	<2
Plomo	17	12	7	13
Cinc	78	88	57	46

Cuadro 9: Contenidos de arsénico, plomo y cinc

ferencia Certificados para su calibración y validación.

Resultados obtenidos

En el cuadro 8 se muestran los datos del análisis químico para las muestras indicadas.

b) La determinación de As, Pb y Zn (cuadro 9), se realizó sobre cuatro muestras, mediante digestión ácida a temperatura controlada y posterior análisis por espectrometría de emisión atómica por plasma inductivo, (ICP). Se utilizaron materiales de referencia certificados para la validación de los resultados.

4. ENSAYOS DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO

Los filosilicatos hallados en las muestras analizadas por Rayos X (esmectitas, micas, illitas, caolinitas), por su estructura laminar y sus particulares propiedades físico-químicas tales como elevada superficie específica y capacidad de absorción y adsorción (García Romero et al., 2002; Bravo, 2004), tienen la capacidad de interaccionar con diversas sustancias y por ello actúan como adsorbentes de distintos contaminantes como el arsénico.

La adsorción de compuestos arsenicales por las diferentes arcillas se comprobó mediante la aplicación de una metodología sencilla, efectiva y rápida, de reconocida confianza, sensibilidad y empleo en la detección de arsénico a través de su evolución como gas AsH_3 (arsina), según técnica desarrollada (Marsh y Lockmann, 1935), base del diagnóstico experimental empleado por el equipo de testeo de la firma Merck.

Inicialmente, se procedió a lixiviar diferentes arcillas en su fracción pelítica, con agua potable a la que se añadió una cantidad definida de arsénico V, observándose mediante determinación colorimétrica según Test Merckoquant*, la disminución progresiva de este elemento en la fase acuosa para algunas de las muestras testeadas.

El testeo se realizó mediante el equipo portátil de determinación semicuantitativa de arsénico Merckquant de la firma Merck, que dosifica el arsénico por liberación de arsina (AsH_3) y realiza la detección por desarrollo de color mediante HgBr_2 . El rango de detección del test varía entre -0.01 y 0.5 mg As/l. Los datos obtenidos por el método colorimétrico empleado fueron corroborados por ICP óptico a 188,979 nanómetros (nm), comprobándose una dispersión resultante en el procedimiento utilizado de $\pm 15\%$ debida al error posible por la subjetiva percepción visual.

La determinación del pH de la dispersión durante la experiencia se realizó mediante un «pHmetro

«pH206» de la firma Lutron, que utiliza un electrodo combinado de membrana de vidrio.

4.1. METODOLOGÍA

Para el testeo se utilizaron muestras de arcillas previamente tamizadas en su fracción pelítica (menor a 63 micrones) y agua potable de bidón marca «Aqualine» controlada por Normas ISO 9001-2000 verificándose su contenido de arsénico y determinándose el pH.

As menor a 0,005 mg/l
pH = 7,28 a 20° C

Sobre un total de 18 muestras, se prepararon, con cada una de ellas, dispersiones de 20 gr de arcilla, en 500 ml de agua observándose la estabilización del pH al cabo de 24 hs y luego midiéndose la eventual liberación de arsénico contenido originalmente en las muestras de arcilla hacia el agua potable. Se ejemplifican en el cuadro 10, las mediciones obtenidas para cinco muestras:

Posteriormente, se agregó arseniato disódico monoácido ($\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) al agua de las dispersiones previas, siendo la concentración inicial de arsénico en la solución acuosa de 0,25 mg As/l. Se agitó el sistema mecánicamente hasta conseguir una dispersión homogénea y se tomaron muestras en lap-

Muestra	pH (a 20 ° C)	Arsénico liberado (mg/l)
012	7,3	<0,005
0 22	7,48	0,005
0 28	8,28	0,01
0 29	7,43	0,005
0 31	7,35	0,005

Cuadro 10: Mediciones de arsénico liberado en agua por arcillas originales

Muestras	12	22	28	29	31	Tiempo (horas)
pH	7,3	7,32	7,88	7,35	7,38	
Concentración inicial de As mg/l	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0
Concentración de As en la fase acuosa mg/l	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	1
	0,25	0,25	0,1	0,2	0,1	4
	0,1	0,25	0,1	0,15	0,05	48
	0,1	0,2	0,05	0,1	0,04	72
	0,1	0,15	0,05	0,1	0,04	120
	0,05	0,15	0,05	0,1	0,04	168

Cuadro 11: Variaciones en el contenido de arsénico vs tiempo

* Este test es el único recomendado por UNICEF, para su uso en Bangladesh, por ser el único kit que alcanza los estándares de calidad (Kohnhorst and Pranabananda, 2000).

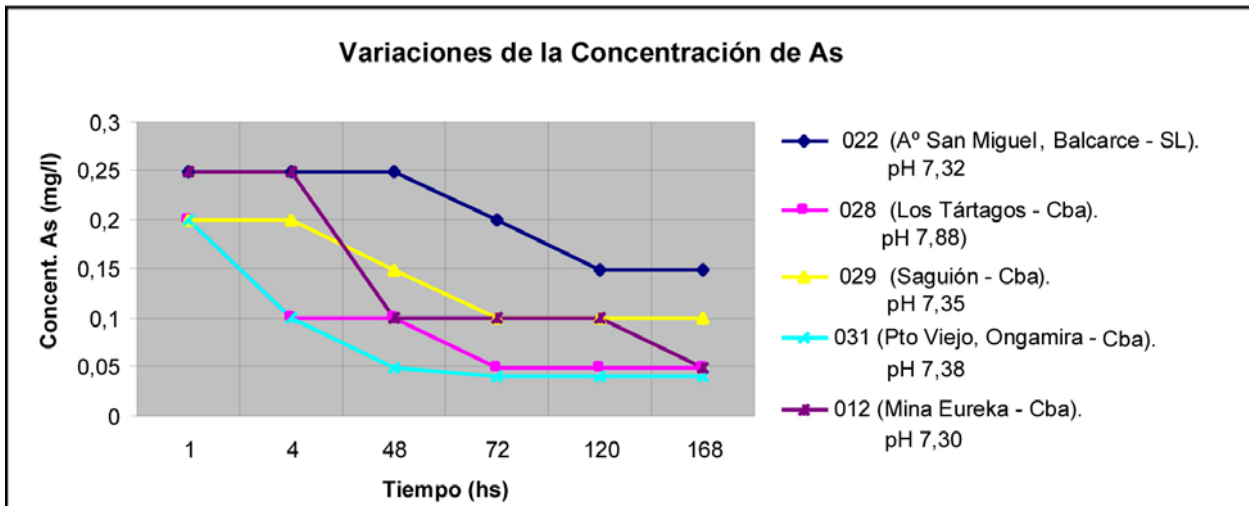


Figura 23: Diagrama de variaciones en la concentración de arsénico v. tiempo

sos definidos, separándose las fases por decantación y/o centrifugación, analizándose el contenido de arsénico en las soluciones en función del tiempo.

En el cuadro 11, se muestran las mediciones y variaciones en la concentración de arsénico, para las muestras seleccionadas, a los pH indicados, en función del tiempo de la experiencia y en la figura 23, se representa el diagrama correspondiente:

4.1.2. CÁLCULO Y RESULTADOS DEL ENSAYO

El cálculo del arsénico retenido se ejemplifica con la muestra 022 del cuadro 11, donde

20 gr de arcilla se dispersaron en 0,5 litros de agua a la cual se agregó arsénico V hasta alcanzar una concentración en la fase acuosa de 0,25 mg As/l. Al cabo de 120 horas se obtiene una concentración final de 0,15 mg As/l, la diferencia entre ambos valores de concentración indica la cantidad retenida por la arcilla. En el ejemplo:

$0,25 \text{ mg/l} - 0,15 \text{ mg/l} = 0,10 \text{ mg As/l}$. Considerando que el volumen de agua utilizada fue de 0,5

litros, esto representa 0,05 mg de As adsorbido en 20 gr de arcilla. Expresado por cada 100 mg de arcilla, mediante simple cálculo aritmético, se obtiene 0,25 mg de arsénico retenido para el ejemplo de la muestra 022, (cuadro 12).

De este modo, bajo las condiciones de la experiencia realizada sobre dieciocho muestras de pelitas de diferentes procedencias, se constataron en cinco de ellas valores positivos de adsorción de arsénico por cada 100 gr de la pelita empleada:

Muestra 012: (Mina Eureka) retiene hasta 0,50 mg/As.

Muestra 022: (A° San Miguel) retiene hasta 0,25 mg/As.

Muestra 028: (Los Tártagos) retiene hasta 0,50 mg/As.

Muestra 029: (Saguión) retiene hasta 0,37 mg/As.

Muestra 031: (Puesto Viejo) retiene hasta 0,53 mg/As.

En función de lo observado experimentalmente y por la velocidad de eliminación de arsénico, la mues-

Tiempo (horas)	MUESTRAS				
	012	022	028	029	031
	% As retenido en arcilla	% As retenido en arcilla	% As retenido en arcilla	% As retenido en arcilla	% As retenido en arcilla
1	0	0	20	20	20
4	0	0	60	20	60
48	60	0	60	40	80
72	60	20	80	60	84
120	60	40	80	60	84
168	84	40	80	60	84

Cuadro 12: Porcentajes de arsénico retenidos por las arcillas considerando como 100% la concentración inicial de 0,25 mg/l de arsénico por cada muestra

tra 031 (Puesto Viejo) resulta la más adecuada para su empleo como agente natural para la descontaminación de arsénico en aguas excedidas en los valores límite para este elemento.

5. CONCLUSIONES

- En la experiencia de testeo realizada sobre 18 muestras de arcillas de diferentes ambientes, se concluye desde el aspecto genético, que las mejores respuestas de adsorción de arsénico están dadas por las arcillas de probable origen por alteración hidrotermal y aquellas procedentes de depósitos residuales asociados a zonas de fallas, como Mina Eureka, (012) y Puesto Viejo (031), respectivamente. También las arcillas rojas de sedimentación lagunar y edad terciaria, Los Tártagos (028) y Saguión (029), muestran valores positivos de extracción de arsénico. En proporción inferior, se manifiesta el depósito de Arroyo San Miguel (022), de ambiente fluvio-aluvial, donde se registra zeolita como mineral accesorio.
- La composición mineralógica de las muestras sometidas a Difracción por Rayos X arrojó el siguiente resultado: Mina Eureka (012); Arroyo San Miguel (022); Los Tártagos (028) y Puesto Viejo (031), son mayoritariamente arcillas illíticas, con caolinita y esmectita subordinadas. La muestra obtenida en Saguión (029), es mayoritariamente esmectítica con illita y caolinita subordinadas.
- La mayor capacidad de adsorción de As coincide con el predominio de minerales del grupo de los filosilicatos, caolinita, illita y esmectitas en menor proporción, en las muestras 029 (Saguión) y 031 (Puesto Viejo).
- Los valores de susceptibilidad magnética de los depósitos de arcillas (El Cocal, Mina Eureka, El Recuerdo) de probable origen por alteración hidrotermal de los granitoides devónicos, son bajos, comprendidos entre 0 y 80×10^{-5} SI.
- Los óxidos férricos están presentes en porcentajes relativamente bajos en todas las muestras testeadas como positivas, de 5-6 % a 1,56 % de Fe_2O_3 . Se destaca que estos porcentajes son sensiblemente inferiores a los señalados por la bi-

bliografía consultada para otras arcillas rojas adsorbentes de diferente génesis, edad y composición mineralógica.

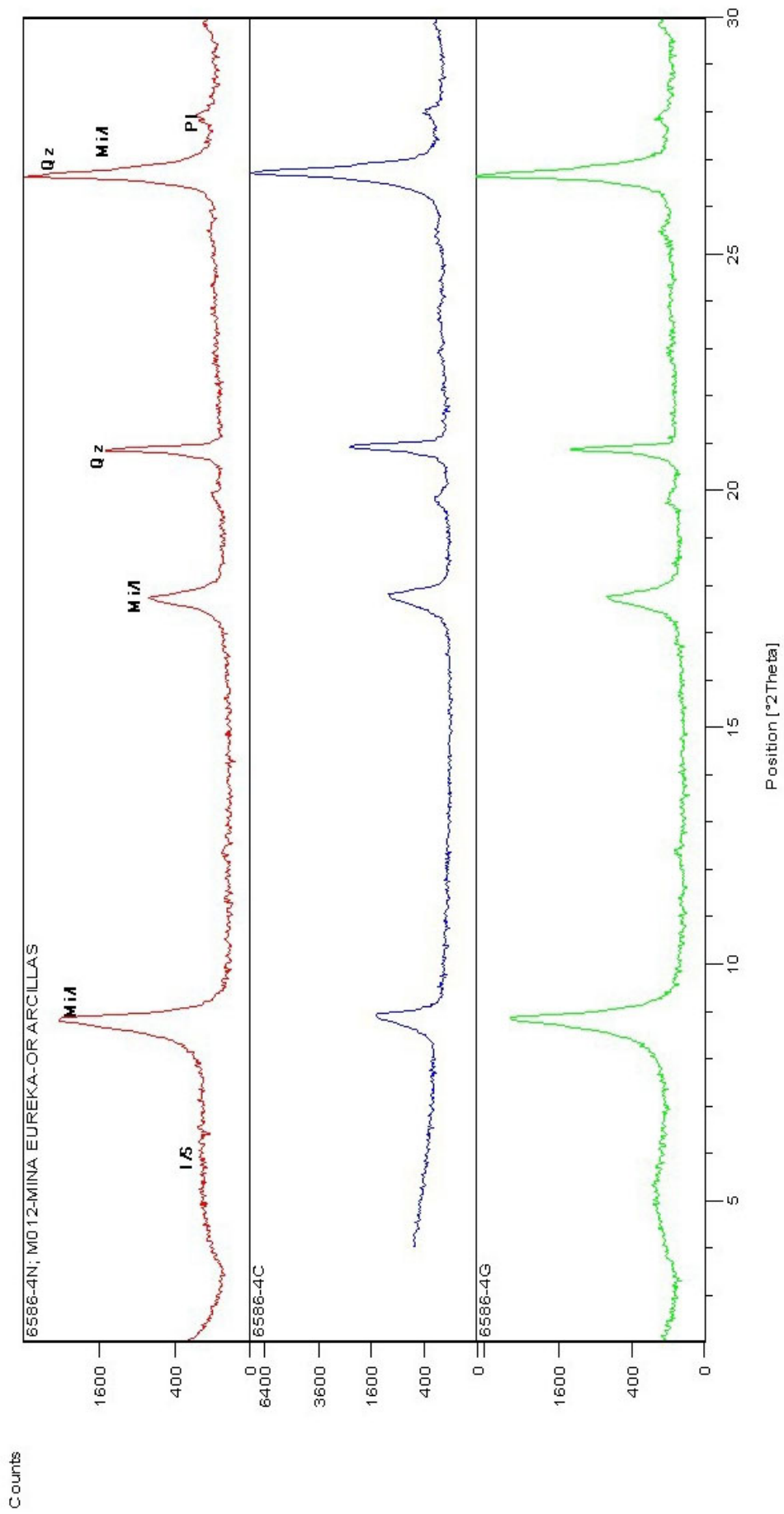
- La caracterización y testeo realizados sobre las arcillas de la provincia de Córdoba y San Luis permite ampliar el conocimiento de nuevas calidades de sustancias minerales adsorbentes de bajo costo y fácil disponibilidad, posibles de incorporar para la remoción de arsénico en aguas de consumo público.
- Se recomienda difundir y promover la utilización de las arcillas de Mina Eureka, Puesto Viejo, Los Tártagos, Saguión y arroyo San Miguel, para su empleo en depuración de aguas, en el ámbito comunal de las localidades de las provincias de Córdoba y San Luis, afectadas por niveles elevados de arsénico.
- Se sugiere extender la investigación de arcillas, prioritariamente a zonas con depósitos de alteración hidrotermal y/o retransportados y depósitos residuales asociados a zonas de fallas, como las indicadas en Mina Eureka y Puesto Viejo.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer muy especialmente a todas las personas que facilitaron la realización de este trabajo en sus diferentes etapas: en el aporte de antecedentes a Roberto Zolezzi (Delegación SEGEMAR Córdoba); a Daniel Jeréz y Jorge Cornaglia (Secretaría de Minería de la provincia de Córdoba); a la Dra. Silvana Bertolino (CONICET, UNC), en asistencia en campo; a Andrea Falcón, Mirta Aguirre y Jorge Cuello, de San Huberto; al Sr Bignoli y Sr Pepe Díaz de Villa Quilino, y al Sr Suarez de la estancia Puesto Viejo, Ongamira. En la realización de los informes técnicos, a Ana Rodríguez Velo y a Leonardo Galván Alberti por los informes de Rayos X; al Dr Crubellati, Federico Carlin, Hugo Achear, Liliana González y Enrique Lavia por los análisis químicos; a la bióloga Romina Scarpa y a los especialistas del Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Claudia del Río y Sergio Miquel por las determinaciones micro-paleontológicas, así como también al Dr. Martín Gozalvez por su especial asistencia en la parte informática y oportunas sugerencias en la lectura final de este informe.

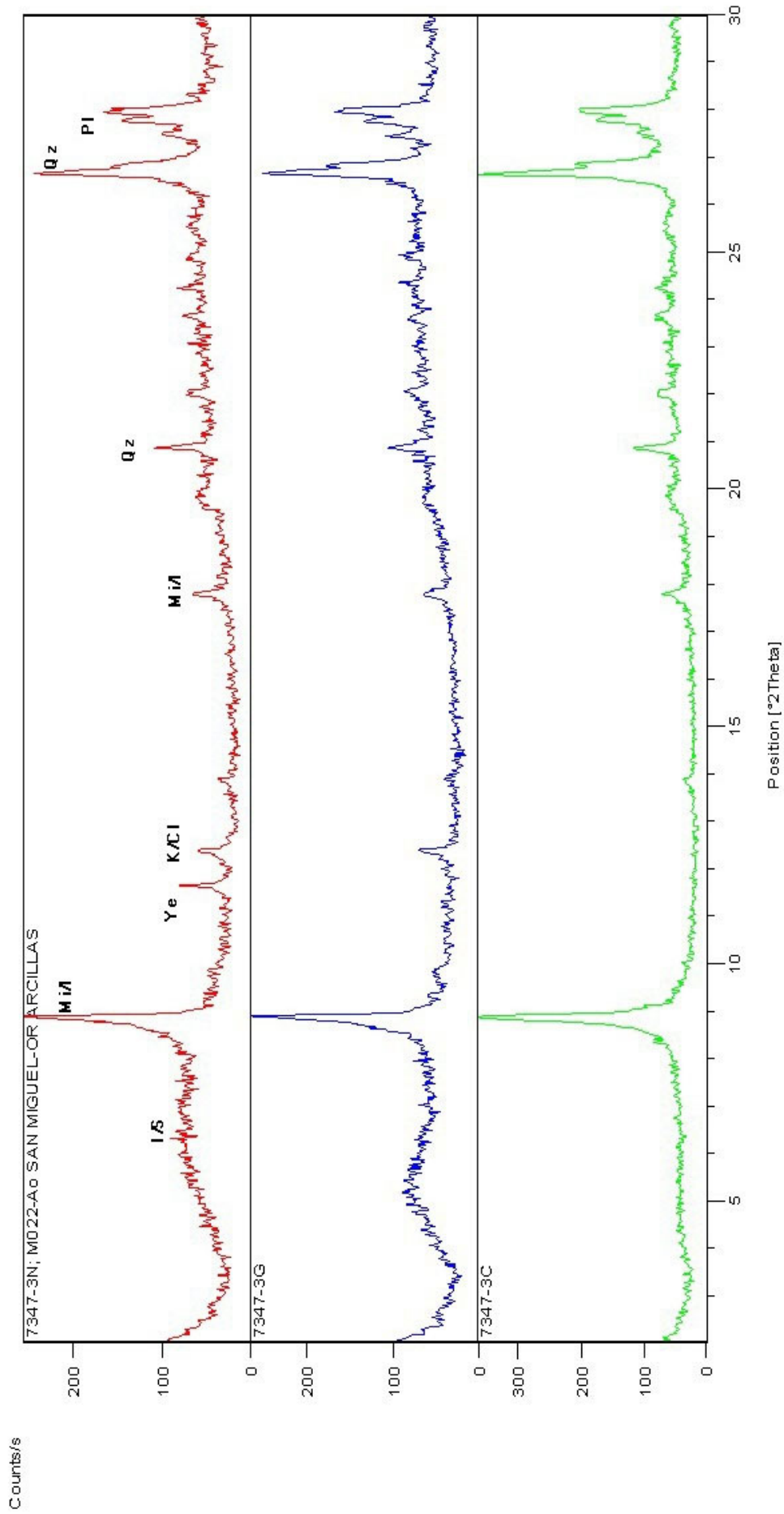
7. ANEXO 1: DIFRACTOGRAMAS

G.COZZI



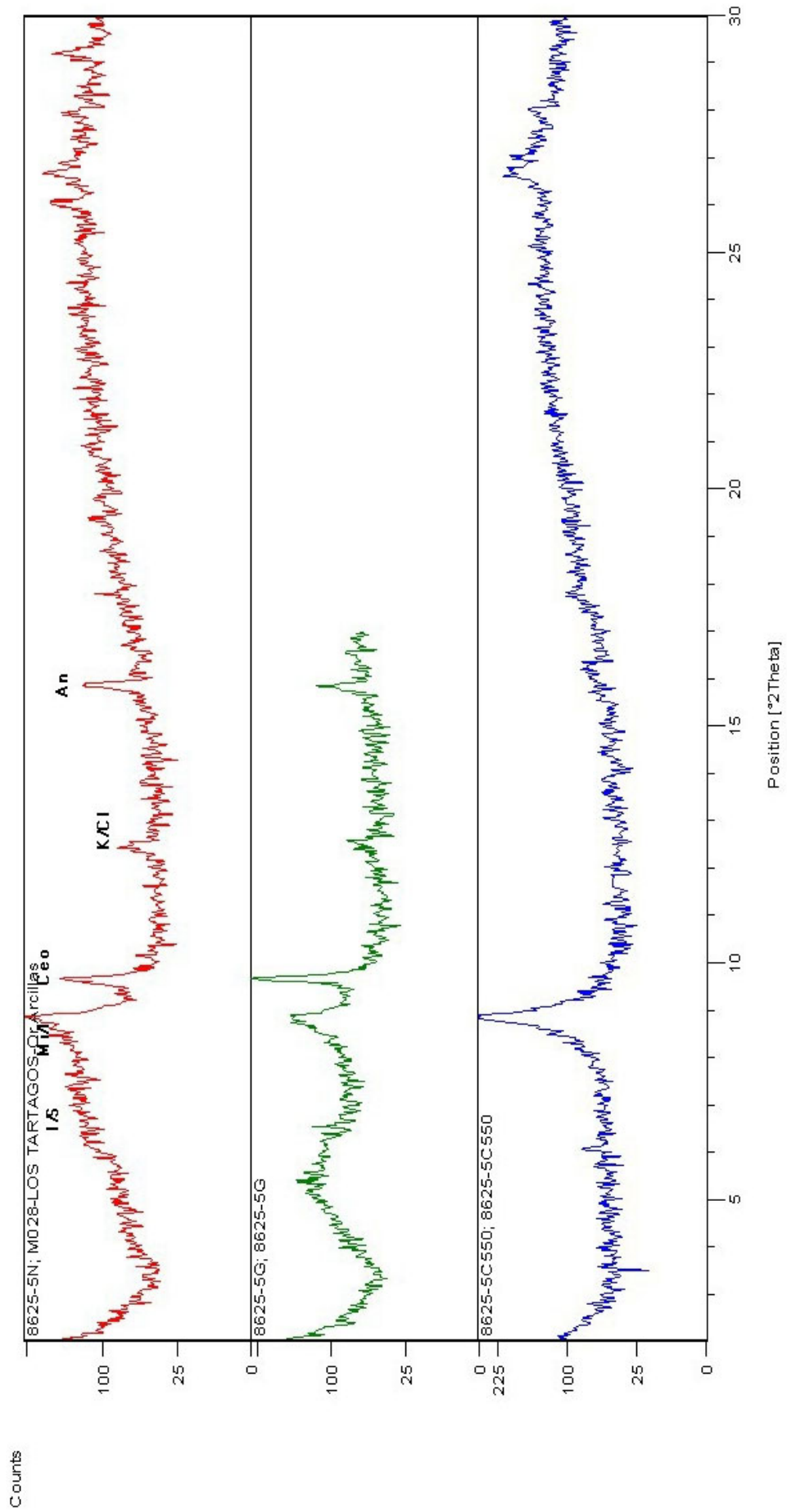
SDRX-INTEMIN-SEGEMAR

G.COZZI



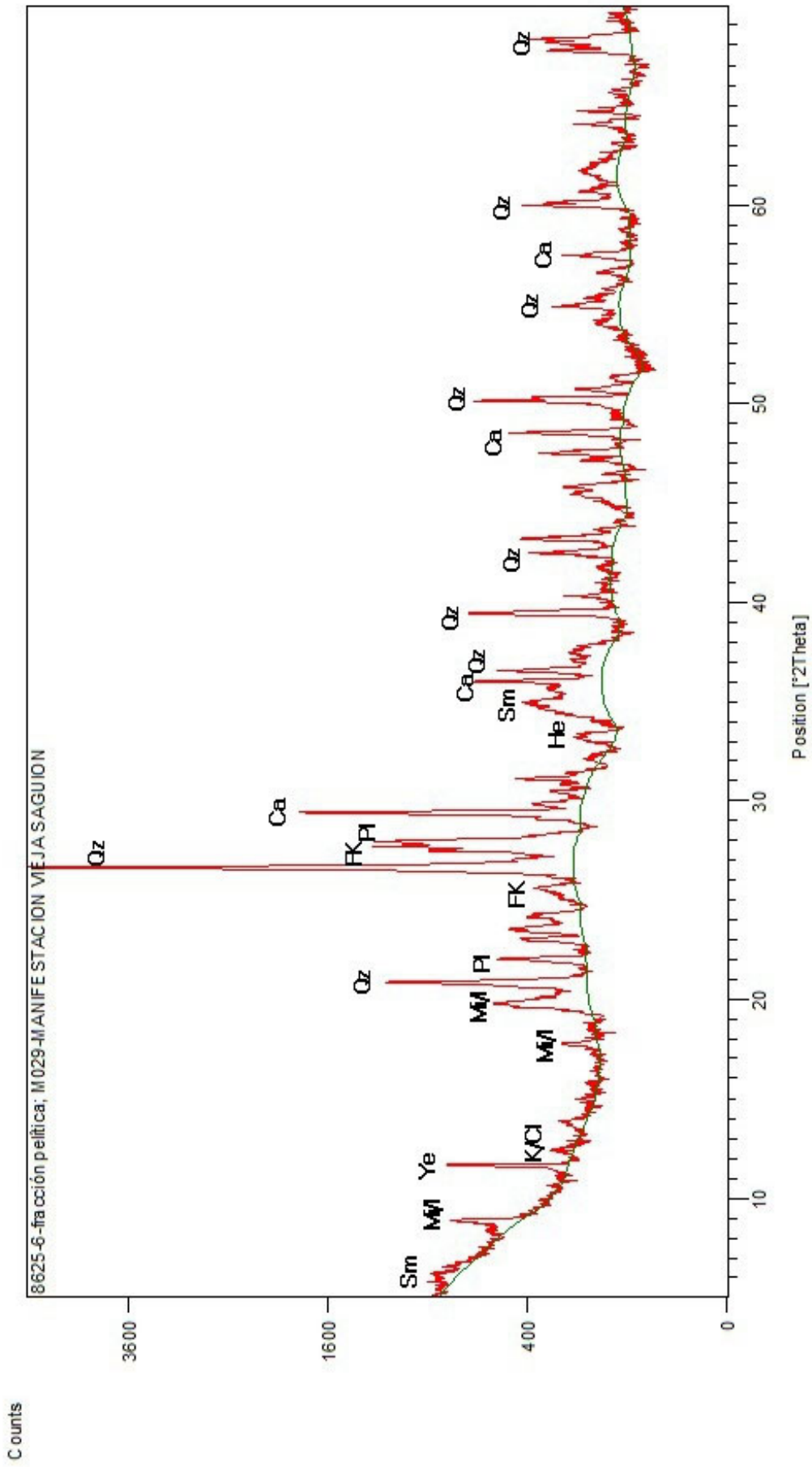
SDRX-INTEMIN-SEGEEMAR

G.COZZI



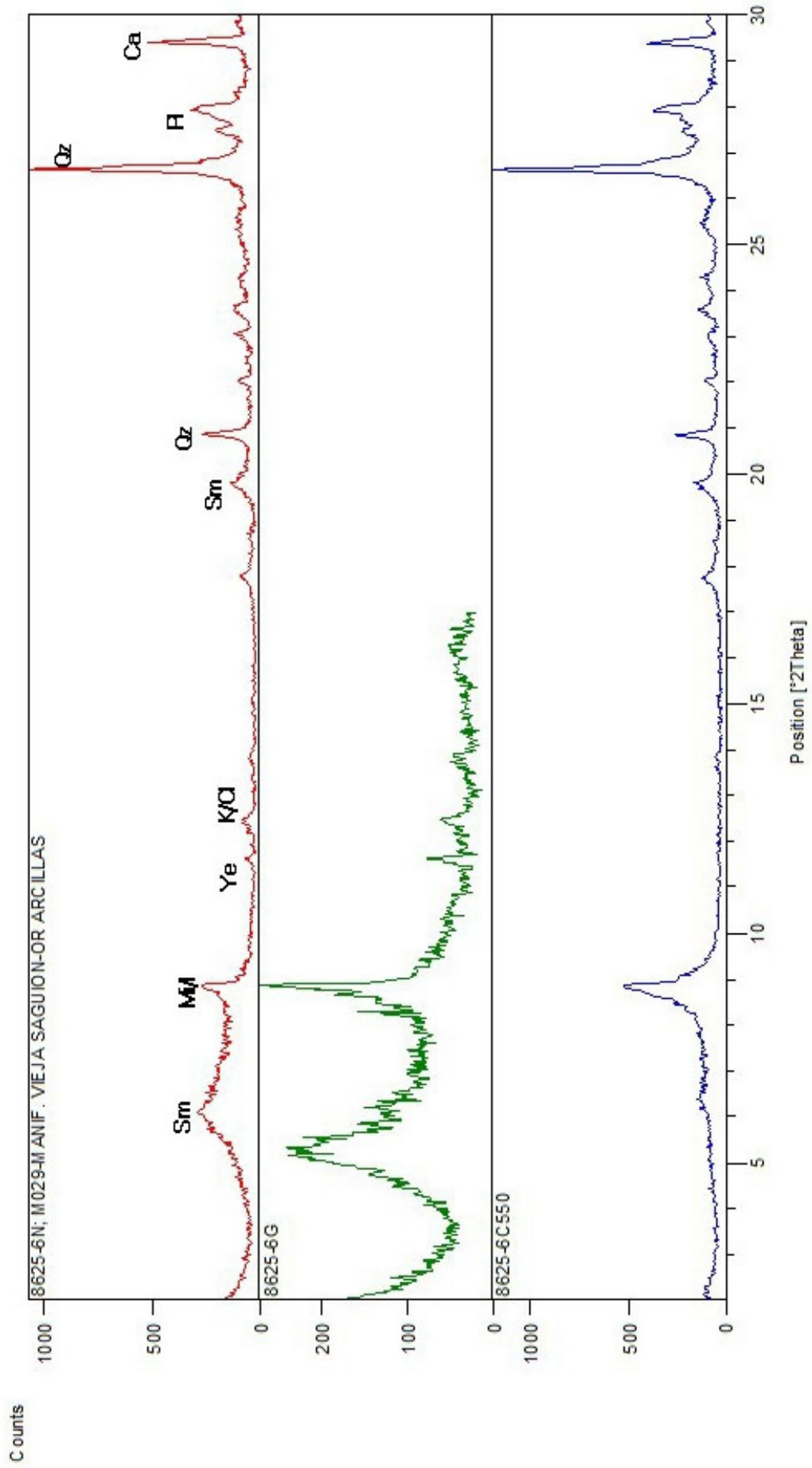
SDRX-INTEMIN-SEGEEMAR

GC00zi



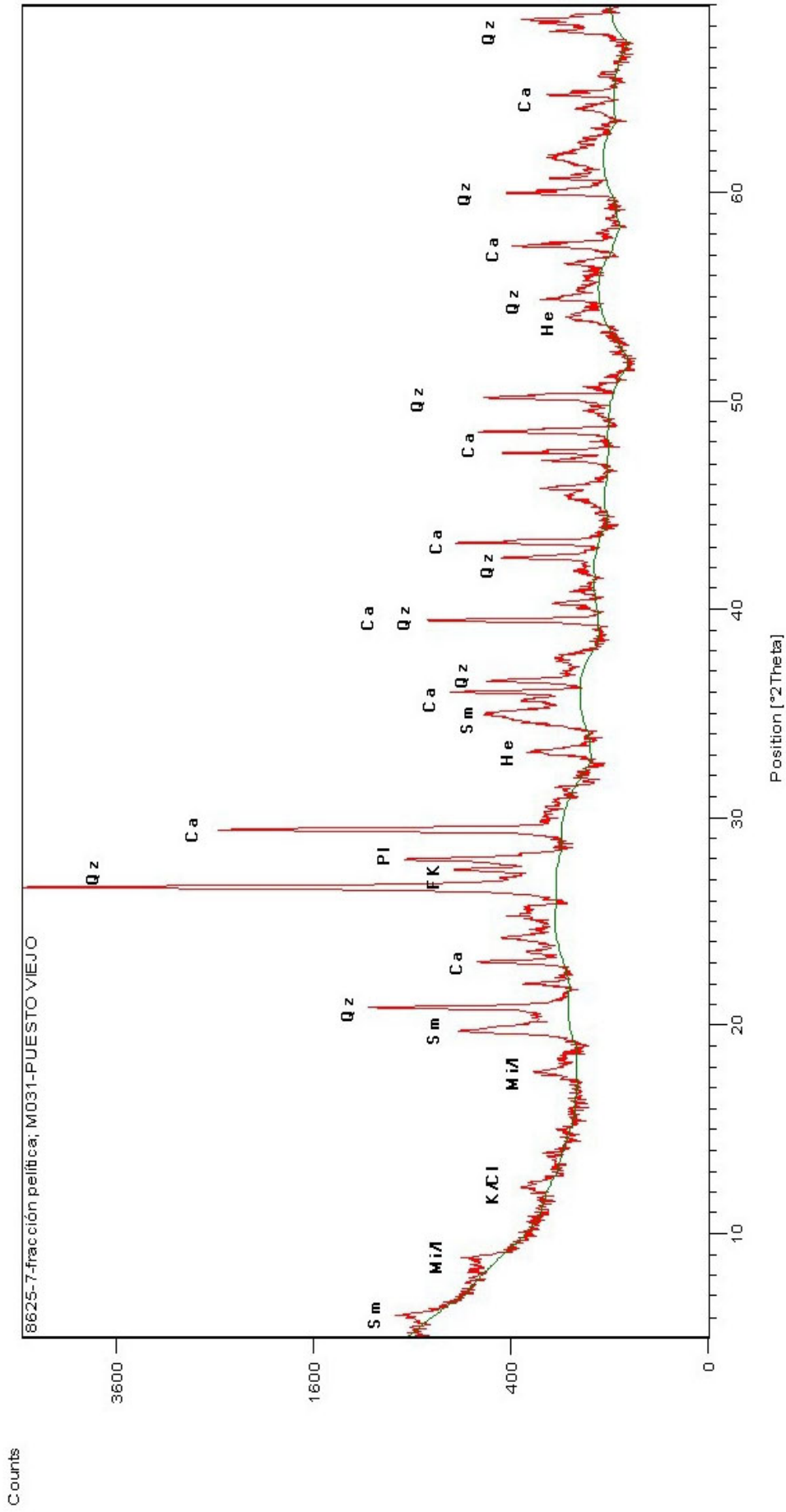
SDRX-INTEMIN-SEGEIMAR

GCozzi

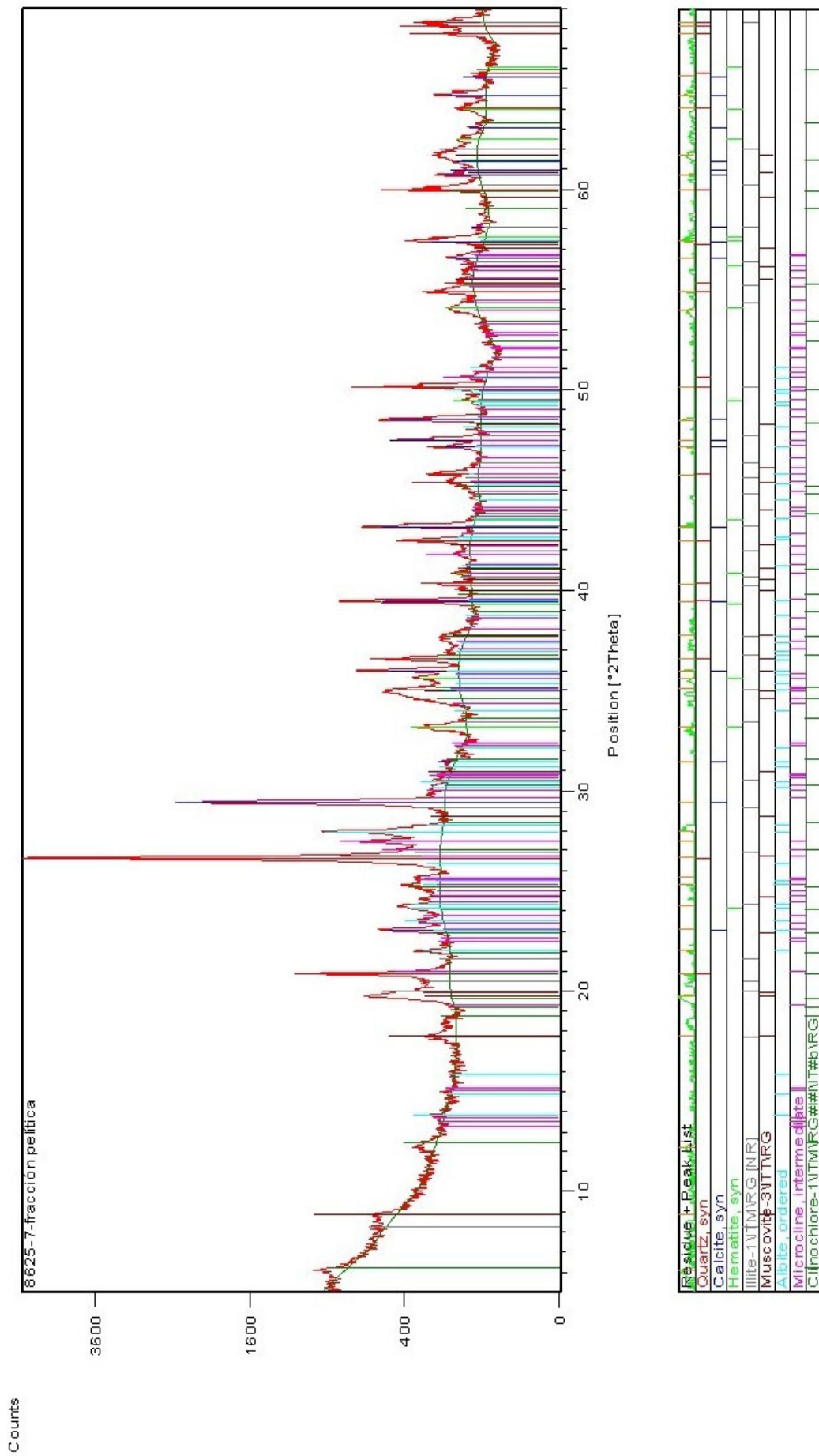


SDRX-INTEMIN-SEGEIMAR

G.COZZI



SDRX-INTEMIN-SEGEMAR



8. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, L., Covelo, E.F., y Vega, F.A. 2007- Use of special clays for wastewater treatment. Universidad de Vigo, Dpto. de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. mandrade@uvigo.es
- Bertolino, S. y Murray, H., 1992. La Mina Eureka (Provincia de Córdoba): un depósito excepcional de illita. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47 (1): 113-114.
- Bertolino, S. R. y Murray, H., 1996. Clasificación mineralógica y genética de los depósitos de arcilla de la provincia de Córdoba, Argentina. *Actas VI Reunión Argentina de Sedimentología*. 311-316.
- Bertolino, S., Poiré, D. y Carignano, C. 2000- Primer registro de sedimentitas marinas terciarias aflorantes en las Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55 (1-2), 121-124.
- Botto, I.L., Canofaglia, M.E., González, M.J., Schalamuk, I., Soto, E., 2011. Estrategia de eliminación de arsénico en el agua subterránea desde la geología y la química. En XVIII Congreso Geológico Argentino, provincia de Neuquén.
- Bravo, N. P., 2004. Utilización de adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas y efluentes líquidos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Carrera de Licenciatura en Ciencias Químicas. Universidad de Belgrano. Tesis. Inédito, 32 pp.
- Cabrera, A., M., Blarasin, E., Matteoda, G., Villalba y M. L. Gómez, 2005. Composición química del agua subterránea en el sur de Córdoba: línea de base hidroquímica o fondo natural en referencia a arsénico y flúor. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Exactas, Físico.-Químicas. y Naturales, UNRC, Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- Candiani, J.C.; P. Stuart-Smith, P. Lyons, Carignano, C.; Miró R., H. López, 1998. Hoja Geológica 3166-II, Cruz del Eje. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 249, 88 pp.
- Candiani, J.C., Stuart-Smith, P., Gaido, F., Carignano, C., López, H. y Miró R., 2010. Hoja Geológica 3163-I Jesús María. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 314
- Cantú, M.F., Degiovanni, S.B., 1984. Geomorfología de la región centro sur de Córdoba. IX Congreso Geológico Argentino Actas IV:76-92.
- Chuit, R., Vergottini, J.C, Castro De Acuña, D., Acuña Cotroneo, C., Beltrán, N., Gaidolfi, M., Hails, M., Marengo, H., Clementi, J., Peretti, I., Japaze, A., Manssur, L., Fedullo, G., Guareschi, E., 2006. Relevamiento del contenido de arsénico en las cuencas hídricas de la zona del noreste de la provincia de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. Cátedra de Medicina Preventiva y Social. Cátedra de Clínica Médica I y II Hospital San Roque. Proyecto 4- 6-124.
- Cornaglia, J., 1990/91. Minerales industriales, arcillas y caolines, primer informe de avance. Secretaría de Minería de la provincia de Córdoba.
- Deer, W. A., Howie, R. A. y Zussman, J. 1992. An Introduction of the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific and Technical, Segunda Edición, pp 696 .
- Geuna, S., Escosteguy, D., Miró, R., Candiani, J.C. y Gaido, M.F., 2008. La susceptibilidad magnética del batolito de Achala (Devónico, Sa Grande de Córdoba) y sus diferencias con otros granitos achalianos. *Revista Asociación Geológica Argentina*, vol.63 N°3, Buenos Aires.
- Fernández-Turiel, J.L., Galindo, G., Parada, M.A., Gimeno, D., García-Vallès, M., Saavedra, J. (2005). En: *Arsénico en aguas: Origen, movilidad y tratamiento* (G. Galindo, J.L. Fernandez-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno, Eds.). II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino. pp. 1-22.
- Gaido, M. F., Murra, J.A y Sapp, M., 2006. Hoja Geológica 3166-36, Valle de Calamuchita (1:100.000). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. República Argentina. Boletín N° 361. SSN 0328-2333.
- García Romero, E., Suárez, M y Bustillo, M. A., 2002. Paligorskita magnésica en Esquivias (Cuenca del Tajo), datos preliminares. In: *La Investigación De Arcillas En Geología, Agricultura, Medio Ambiente y Ciencia de Materiales* (Ed. T. Sanfeliu & M.M. Jordán). Universidad Miguel-Hernández.
- González, M.J., Barone, V.L., Schalamuk, I., Botto, I., 2005. Arcillas ferruginosas de la provincia de Buenos Aires como adsorbentes para la eliminación de contaminantes de aguas- Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, pp 835-840. La Plata.
- Goyenechea M., 1917. Sobre la nueva enfermedad descubierta en Bell-Ville. *Revista Médica Rosario*, (7): p 485.
- Kohnhorst A., and Pranabananda P., 2000- Testing simple arsenic removal methods in 26 WEDC Conference, Water, sanitation and Hygiene: challenges of the millennium, Dhaka, Bangladesh.
- Marsh y Lockmann, 1935- *Z. Angew. Chem.* T48, p 199.

- Methol, E.J., 1958. Descripción Geológica de la Hoja 18i Deán Funes. Carta geológica económica de la Republica Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 88, Buenos Aires.
- Methol, E.J., 1971. Descripción geológica de la Hoja 22h, Santa Rosa. Provincias de Córdoba y San Luis Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 124:1-73, Buenos Aires.
- Miró, R., 1999. El Basamento Precámbrico-Paleozoico Inferior De Las Sierras Pampeanas, Famatina, Cordillera Oriental y Puna. En: Geología Argentina. Capítulo 6. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (6): 133-197. Buenos Aires.
- Nicolli, H., 1985. Geoquímica del Arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba. Miscelánea N°. 71 Academia Nacional de Ciencias. Córdoba.
- Oliveira, L.C.A., Lago, R.M., Ríos, R.V.R.A., Fabris, J.D., Solar, C., and Sapag, K., 2003. Clay-Iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water, in *Applied Clay Science*, vol. 22-Nº4, pp 169-177- Elsevier Science.
- Ongley, L.K., Armienta, M.A., Heggeman, K., Lathrop, A., Mango, H., Miller, W., and Pickelner, S., 2001- Arsenic removal from contaminated water by the Soyatal Formation, Zimapán mining District, Mexico- A potencial low-cost low-tech remediation system, in *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, Vol. 1. p 23-31- Geological Society, London. www.geea.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract
- Pinotti, L. P., 1998. El batolito Cerro Áspero, Provincia de Córdoba. Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sierras Pampeanas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina, (inédito). 203 pp., Córdoba.
- Pinotti, L., Tubía, J.M., D'Eramo, F., Vegas, N., Sato, A.M., Coniglio, J. y Aranguren, A. 2006. Structural interplay between plutons during the construction of a batholith (Cerro Aspero batholith, Sierras de Córdoba, Argentina). *Journal of Structural Geology* 28: 834-849.
- Proyecto ARSLAND (INCO 015114), 2007. Manejo Sostenible del Agua y Suelos Contaminados con Arsénico en Áreas Rurales de América Latina. Apéndice 2: Argentina- www.arsland.net
- Ramos, V., 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: *Geología Argentina*. Capítulo 3. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires.
- Romagnino J. P., 1999. Geología, mineralogía y genesis de las manifestaciones arcillosas del sur de Traslasierra (Provincia de Córdoba). Trabajo Final. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 87 pp. Inédito.
- Sayago, J., 1979. Geomorfología del Valle de «San Alberto», Provincia de Córdoba. VII Congreso Geológico Argentino (II): 89-108. Buenos Aires.
- Storniolo, A., Martín, R., Ramirez, A., Thir, J.M., Terribile, M.E., Cortés, J.C., Bejarano, R.M.- 2007- La respuesta de los suelos de Santiago del Estero en la eliminación del Arsénico en el agua, en II Taller sobre Arsénico en Aguas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Dpto Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Entre Ríos. Compilación Dra Galindo y Dr. Nicoli.
- Storniolo A., Martin, R. Thir, M., Cortés, J., Ramirez, A., Terribile, M., Bejarano, R., Bundschuh, J. 2006. La laterita en la disminución del contenido de arsénico en el agua subterránea. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, 25 al 29 de Septiembre de 2006, Asunción, Paraguay.
- Sumrit Mopoung and Prasak Thavornyutikarn, 2006. Leaching of arsenic from contaminated soil amended with red clays. *NU Science Journal*, 2(2) p 151-156.
- Tello, E. E., 1951. Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Sus manifestaciones clínicas. Imprenta de la Universidad Nacional de Córdoba, 1, 162.