



Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Publicación de la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
AIDIS Argentina

Director

Ing. Eduardo L. Pérez Gattorna

Coordinación Editorial y Comercial
AIDIS Argentina

Redacción
AIDIS Argentina

Editor y Propietario
AIDIS Argentina

Publicidad y Suscripciones
AIDIS Argentina

Av. Belgrano 1580 3º piso
(1093) Buenos Aires, Argentina
Tel. 4381-5832/5903
E-mail: revistaaisa@aidisar.org.ar
www.aidisar.org.ar

Diseño y Diagramación:
AIDIS Argentina

Impreso en Mariano Mas

La Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental es una publicación de la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Sección Nacional de AIDIS Interamericana, que se distribuye sin cargo a sus socios y a personas, instituciones y empresas calificadas. Los artículos firmados expresan exclusivamente el criterio de sus autores. Los ofrecimientos, ofertas, especificaciones, etc. que surjan de los avisos comerciales son responsabilidad de los respectivos anunciantes.

La Redacción de la Revista no se responsabiliza por la devolución de originales sobre colaboraciones publicadas o no. Se autoriza la reproducción total o parcial de lo publicado en la Revista siempre que se indique claramente su procedencia.

Reg. Prop. Intelectual
Nº 773880
ISSN: 0328-2937

Contenido

Edición n° 125 (Primer Cuatrimestre 2015)

- 6** Editorial
- 7** Asamblea y Nuevas Autoridades
- 8** Día Mundial del Agua
- 10** Congreso Internacional del Agua
- 11** Mapa del Agua
- 12** CEPAL
- 13** Remoción de arsénico en localidades de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Evaluación del acceso, uso y calidad de agua en poblaciones rurales con problemas de arsénico
Marta I. Litter, Sebastián Pereyra, Clara E. López Pasquali, Analía Iriel, Alejandro M. Senn, Fabiana E. García, María Florencia Blanco Esmoris, Karina Rondano, D. Carolina Pabón, Lelia E. Dicelio, María G. Lagorio y Gabriel D. Noel
- 26** Ecotoxicología: una decisión necesaria para el manejo sustentable de cuencas hídricas. Parte I
Jorge Herkovits
- 36** Detección de datos extraños de calidad de agua
Fernando Pozo Román
- 39** Caracterización del flujo de arenas en los desarenadores de una edar urbana litoral bajo estrés hidráulico
José Manuel Álvarez-Campana Gallo, Alfredo Jácome Burgos, Joaquín Suárez López, Héctor Del Río Cambeses, Carlos Fernández Casanova, Rafael Díaz Martínez, Montserrat Recarey Pérez y Zurab Jikia
- 45** Efecto del biogás de relleno sanitario en el ciclo de vida vegetal
Eduardo Baltierra Trejo, Juan Manuel Sánchez-Yáñez y Liliana Márquez Benavides
- 49** Poblaciones bacterianas del agua de formación
Graciela Natalia Pucci y Oscar Héctor Pucci
- 53** Determinación de aldehídos y cetonas en emisiones de gases de escape de vehículos EURO IV que emplean mezclas de nafta y bioetanol, en Argentina
Julio E. Vassallo, Horacio Asprea, Omar Oficialdeguy, Valeria Rodríguez Salemi, Bárbara Gómez y Carlos E. Gómez
- 63** Golpe de Ariete. Diagramas envolventes de sobrepresiones máximas y mínimas
Luis Eduardo Pérez Farrás
- 69** Desarrollo de infraestructura en escenarios complejos
María Eva Koutsovitis y Matías Goyeneche Matías Goyeneche
- 72** Problemática y retos de la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina
Sebastián Alberto De Simone
- 75** Mochila económica de doble descarga para inodoro
Andrea Estefanía Pacheco y Eduardo Héctor Pacheco (docente asesor)
- 77** Índice Anual
- 80** Noticias de AIDIS Argentina
- 81** Actividades de las Divisiones Técnicas de AIDIS Argentina
- 82** Humor Ambiental
Índice de Anunciantes
- 83** Cómo asociarse a AIDIS Argentina
- 84** Solicitud de Inscripción

localización periférica o rural y bajos recursos socioeconómicos, donde se han detectado casos de HACRE.

Según el Censo de 2010^[4], en la provincia de Santiago del Estero, el 20% de las viviendas en zonas rurales periféricas y cerca del 25% de los hogares, no tienen acceso a red pública de agua potable. Para el trabajo de campo se seleccionaron dos áreas principales: a) una zona rural periférica cercana a la localidad de Clodomira (Departamento Banda) situada a unos 20 km al norte de la capital de la provincia y b) otra zona rural periférica en los alrededores de la localidad de San José del Boquerón (Departamento Copo) en el límite norte de la provincia.

En la primera región viven unos 19.000 habitantes dispersos en poblaciones rurales, caseríos, poblados o asentamientos aislados de pocas casas, con una economía de subsistencia e importantes dificultades de acceso al agua. El área está ubicada en la cuenca del Río Dulce, donde la presencia de As en el agua ha sido ampliamente documentada y donde el 95% de los habitantes podrían estar afectados por consumir aguas de pozo con As ($0,05\text{-}2\text{ mg L}^{-1}$)^[5,6]. Por su parte, en el Departamento Copo viven alrededor de 31.000 habitantes y un 28% de las viviendas (unos 9.000 habitantes) se sitúan en zonas rurales dispersas. A su vez, el 36% de los hogares del departamento no tiene acceso a la red pública de agua potable.

Según la OMS, las aguas para consumo humano no pueden tener contenido bacteriológico, valorado por la ausencia de *Escherichia coli* en 100 mL, y recomienda que no se sobrepase un contenido máximo de As de $10\text{ }\mu\text{g/L}$ en agua potable^[7]. El Código Alimentario Argentino (CAA) adoptó la normativa para el contenido bacteriológico. Sin embargo, el valor para As aún está en discusión, ya que en 2012, una resolución conjunta de los Ministerios de la Nación de Salud (Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias) y de Agricultura, Ganadería y Pesca (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos) modificó los artículos 982 y 983 del CAA, disminuyendo la normativa de $50\text{ a }10\text{ }\mu\text{g/L}$, pero prorrogando el plazo previsto para alcanzar el valor de $10\text{ }\mu\text{g/L}$, hasta contar con los resultados del estudio "Hidroarsenicismo y saneamiento básico en la República Argentina-Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas", cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal^[8].

Según un informe del año 2006, elaborado por el Programa HACRE del Ministerio de Salud de la Provincia de Santiago del Estero^[9], la población de la zona de influencia de San José del Boquerón, en el Departamento Copo, no cuenta con red de agua potable y se abastece con bombas de mano en pozos de entre 40 y 260 m de profundidad. Un estudio realizado en muestras recolectadas en 27 hogares de la zona arrojó, en ese momento, resultados concluyentes: los tenores de As encontrados mediante análisis fisicoquímico en el Laboratorio Central de Agua de la Provincia, superarían los valores permitidos por la OMS^[7] y el CAA^[8], siendo en algunos casos, superior a $400\text{ }\mu\text{g/L}$. Por otro lado, muestras biológicas tomadas a pacientes de distintos sectores durante estos años, superarían los rangos permitidos de concentración de As en el organismo. Por ejemplo, en esas muestras, la concentración determinada en el cabello^[9] alcanza valores superiores a $20\text{ }\mu\text{g/g}$, cuando los valores normales no deberían superar los $2,5\text{ }\mu\text{g/g}$, según recomienda el informe.

El proyecto comprendió una primera etapa de diagnóstico transdisciplinario, donde participó un equipo formado por investigadores (químicos, ingenieros, sociólogos y antropólogos) que

diseñó estrategias de recolección de datos e intervención, que involucraron técnicas cualitativas y cuantitativas de recolección y análisis de datos. En esta etapa se registraron las prácticas diarias de la población en estudio relacionadas con el acceso, uso y hábitos de agua. Se consideraron las mediaciones sociales involucradas, tales como los conflictos presentes e históricos relacionados con las demandas, el mapa de los actores colectivos, tradiciones culturales relacionadas y circuitos del agua en la economía doméstica y las actividades productivas. En paralelo, se tomaron muestras de agua en la zona, para evaluar las condiciones a fin de implementar estrategias de remediación y, posteriormente, se evaluaron métodos para la remoción de As. En una segunda etapa, aún en desarrollo, se realizará una intervención en la zona implementando los métodos elegidos y los dispositivos diseñados para la provisión de agua segura, libre de contaminación microbiológica y química y, especialmente, libre de As.

Para el diagnóstico se utilizaron las fuentes estadísticas disponibles para una caracterización socioeconómica y demográfica de los Departamentos Banda y Copo, a través de datos del Censo 2010 de Argentina^[4]. El objetivo fue elaborar y analizar algunos indicadores de desarrollo económico, social y humano, que permitieran definir las características socioeconómicas más relevantes de la zona. Sin embargo, estos datos no fueron suficientes para una buena caracterización, porque el proyecto se refiere específicamente a la población rural dispersa y los datos del censo disponibles no permiten analizar las características de la población de estas localidades. Por ello, se diseñó un trabajo de campo cualitativo, combinando observaciones etnográficas en ambientes y situaciones significativas para la investigación, con entrevistas a la población, seleccionada sobre la base de un trabajo previo exploratorio que incluyó una visita a la zona y entrevistas con informantes clave. En las cinco campañas llevadas a cabo entre 2013 y 2015, se realizaron un total de 57 entrevistas en domicilios de habitantes de las zonas rurales periféricas (30 en el Departamento Banda y 27 en el Departamento Copo).

El objetivo del trabajo de campo fue recabar información sobre las condiciones de vida de la población en cada una de las zonas seleccionadas por el proyecto. Para ello, se definieron cuatro variables principales: 1) sociodemográficas (edad, sexo, nivel educativo y escolarización, ocupación de los miembros del hogar); 2) condiciones de vida y del hogar (características y organización de la vida cotidiana, vínculos interpersonales y redes de sociabilidad, principales problemas y conflictos que afectan su vida y la de la zona donde viven); 3) agua (condiciones de acceso, usos principales, problemas específicos relacionados con el agua) y 4) salud y HACRE (percepción sobre enfermedades recurrentes, modos de atención médica).

ZONAS DE ESTUDIO Y CAMPAÑAS REALIZADAS

En la **Figura 1** se muestran las poblaciones de la provincia de Santiago del Estero visitadas en las campañas de 2013 y 2014

Primera campaña (agosto 2013)

En agosto de 2013 se realizó una primera campaña exploratoria en zonas rurales de Clodomira y La Banda, áreas cercanas a la capital de la provincia, que comprendió visitas a escuelas, puestos sanitarios y asentamientos. Se seleccionaron y visitaron cuatro escuelas de la zona periférica de Clodomira, que sirvieron como nodos para futuras entrevistas y para establecer contac-

tos. Este trabajo exploratorio indicó que actualmente, la mayoría de la población tiene acceso a agua segura y libre de As, como consecuencia de la instalación reciente de la red pública provista por el gobierno de la provincia, puesta en funcionamiento entre los años 2004 y 2007^[10]. Este resultado fue sorprendente para los autores de este trabajo, dado que la situación era diferente unos diez años atrás, cuando se registraron varios casos de HACRE en la zona^[11]. También se visitó la zona de Cuatro Horcones, un caserío en las afueras de la ciudad de La Banda, y la localidad de Colonia María Elena, una de las que más habían sido afectadas por el HACRE^[11]. Sin embargo, y a pesar de la instalación de la red de agua potable, en todas las zonas de influencia de las escuelas, aun persisten casas sin agua de red. Al mismo tiempo, por las características del servicio y por los usos y costumbres, se sigue utilizando el agua de pozo de los hogares (que aparentemente, tiene mayor concentración de As) por lo que era interesante entender cuál es el uso que se le da y qué tipo de dispositivos podrían utilizarse en esos casos, de ser necesario proveer agua potable segura. En la visita a las escuelas se acordó, junto con los directores de las mismas, que el trabajo de campo tomaría a las escuelas como punto de contacto y observación, y a partir de allí, se contactaría a las familias de las zonas aledañas, procediéndose con las entrevistas y observaciones en las casas. El trabajo de campo se realizó luego, sobre la base de esta primera campaña, en asentamientos aislados de 5 ó 6 casas cercanas a las escuelas, sin conexión a la red de agua o con una conexión precaria. Se hicieron entrevistas, reuniones de trabajo, visitas a campo con toma de muestras y determinaciones de As *in situ*.

Segunda campaña (noviembre de 2013)

En la primera salida al campo de esta segunda campaña, se recorrieron las zonas rurales de Cuyo y Palmitas, visitando a familias en sus domicilios particulares, charlando con los habitantes y

recolectando muestras para realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico. Se visitaron seis viviendas, algunas de las cuales tenían la misma fuente de provisión de agua. El agua recolectada proviene de las redes realizadas por DIOSSE (Dirección de Obras Sanitarias de Santiago del Estero) de Recursos Hídricos y, en las viviendas que no disponían del tendido, de pozos particulares. Se concluyó que la llegada de agua a través de las redes sufre cortes debido a la interrupción del servicio eléctrico en el sitio de extracción, por ello, algunas familias mantienen sus pozos particulares, que utilizan durante los cortes de suministro. En algunos lugares se realizaron mediciones rápidas de As *in situ* por medio del *kit* comercial Quantofix® Arsen 10 (Macherey-Nagel) para seleccionar muestras convenientes con contaminación apreciable que merecieran su tratamiento (acordando tomar para ello, un valor mayor a 50 µg/L de As). Posteriormente, en laboratorio, se realizó un análisis más preciso de los contenidos de As. En la segunda salida al campo de esta campaña, se recorrió la zona de Las Abras, Los Ángeles y María Elena y, por cuestiones de tiempo, se tomaron muestras de agua sólo para el análisis fisicoquímico y microbiológico. Se efectuaron charlas con las familias acerca de los usos del agua y se tomaron muestras, con acuerdo de visitarlos nuevamente. Por su parte, los vecinos se comprometieron a localizar a otros que se abastecieran de pozos particulares.

Tercera campaña (mayo de 2014)

En mayo de 2014 comenzó la tercera etapa de campo, realizándose las siguientes actividades: nuevos contactos con las familias, monitoreo de muestras de agua y entrevistas a la población. Se tomaron seis muestras y se realizaron entrevistas en la zona de influencia de Clodomira, en Siete árboles, Rumio y Negra Muerta. Todas las muestras de estas zonas mostraron muy bajo contenido de As *in situ*, medido con el *kit* Quantofix® Arsen 10.



Figura 1. Poblaciones de la provincia de Santiago del Estero visitadas en las campañas de 2013 y 2014

Análisis de las muestras tomadas en las tres primeras campañas

La **Tabla 1** muestra los resultados de los análisis de las muestras tomadas en las tres primeras campañas. La mayoría de los análisis se realizaron en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Argentina, mientras que otros se realizaron en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

La concentración de As(V) en laboratorio se realizó por absorción atómica (AAS) en UNSE y las de C16, C17 y C18, mediante la técnica de azul de molibdeno^[12] y por fluorescencia por reflexión total de rayos X (TXRF) en la CNEA^[13].

Los análisis bacteriológicos de las muestras de agua recogidas, demostraron que salvo C11, C12, C14 y C15, el resto eran aptas para el consumo humano. La muestra C13 no fue analizada.

Los valores de As, con excepción de C5, fueron bajos, menores a 50 µg/L, y los valores con el *kit in situ* fueron bastante parecidos a los medidos luego en el laboratorio con técnicas más precisas, salvo algunos pocos casos. Sin embargo, como se indicó arriba, aunque el CAA aún no ha fijado el límite recomendado, sugiere que el valor a implementarse sería de 10 µg/L^[8], con lo cual, la mayoría de las muestras superaría ese valor. Las características organolépticas resultaron buenas, con turbiedad en algunos casos, pero generalmente inodoras y con pocas partículas sólidas^[8]. La temperatura al tomar la muestra fue siempre algo menor que la ambiente. El pH fue, en todos los casos, cercano a la neutralidad y dentro del rango permitido por el CAA (6,5-8,5)^[8]. La conductividad (medida indirecta del contenido de los sólidos totales disueltos) fue razonable en términos de potabilidad, correspondiendo a aguas poco o algo salobres (<2.000 µS/cm)^[14]. La concentración de oxígeno disuelto (OD) estuvo, en todos los casos, muy cercana al valor de saturación (8,4 mg/L a 25°C) lo cual, indirectamente, indica ausencia de contaminación orgánica importante. Los valores para cloruros y para hierro, en general, también cumplimentaron lo establecido por el CAA (350 mg/L y 0,3 mg/L, respectivamente)^[8]. El CAA establece un valor relativamente alto para la concentración de nitrato (45 mg/L)^[8] y todas las muestras estuvieron muy por debajo de este valor. Sin embargo, es de destacar la alta concentración de nitrito de la muestra C2 (3,9 mg/L) que supera ampliamente el valor permitido (0,1 mg/L)^[8]. Con respecto a la dureza, sólo las muestras C12 y C13 mostraron un valor muy superior al de la norma (400 mg/L)^[8]. El caso del flúor es tratado de manera particular por el CAA, ya que la concentración máxima permitida cambia según la temperatura promedio de la zona teniendo en cuenta el consumo diario de agua, de manera que los valores están comprendidos entre 0,8 mg/L (zonas más cálidas) y 1,7 mg/L (zonas más frías)^[8]. Teniendo en cuenta que las muestras provienen de una región cálida, la concentración de flúor es particularmente alta para los casos C5 y C14. La alcalinidad estuvo siempre por debajo de 600 mg/L, indicando aguas poco carbonatadas^[8].

Cuarta campaña (noviembre de 2014)

En setiembre de 2014, se iniciaron contactos con la Fundación Alimentaris, que había realizado experiencias de intervención en la provincia de Santiago del Estero, recorriendo la misma e intentando impulsar el desarrollo, en particular, de los pequeños productores rurales. Su propósito último es llevar adelante una campaña para fomentar el uso de paneles solares para la generación de energía eléctrica. En ese contexto, se visitaron zonas más alejadas de la ciudad de Santiago del Estero, en el Departamento Copo. Las localidades visitadas, que se denominarán VP

(donde viven 10 familias) y PB (donde viven 80 familias) (casas) no cuentan con red de distribución de agua potable segura y sus condiciones socioeconómicas no les permiten acceder a métodos para eliminar el As de las aguas de consumo. En estas localidades se recogieron muestras de aguas reales destinadas a consumo humano, provenientes de pozo y de un surgente de PB, que es la principal fuente de agua de consumo y para animales.

En la **Tabla 2** se muestran las principales características de las muestras recogidas en esta zona. En la **Tabla 3** se muestran los resultados de análisis de elementos que se consideraron ambientalmente importantes y relevantes para la implementación de tecnologías de remoción de As. La concentración de As se midió *in situ*, empleando un *kit* diferente al empleado en las localidades cercanas a la capital^[15]. Luego se determinó la concentración de As(V) con mayor exactitud en la CNEA mediante TXRF, que también sirvió para cuantificar los iones de la **Tabla 3**, con excepción del flúor, que se analizó por cromatografía iónica (CI)^[16].

Las aguas de estos pozos resultaron menos convenientes en términos de potabilidad con relación a las de la **Tabla 1**, correspondientes a las zonas cercanas a la capital de la provincia. Si bien no presentaron partículas ni turbiedad y eran inodoras e incoloras, el pH fue siempre algo más elevado, aunque todavía por debajo del límite permitido^[8], y la alcalinidad, dureza y contenido de cloruro, nitrato y nitrito, fueron bajos en todas las muestras. Por otra parte, la concentración de oxígeno disuelto (OD) fue notablemente mucho más baja, indicando la posibilidad de contaminación orgánica importante, mientras que la conductividad reveló aguas algo más salobres que las anteriores, especialmente la de VP. Lo notable en estas aguas fue la presencia de Si y S, que corresponderían a la presencia de silicato y sulfato y que, como se verá después, es relevante para la aplicación de las tecnologías de remoción de As. Si bien no se determinó contenido microbiológico en estas muestras, es muy posible que sean aptas para consumo humano por haber sido extraídas a la salida de la perforación.

Quinta campaña (marzo de 2015)

En esta campaña se realizaron nuevas visitas a tres localidades del Departamento Copo (se denominarán PB, V y VP). Las tres son de difícil acceso, escasa comunicación y con muy poca infraestructura. Sólo en PB hay una escuela primaria y una sala de atención médica con una enfermera. En esta zona, las dificultades de acceso al agua segura son evidentes. Las fuentes principales de provisión son la recolección de agua de lluvia, una surgente, o el uso de agua estancada que los habitantes denominan "represa", y donde beben también animales (**Figura 2**).

En la zona se registraron casos graves de HACRE y los habitantes presentan alto contenido de As en el cabello^[9]. Al mismo tiempo, la situación económica de las familias es complicada, ya que combinan empleos inestables (carbón, trabajo rural golondrina, monte) con una escasa producción de subsistencia (principalmente, cría de animales). También pudieron registrarse problemas significativos relativos a la tenencia de la tierra. Aunque no pudieron recabarse datos precisos, los testimonios señalan que en la zona es habitual la tenencia irregular. También los materiales de construcción de las viviendas son precarios: se trata de ranchos de adobe, en algunos casos, con algún tipo de recubrimiento. La provisión de servicios públicos es prácticamente nula y las familias tienen acceso en forma particular a algunos servicios como luz (por mechero a gas, generador o panel solar) y televisión (servicio satelital). Como el acceso al agua es dificultoso,

Tabla 1. Propiedades de las muestras recolectadas en zonas rurales de los alrededores de la ciudad de Santiago del Estero en las tres primeras campañas

Muestra/ Prof. (m)	Fecha	Lat/Long.	Fuente	[As] <i>in situ</i> (µg/L)	[As] en laboratorio (µg/L)	Características organolépticas	T (°C)	pH	OD (mg/L)	Conductividad (µS cm ⁻¹)	Alcalinidad (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Dureza (CaCO ₃) (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Fe (mg/L)
C1 Palmitas	Nov-13	S 27° 35' 1,21" O 64° 6' 59,54"	DIOSSE	25-50	21,54	Incolora, inodora	23	7,48	8,5	395,5	263,03	113,6	0,542	0,046	120	0,54	<LD
C2 Palmitas	Nov-13	n/d	Pozo antiguo a 100 m del terreno (en desuso) (usan red de DIOSSE)	NDt	14,18	Turbia, con partículas sólidas	20	7,34	7,9	1290	573,89	333,7	13,15	3,876	580	0,01	0,11
C3 Cuyo	Nov-13	S 27° 35' 14" O 64° 7' 47"	Pozo propio, poca profundidad No tienen conexión de red	<10	12,23	Incolora, inodora	20	6,94	8	407,5	358,68	102,95	0,391	0,046	240	0,19	< LD
C4 Cuyo	Nov-13	S 27° 35' 1,21" O 64° 7' 43,75"	Conexión de recursos hídricos (canilla)	25-50	23,43	Incolora, inodora	24	7,52	7,6	473,5	239,12	131,35	0,656	0,042	150	0,28	< LD
C5 Cuyo	Nov-13	S 27° 39' 15,42" O 64° 06' 46,32"	Pozo en el terreno, profundidad: 5 m. No tienen conexión de red	~ 500	295,1	Ligeramente turbia, inodora	21	7,96	7,6	701,5	500,19	124,25	8,764	0,521	70	2,00	0,33
C6 Cuyo	Nov-13	S 27° 39' 4,87" O 64° 7' 8,97"	Pozo	25-50	36,93	Incolora, inodora	22	6,89	8,4	877	645,62	195,25	1,141	0,072	400	0,41	< LD
C7 Los Angeles	Nov-13	S 27° 38' 56,4" O 64° 4' 29,64"	DIOSSE	NDt	15,05	Incolora, inodora	22	7,68	8,9	407	237,55	110,05	0,391	0,052	120	0,67	<LD
C8 Las Abbras	Nov-13	s/d	DIOSSE	NDt	19,8	Incolora, inodora	24	7,65	8,8	396	286,94	99,4	0,633	0,046	150	0,67	<LD
C9 María Elena	Nov-13	S 27° 36' 34,52" O 64° 3' 12,99"	Pozo	NDt	17,5	Ligeramente turbia, inodora, algunas partículas sólidas	26	7,4	8,6	529,5	454,33	372,75	1,362	0,098	160	0,02	0,18
C10 Rumio/14	Mayo-14	S 27° 30' 573" O 64° 5' 39"	Pozo	<25	26	Ligeramente turbia, inodora, algunas partículas sólidas	20	6,71	8,1	1250	430,42	85,2	0,395	0,059	880	0,97	0,49
C11 7 Árboles/10	Mayo-14	S 27° 31' 328" O 64° 5' 508"	Pozo	<10	18	Incolora, inodora	20	7,31	8,5	555	334,77	78,1	0,29	0,037	215	0,91	0,18
C12 Cándor Huasi/10	Mayo-14	S 27° 31' 565" O 64° 5' 882"	Pozo	50-100	19	Turbia, con partículas sólidas	20	6,81	7,9	1720	406,50	99,4	0,376	0,037	1515	1,56	0,56
C13 Negra Muerta/8	Mayo-14	S 27° 31' 70" O 64° 6' 874"	Pozo	>25	27	Ligeramente turbia, inodora, algunas partículas sólidas	14	7,05	8,1	1440	382,59	127,8	1,15	0,074	1225	1,06	0,20
C14 Negra Muerta/5	Mayo-14	S 27° 30' 681" O 64° 7' 94"	Pozo	50	69	Ligeramente turbia, inodora, algunas partículas sólidas	23	7,63	7,5	523	310,46	85,2	0,255	0,022	95	1,87	0,40
C15 Palmares/7	Mayo-14	S 27° 28' 989" O 64° 7' 858"	Bomba comunitaria Pozo de 7 m	>10	0,8	Incolora, inodora	21	7,05	8,1	607	549,98	71	0,406	0,051	255	1,00	0,20

NDt: no determinado

Tabla 2. Propiedades de las muestras recolectadas en zonas rurales del norte de la provincia de Santiago del Estero, durante la cuarta campaña (noviembre de 2014)

Muestra/ Prof. (m)	Fuente	Características organolépticas	pH	OD (mg/L)	Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Alcalinidad (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	Dureza (CaCO_3) (mg/L)
PB/60-75	Pozo	Inodora Incolora Sin partículas	8,55	5,70	1.055	173	<0,08	<0,009	15
PB/245	Surgente	Inodora Incolora Sin partículas	8,02	6,77	1.004	172	<0,08	<0,009	14
VP/67	Pozo	Inodora Incolora Sin partículas	8,02	6,32	2.150	194	2,2	<0,009	78

Tabla 3. Contenido de elementos importantes en las muestras de la Tabla 2

Muestra	As (total) (mg/L)	P (mg/L)	Si (mg/L)	S (mg/L)	Cl (mg/L)	FE (mg/L)	F (mg/L)
PB	0,332	ND	8,78	62,96	43,39	0,107	0,10
PB (surgente)	0,250	ND	10,12	53,90	41,88	0,051	1,3
VP	0,195	ND	5,79	124,28	148,97	0,275	1,8

ND: no detectado



Figura 2. Localidad de PB, visitada en noviembre de 2014 y marzo de 2015. La foto de la derecha es la “represa”

las familias acopian agua en los domicilios en distintos tipos de recipientes (bidones, piletones o aljibes) y algunas familias tratan el agua con lavandina o cloro, previamente al consumo.

Conclusiones de las campañas

Aunque el trabajo no implicó el diseño de una muestra representativa para realizar las observaciones y las entrevistas en ambas zonas, los datos recolectados permitieron lograr uno de los objetivos centrales de la etapa de diagnóstico, que era poder contextualizar los problemas de acceso y calidad del agua de la población. De este modo, aunque la población rural de ambas zonas tiene características similares, se han podido detectar algunas diferencias en las características socioeconómicas y de condiciones de vida, que resultan muy significativas para el análisis:

- Diferencias en la actividad económica de las familias: mientras que las familias de la zona rural de Banda desarrollan actividades agrícolas de pequeña o mediana escala para comercialización, en el Departamento Copo, la agricultura y la cría son irregulares y básicamente de subsistencia. El trabajo se realiza mayoritariamente fuera de los hogares y la utilización del agua no está directamente vinculada a la actividad económica en el lugar.

- Diferencias de infraestructura general: en la zona norte de la provincia, la infraestructura de caminos es mucho más precaria, con difícil acceso y no existe servicio de telecomunicaciones. Las prestaciones de salud y educación en la zona son deficitarias. La calidad de las viviendas también contrasta con la de la zona del Departamento Banda, en donde puede apreciarse el impacto de los planes de vivienda implementados por el Estado Nacional y Provincial.
- Diferencias en la tenencia de la tierra: mientras que en la zona de Banda los habitantes manifiestan mayoritariamente ser propietarios de la tierra, en las zonas rurales de Copo los testimonios señalan dificultades en ese aspecto, y los habitantes manifiestan ser “poseedores” de acuerdo a su propia visión. En la zona también hay registros de conflictos ligados a la tenencia de la propiedad de la tierra.
- Importancia de los conflictos relativos al HACRE: la zona de influencia de la localidad de Clodomira ha estado fuertemente marcada por el conflicto que se desató en la zona en el año 1996, como consecuencia de varios fallecimientos en la localidad de María Elena^[11]. La cercanía con la capital de la provincia y el trabajo de documentación realizado por expertos, seguramente favoreció que esos conflictos trascendieran la escena local. Los

reclamos produjeron diversas respuestas por parte de los poderes públicos, en particular, una fuerte intervención en la zona del programa provincial HACRE y, por otro lado, la extensión de la red de agua potable en toda la región. En las localidades rurales cercanas a San José del Boquerón (Copo) los testimonios sobre la presencia y la importancia de la contaminación con arsénico son más escasos. En una sola localidad se detectaron fallecimientos relacionados con el HACRE pero, al menos en los registros obtenidos por los autores, no se documentan conflictos de gran alcance en la zona.

- Diferencias en el acceso al agua: la provisión de agua en ambas zonas es distinta. En la zona de Clodomira, el acceso principal se realizó históricamente a través de pozos con bombas manuales. Por el contrario, en la zona de Boquerón, se recurre a la recolección de agua de lluvia, a proveerse de un surgente y al agua de río. Al mismo tiempo, la ampliación de la red de agua potable permitió, en la zona de Clodomira, mejorar notablemente las condiciones de acceso y calidad del agua. Sin embargo, con relación a este último punto, en Clodomira todavía se verifican varios problemas en el funcionamiento de la red, entre ellos: a) la provisión de agua es de muy baja presión y no es constante; b) es necesario afrontar el costo de la luz eléctrica para el funcionamiento de las bombas, y algunos pobladores carecen de medios económicos para este fin; c) el tendido de la red es precario en algunas zonas, ya que los vecinos conectan sus propias mangueras para ampliar la cobertura, comentándose que el paso de vehículos produce roturas de la cañería; d) en verano, la temperatura del agua de red es elevada. Por ello, el agua de pozo en la zona tiende a ser preferida por los habitantes debido a su temperatura y gusto. Ello ha significado que el agua de pozo siga siendo utilizada por algunos pobladores, incluso allí donde llega el agua de la red pública. Por su parte, en las localidades rurales del Departamento Copo, los intentos de mejorar la provisión a través de pozos comunes (con cisternas) fracasaron debido a problemas de mantenimiento de las mismas. En la actualidad, los habitantes optan por construir aljibes como la solución más inmediata y confiable. Sin embargo, no se asegura un aprovisionamiento constante y, de tal modo, el acceso al agua sigue siendo un problema que cada familia debe resolver por su cuenta con los recursos disponibles.

Las diferencias registradas entre ambas zonas muestran que el problema del acceso y de la calidad del agua, se encuentra vinculado no sólo a la disponibilidad y a sus características físico-químicas, sino a otros elementos que conforman las condiciones de vida de las poblaciones. El tratamiento del problema de la calidad del agua debe contemplar, por lo tanto, estrategias que asuman el contexto de mayor o menor precariedad general en las condiciones de vida. Una situación de mayor aislamiento, menor estabilidad en la tenencia de la tierra y un tipo de producción de menor escala y ligada puramente a la subsistencia, hacen prever una resistencia mayor de los habitantes de la zona norte a considerar seriamente los problemas asociados con la calidad del agua que consumen, y menor predisposición a aceptar estrategias de remediación que impliquen realizar inversiones o esfuerzos significativos o alterar sus modos de funcionamiento cotidiano.

ESTRATEGIAS DE REMEDIACIÓN

Los procedimientos innovadores para proveer agua segura a poblaciones aisladas deberían ser accesibles, ambientalmente

amigables y adaptados a las prácticas culturales y reglas de la población. Existe una variedad de tecnologías disponibles para mejorar la calidad microbiana del agua y reducir las enfermedades hídricas. Estas incluyen métodos físicos y químicos que pueden ser utilizados al nivel de clústeres de asentamientos (escuelas, centros comunitarios, edificios y poblados)^[17-19]. Al mismo tiempo, el diseño debería cumplir ciertos requisitos relacionados con los estilos de vida de los habitantes. El objetivo es que las tecnologías puedan ser utilizadas y apropiadas por la gente, con la menor alteración de usos y hábitos relacionados con el agua. En el caso de aguas con As, la selección del método depende de la especiación química del elemento, porque la especie más fácilmente eliminable y más común en las aguas subterráneas de Argentina, es la forma pentavalente: As(V). El método también depende fuertemente de la composición química del agua, la dureza y otras propiedades, así como de la presencia en la matriz de posibles interferentes, tales como silicato, fosfato y sulfato que, en muchos casos, compiten con el As por los sitios de adsorción o sitios reactivos del material, o bien, ejercen algún otro tipo de interferencia química. Otros interferentes son sulfato, cloruro, bicarbonato u otros iones inorgánicos, y algunos oxianiones de metales del grupo de transición. Precipitantes y coagulantes presentes en el agua, como hierro y manganeso, también forman finos coloides que pueden disminuir el acceso a los sitios reactivos del material tratante^[20-22]. También debe tenerse en cuenta la manipulación, la disposición final de los residuos generados y la robustez de la tecnología a emplear^[21].

En particular, existen materiales comerciales disponibles en el mercado que podrían ser potencialmente útiles para la eliminación de As. El empleo de materiales de óxidos e hidróxidos de hierro en forma granular y nanoparticulado, ha mostrado una eficiencia muy buena para la remoción de As debido a la afinidad que existe entre ambos elementos químicos, y el As en forma de arseniato es retenido fuertemente sobre la superficie de los mismos^[22-25]. Las condiciones óptimas para los ensayos son a pH neutro o levemente ácido (entre 5 y 7) y, en general, no se supera un pH mayor a 9^[20]. Los óxidos de titanio también son buenos candidatos para remover arsénico^[22].

Teniendo en cuenta estos factores, para los experimentos de remoción de As, se seleccionaron y utilizaron materiales basados en hierro o titanio, comercializados por distintas empresas o sintetizados en el laboratorio.

ENSAYOS DE REMEDIACIÓN

Materiales y métodos

Se ensayaron varios materiales de hierro y titanio comerciales, que se mencionan en la **Tabla 4**.

Otros reactivos fueron de calidad analítica: ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) (Biopack), tartrato de antimonio (III) potásico ($C_8H_4K_2O_{12}Sb_2$) (Baker), molibdato de amonio tetrahidratado [$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$] (Stanton), ácido ascórbico L ($C_6H_8O_6$) (Anedra), almidón soluble (Biopack), borohidruro de sodio ($NaBH_4$) (Merck), arseniato de sodio dibásico ($Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$) (Baker) y cloruro férrico ($FeCl_3$) (Biopack).

Para preparar las soluciones, se empleó agua destilada con un equipo Milli-Q (resistividad=18 M Ω .cm).

Remoción con distintos materiales en aguas sintéticas y naturales. Resultados y discusión

Los experimentos se llevaron a cabo, en primer lugar, en aguas

Tabla 4. Materiales ensayados en la remoción de As

Material	Componente básico	Referencia	Características
GEH 102	hidróxido de hierro	[26]	granulado
IIT Madras	oxihidróxido de hierro	[27]	nanoestructurado reforzado con quitosano
Metsorb® HMRG	"material de titanio" (probablemente dióxido de titanio)	[28]	
Layne RT	resina regenerable y óxido de hierro	[29]	granulado
NanoFer 25	nanopartículas de hierro cerovalente	[30]	[Fe(0)] = 206 g L ⁻¹
NanoFe®	nanomagnetita	[31]	[Fe] _{total} = 33 g L ⁻¹
nZVI sintético S/ almidón (nZVI)	hierro cerovalente nanoparticulado	[32]	preparado por reducción de FeCl ₃ con borohidruro de sodio (NaBH ₄) bajo atmósfera de N ₂
nZVI sintético C/ almidón (nZVI _{alm})	hierro cerovalente nanoparticulado soportado en almidón	[33]	síntesis similar a la anterior con agregado de almidón soluble en el recipiente de reacción

sintéticas y, de acuerdo con los resultados, se ensayaron luego las aguas naturales de PB y VP. Las aguas sintéticas se prepararon diluyendo convenientemente una solución de As(V) de 1.000 mg/L. Los experimentos de remoción se realizaron en un sistema *batch* (Erlenmeyer) con agitación continua, empleando un agitador orbital Vicking M-23 (215 rpm) utilizando 175 mL de solución a 25°C. Los experimentos se realizaron por duplicado y los resultados se promediaron para cada muestra. Se midió el pH inicial y final y se tomaron muestras a distintos tiempos. En el caso de los materiales granulados (GEH 102, IIT Madras, Metsorb® HMRG y Layne RT) las muestras fueron filtradas por membranas Millipore (0,2 µm) antes del análisis de As y, para los experimentos realizados con NanoFer 25, NanoFe® y los materiales sintéticos, las muestras fueron centrifugadas a 4.000 rpm durante 10 minutos. Se ensayaron distintas concentraciones de material de hierro. La concentración de As(V) en solución se midió por espectrofotometría UV-visible mediante la técnica de arsenomolibdato^[12] en celdas de vidrio de 1 ó 10 cm de paso óptico, o por TXRF^[13]. El pH se midió utilizando un electrodo estándar.

Remoción de As de agua sintética

Los resultados de los experimentos de remoción de As de agua preparada en el laboratorio con los distintos materiales y distinta concentración de los mismos, se muestran en la **Tabla 5**. La concentración de As se midió, en todos los casos, por la técnica de arsenomolibdato^[12].

Los resultados más relevantes se presentan en las **Figuras 3 a 7**, donde se muestra la evolución de la concentración relativa de As(V) en función del tiempo de tratamiento con relación al valor inicial.

Se concluye que los resultados de remoción de As en agua sintética son muy positivos con NanoFe®, NanoFer 25 y el material sintetizado en el laboratorio (con y sin soporte en almidón) llegándose a una concentración final de As(V) < 10 µg/L en menos de una hora de contacto. Para concentraciones de 1 g/L de material NanoFe® y NanoFer 25, la remoción fue prácticamente total en un tiempo de contacto de 5 minutos, llegándose a una concentración final de As(V) < 5 µg/L. Los materiales granulados fueron menos eficientes, llegándose a una concentración final de

As(V) < 10 µg/L luego de tres horas de contacto. Sin embargo, aumentando la concentración de estos materiales de 0,2 a 0,5 g/L, la remoción aumentó considerablemente, presentando el material de Layne RT un muy buen comportamiento.

Remoción de As de las aguas provenientes de Santiago del Estero Se analizó la remoción de As de las muestras de aguas de pozo de VP y PB y de PB surgente, dado que se consideró que eran las únicas que contenían As en cantidades que merecieran el tratamiento (mayor a 50 µg/L). Se utilizaron los materiales NanoFer 25, NanoFe®, GEH 102, IIT Madras y Metsorb® HMRG, en las mismas condiciones que las de los experimentos con aguas sintéticas. En estos casos, la concentración de As(V) en solución debió medirse mediante la técnica de TXRF^[13], dado que el arsenomolibdato presentó interferencias, dando valores mucho menores a los esperados (resultados no mostrados). Los resultados se presentan en la **Tabla 6**.

Se observa que la remoción con los materiales granulados es muy baja y que las nanopartículas son muy eficientes, llegándose a un porcentaje de remoción muy alto luego de sólo media hora de tratamiento. En el caso de NanoFe®, los valores al final del tratamiento cumplen la normativa del CAA.

En la **Figura 8** se muestran, como ejemplo, los resultados del tratamiento de las aguas de PB y VP con NanoFer25.

La **Figura 9** muestra los resultados del tratamiento de aguas de PB con algunos materiales granulados. Se observa que si bien la remoción es más baja que con los materiales nanoparticulados, la eficiencia aumenta al aumentar la cantidad de material empleado. Nuevamente, el material Layne RT presenta la mejor eficiencia. Debe destacarse que estas medidas son solamente cualitativas y comparativas, pues las concentraciones de As fueron medidas por el método del arsenomolibdato^[12] que, como se dijo, no es conveniente para las aguas estudiadas debido a la presencia de interferentes. Los valores reales de remoción deben ser, por lo tanto, algo mayores.

La diferencia en la eficiencia de remoción de As en las aguas sintéticas respecto a las aguas naturales, independientemente del material utilizado, se debe a la competencia de otros iones por los sitios reactivos de los materiales. Dado que no se detectó fosfato en las aguas, se puede sugerir que el principal interferente

Tabla 5. Efecto del tipo de material y su concentración sobre la remoción de As(V) en agua sintética

Material	Concentración del material (g/L)	[As] _{inicial} (mg/L)*	[As] _{final} (mg/L)*	Tiempo de tratamiento (h)	% remoción
GEH 102	0,2	0,128	0,0490	3	72,40
	0,5	0,200	0,0076		96,4
IIT Madras	0,2	0,128	0,0140	3	87,10
	0,5	0,200	0,0057		97,5
Metsorb® HMRG	0,2	0,128	0,049	3	50,00
	0,5	0,200	0,0657		70,60
Layne RT	0,2	0,200	0,04	3	82,3
	0,5	0,200	0,0095		96,40
NanoFer 25	0,05	0,128	0,0005	1	99,55
	0,1	0,128	0,0043	2	97,78
	0,2	0,128	0,0057	3	96,21
	0,5	0,128	0,0010	1,5	99,20
	1,0	0,128	0,0024	0,5	97,90
NanoFe®	0,05	0,128	0,0029	2	98,03
	0,1	0,128	0,0043		96,99
	0,2	0,128	0,0050	1,5	96,60
	0,5	0,128	0,0019		98,60
	1,0	0,128	0,0019	0,5	98,30
nZVI sintético s/almidón	0,07	0,128	0,001	0,33	97,8
	0,01	0,128	0,0157	0,33	80,20
	0,02	0,128	0,0000	0,42	100,00
nZVI sintético c/ almidón	0,07	0,128	0,001	0,33	98
	0,01	0,128	0,0024	0,33	97,00
	0,02	0,128	0,0000	0,42	100,00

*Concentración de As medida mediante la técnica de arsenomolibdato^[12].

Tabla 6. Porcentajes de remoción de As de aguas reales del norte de la provincia de Santiago del Estero empleando distintos materiales

Aguas	Material	Concentración del material (g/L)	[As] _{inicial} (mg/L)	[As] _{final} (mg/L)	% Remoción	Tiempo de tratamiento con el material (h)	
PB VP	NanoFer 25	0,2	0,332	0,040	81,7	0,5	
			0,195	0,011	91,5		
0,332	0,008		97,6				
0,195	0,007		96,4				
0,332	0,275		17,2				
PB VP	NanoFe®		0,332	0,272	18,1	3	
			0,332	0,293	11,7		
PB	GEH 102 IIT Madras Metsorb® HMRG Layne RT		0,332	0,273	17,8		
			0,332	0,168	49,4		3
			0,332	0,146	56,0		
		0,332	0,194	41,6			
		0,332	0,101	69,6			

es el sulfato, ya que se detectó gran cantidad de azufre (S) por TXRF (entre 53 y 124 mg/L, **Tabla 3**).

CONCLUSIONES

Se presentan los objetivos y primeros avances de un proyecto transdisciplinario relacionado con la remoción de arsénico y el acceso, usos y calidad de agua en zonas rurales de la provincia

de Santiago del Estero. Durante el diagnóstico inicial, se consideraron las prácticas diarias de la población relacionadas al uso y hábitos del agua, y se recogieron muestras de agua para el análisis de su calidad.

La realización del trabajo de campo resultó más complicada de lo previsto. Los obstáculos principales fueron la distancia, la dificultad de acceso y la complejidad para garantizar la continuidad del trabajo con un equipo permanente en el campo. Sin embargo,

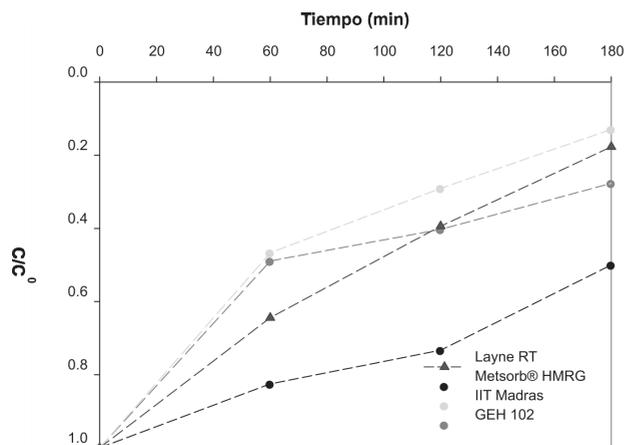


Figura 3. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) durante el tratamiento de agua sintética ($[As]_{inicial}=0,128$ mg/L, excepto para el material Layne RT que se ensayó con $[As]_{inicial}=0,2$ mg/L) con materiales granulados empleando 0,2 g/L de material. La $[As(V)]$ fue medida con la técnica de arsenomolibdato^[12].

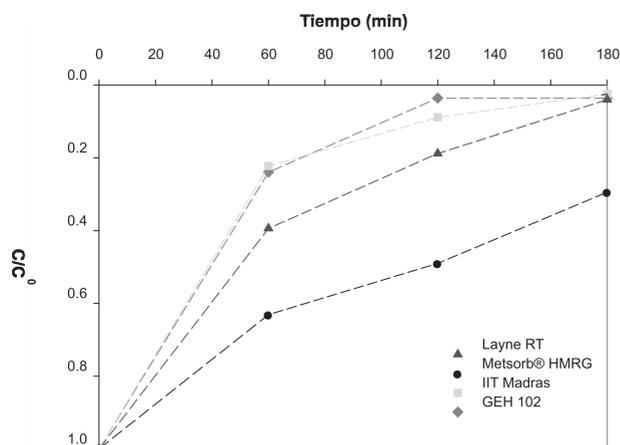


Figura 4. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en agua sintética ($[As]_{inicial}=0,2$ mg/L) durante el tratamiento con materiales granulados empleando 0,5 g/L de material. La $[As(V)]$ fue medida con la técnica de arsenomolibdato^[12].

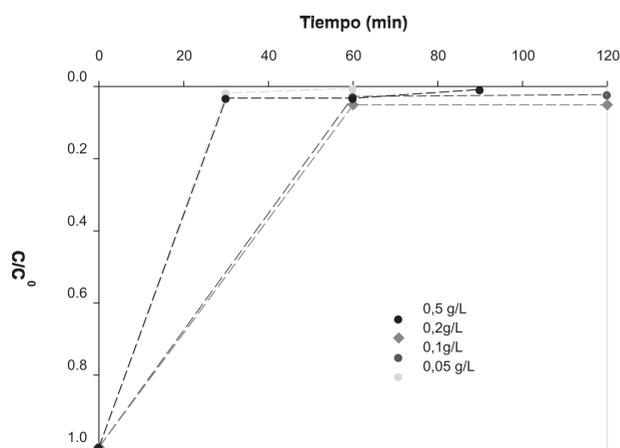


Figura 5. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en agua sintética ($[As]_{inicial}=0,128$ mg/L) durante el tratamiento con NanoFer 25. La $[As(V)]$ fue medida con la técnica de arsenomolibdato^[12].

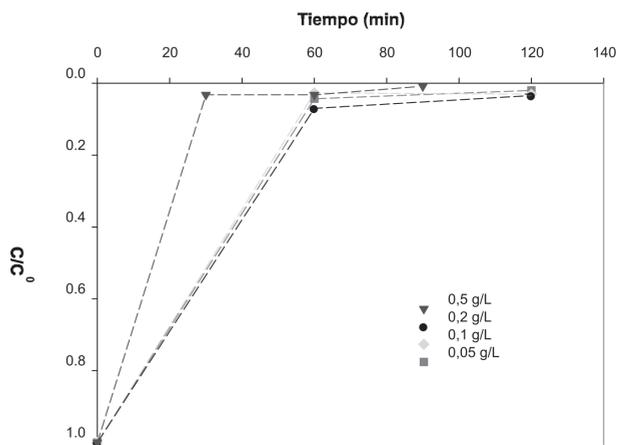


Figura 6. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en agua sintética ($[As]_{inicial}=0,128$ mg/L) durante el tratamiento con NanoFe®. La $[As(V)]$ fue medida con la técnica de arsenomolibdato^[12].

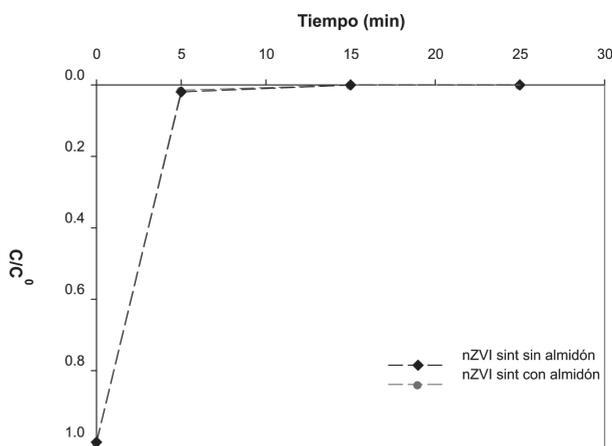


Figura 7. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en agua sintética ($[As]_{inicial}=0,128$ mg/L) durante el tratamiento con nZVI sintetizado en el laboratorio no soportado y en almidón (0,2 g/L). La $[As(V)]$ fue medida con la técnica de arsenomolibdato^[12].

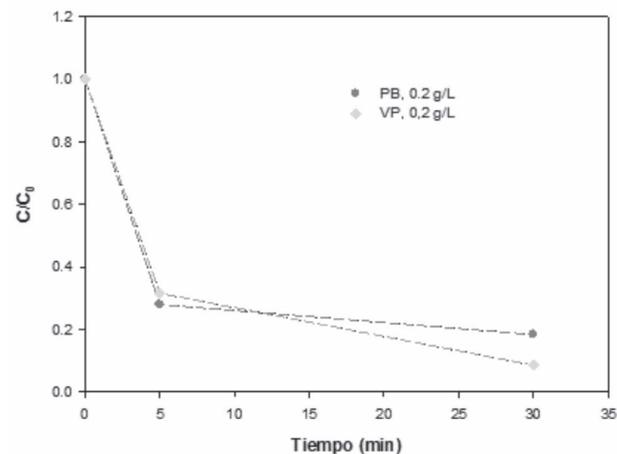


Figura 8. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en aguas reales de Santiago del Estero durante el tratamiento con NanoFer25 (0,2 g/L). La $[As(V)]$ fue medida con TXRF^[13].

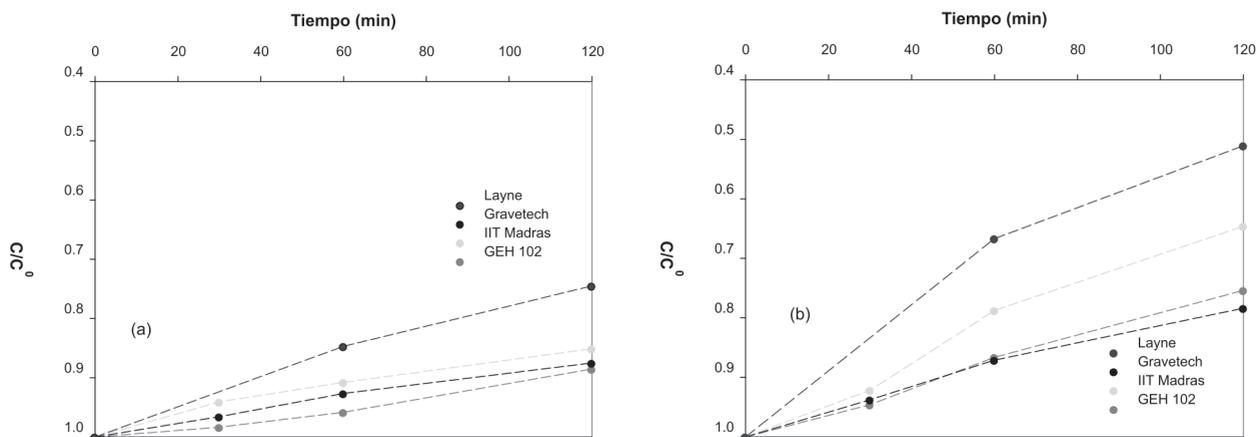


Figura 9. Evolución temporal de la concentración relativa de As(V) en aguas reales de Santiago del Estero durante el tratamiento con materiales granulados: a) 0,2 g/L; b) 0,5 g/L. La [As(V)] fue medida con el método del arseno-molibdato^[12]

el proyecto pudo avanzar de modo satisfactorio con la recopilación de datos y el muestreo de agua en las zonas seleccionadas. El diagnóstico transdisciplinario permitió, entonces, poner en contexto los resultados obtenidos en las muestras de agua y aportar datos adicionales para definir posibles estrategias de intervención. Situar los problemas de acceso y calidad del agua en el conjunto de las condiciones socioeconómicas que definen la vida cotidiana de los habitantes de las zonas estudiadas, es un requisito indispensable para favorecer una intervención exitosa. Como se pudo observar, para la población de zonas rurales dispersas, los datos censales suelen ser demasiado generales, lo cual requiere obtener datos más confiables sobre la realidad de esas poblaciones. Frente a la dificultad de establecer muestras o de realizar relevamientos exhaustivos, las entrevistas y la observación demostraron ser herramientas útiles para los objetivos prefijados.

Una de las mayores conclusiones de este trabajo, es que la zona cercana a la capital presenta ahora una calidad de agua mucho mejor que hace unos diez años, debido a los planes de gobierno para la implementación de una red de agua potable. Sin embargo, en algunos casos, la población sigue utilizando agua de pozo que es necesario controlar. La zona al norte, por su parte, más pobre y con peores condiciones de vida, muestra graves problemas de calidad de agua y altos valores de arsénico.

Los resultados de remoción de arsénico en agua sintética fueron muy positivos con NanoFe®, NanoFer 25 y el material sintetizado en el laboratorio, llegándose a una concentración final de As(V) < 10 µg/L en menos de una hora de contacto. Los materiales granulados o soportados GEH 102, IIT Madras, Metsorb® HMRG y Layne RT, fueron menos eficientes. La mayor eficiencia para la remoción de As mostrada por los materiales NanoFer 25, NanoFe® y los sintetizados en el laboratorio por sobre los materiales granulados, puede deberse, principalmente, a que los primeros son materiales nanoparticulados, por lo cual presentan una mayor relación de área por unidad de masa, favoreciendo los procesos superficiales. Sin embargo, los materiales granulados permiten ser utilizados directamente en los distintos dispositivos de filtro. El material de hierro cerovalente nanoparticulado sintetizado en el laboratorio, también mostró una gran eficiencia para remover arsénico del agua de PB. Si bien este material

continúa sin ser del tipo granular, lo que permitiría colocarlo en un dispositivo de filtración, es promisorio para la búsqueda de técnicas de soportado que minimicen la pérdida de eficiencia del material de hierro.

Los materiales NanoFe® y NanoFer 25 en aguas de pozo a 0,1 g/L y 0,2 g/L, dieron una eficiencia de remoción de As(V) menor a la obtenida con aguas sintéticas en igual concentración, posiblemente, por la presencia de los interferentes. La remoción de As(V) de aguas de pozo de PB fue más efectiva con mayor cantidad de NanoFer 25 (91,6% con 1 g/L.)

Con los materiales más eficientes se probarán, en los próximos experimentos, diferentes dispositivos, entre los cuales se encuentran una jarra comercial, un cartucho bajo mesada y otros dispositivos a diseñar.

Finalmente, se realizará una intervención en la zona en algunos lugares seleccionados, tendiendo a la implementación de dispositivos para la desinfección y remoción de arsénico. Esta metodología podría ser replicada en otras zonas similares. Se debe destacar que el diagnóstico realizado en este trabajo, permite observar que las dificultades de acceso y calidad del agua en las poblaciones del norte de la Provincia de Santiago del Estero, están acompañadas de otras dimensiones de vulnerabilidad que es necesario tener en cuenta a la hora de diseñar e implementar dispositivos para la remoción de arsénico.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por el Proyecto UNSAM Diálogo entre las Ciencias y la Fundación Alimentaris. Los autores agradecen a Juan José Ochoa y Marc Benhamou de Alimentaris por la toma de muestras, campañas y colaboración en la discusión. Un agradecimiento especial al Dr. Padiál por la ayuda brindada en información y contactos con las escuelas y lugares de La Banda y Clodomira.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bundschuh, J., Litter, M. y col. (2010). Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Iberoamerica-A critical analysis. *Water Res.* 44: 5828-5845.

- [2] Litter, M.I. Morgada, M.E., Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environ. Pollut.* 158: 1105-1118.
- [3] Neiburg, F., Nicaise, N. (2009). The social life of water. Río de Janeiro, Viva Rio.
- [4] Censo INDEC (2010). En: http://www.censo2010.indec.gov.ar/CuadrosDefinitivos/H2-P_Santiago_del_estero.pdf. Acceso: 8-10-2013.
- [5] Bundschuh, J., Litter, M. et al. (2010). Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Iberoamerica-A critical analysis. *Water Res.* 44: 5828-5845.
- [6] Litter, M.I. Morgada, M.E., Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environmental Pollution* 158: 1105-1118.
- [7] Guidelines for drinking-water quality (2011). 4th. World Health Organization, World Health Organization.
- [8] ANMAT (2012). Capítulo XII: bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Sección: agua potable. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnologías, Argentina. http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf. Acceso: 30-3-2015.
- [9] Informe del Programa Provincial HACRE al Sr. Comisionado Municipal de San José del Boquerón (18 de diciembre de 2006).
- [10] Ragno, J. D. (2010). "El hidroarsenicismo en la zona de riego, está siendo vencido." comunicación personal.
- [11] Padial, C. (2004). Estado actual del hidroarsenicismo crónico regional endémico en el Departamento Banda, Provincia de Santiago del Estero, Argentina. Encuentro sobre usos y resultados de tecnologías económicas para la purificación de aguas en América Latina, Proyecto OEA/AE 141, 8 y 9 de noviembre de 2004, Buenos Aires
- [12] Lenoble, V., Deluchat, V., Serpaud, B., Bollinger, J.C. (2003). Arsenite oxidation and arsenate determination by the molybdenum blue method. *Talanta* 61: 267-76.
- [13] Klockenkamper, R (1996). Total-reflection X-Ray fluorescence analysis. Wiley-Interscience.
- [14] http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/cmp130704app4.pdf?ua=1. Acceso: 21-03-2015.
- [15] Jal Tara. Arsenic testing kit-development alternatives. Qutab Institutional Area New Dehli.
- [16] Sowa, I., Wójciak-Kosior, M., Kocjan, R., Szwerc, W. (2011). Determination of fluoride anions in drinking water samples using of ion chromatography technique. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Sect. DDD Pharm.* 24: 67-72.
- [17] Meichtry, J.M., Litter M.I. (2012). Solar disinfection as low-cost technologies for clean water production. In J. Bundschuh & J. Hoinkis (eds). *Renewable energy applications for freshwater production*: 207-238. London: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group.
- [18] Litter, M.I., Morgada, M.E., Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environ. Pollut.* 158:1105-1118.
- [19] Bundschuh, J., Litter, M., Ciminelli, V., Morgada, M.E., Cornejo, L., Garrido Hoyos, S., Hoinkis J., Alarcón-Herrera, M.T., Armienta, M.A., Bhattacharya, P. (2010). Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Iberoamerica-A critical analysis. *Water Res.*, 44:5828-5845.
- [20] Sancha, A.M. (2010). Importancia de la matriz de agua a tratar en la selección de las tecnologías de abatimiento de arsénico. En: *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. M.I. Litter, A.M. Sancha, A.M. Ingallinella (Eds.). Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 145-154.
- [21] Luther, S., Borgfeld, N., Kim, J., Parsons, J. G. (2012). Removal of arsenic from aqueous solution: a study of the effects of pH and interfering ions using iron oxide nanomaterials. *Microchem. J.* 101: 30-36.
- [22] Mohan, D, Pittman, C. U. Jr. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review. *J. Hazard. Mater.* 142: 1-53.
- [23] Lenoble, V., Bouras, O., Deluchat, V., Serpaud, B., Bollinger, J.-C. (2002). Arsenic adsorption onto pillared clays and iron oxides. *J. Colloid Interface Sci.* 255: 52-58.
- [24] Aredes, S., Klein, B., Pawlik, M. (2013). The removal of arsenic from water using natural iron oxide minerals. *J. Clean. Prod.* 60: 71-76.
- [25] R. Leyva Ramos (2010). Fundamentos de adsorción en sistemas líquido-sólido. En: *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas*. M.I. Litter, A.M. Sancha, A.M. Ingallinella (Eds.). Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Pp 43-57.
- [26] <http://www.proh2o.info/>; http://www.geh-wasserchemie.de/index.php?article_id=45&clang=2. Acceso: 05-04-2015.
- [27] Sankar M. U., Aigal, S., Chaudhary, A., Anshup, Maliyekkal, S. M. Kumar, A. A., Chaudhari, K., Pradeep, T. (2013). Biopolymer reinforced synthetic granular nanocomposites for affordable point-of-use water purification. *PNAS* 110: 8459-8464.
- [28] http://gravertech.com/pr_overview_metsorb.html; http://gravertech.com/pr_ads_metsorb_HMRG.html. Acceso: 05-04-2015.
- [29] <http://www.layne.com/en/solutions/water-management/arsenic-removal.aspx>. Acceso: 05-04-2015.
- [30] <http://www.nanoiron.cz/en/products>. Acceso: 05-04-2015.
- [31] <http://www.nanoteksa.com/>. Acceso: 05-04-2015.
- [32] Hwang, Y.H., Kim, D.G., Shin, H.-S. (2011). Effects of synthesis conditions on the characteristics and reactivity of nano scale zero valent iron. *Appl. Catal. B* 105: 144-150.
- [33] Alidokht, L., Khataee, A. R., Reyhanitabar, Oustan, S. (2011). Reductive removal of Cr(VI) by starch-stabilized Fe⁰ nanoparticles in aqueous solution. *Desalination* 270: 105-110.

Sobre los autores:

Marta I. Litter es Licenciada y Doctora en Química, egresada de la Universidad de Buenos Aires (UBA) Argentina. Se desempeña en la Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina. Es, además, docente de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) Argentina e Investigadora Superior del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Sebastián Pereyra es Licenciado en Ciencia Política, egresado de la UBA y Doctor en Sociología por la Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Francia. Se desempeña como docente en la UNSAM y como Investigador Asistente del CONICET.

Clara E. López Pasquali es Licenciada en Química, egresada de la UBA y Doctora en Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) España. Se desempeña como docente en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) Argentina.

Analia Iriel es Licenciada en Química, egresada de la Universidad Nacional del Litoral y realizó un Doctorado en Química en la UBA. Se desempeña como docente en la UNSAM y como Investigadora Asistente del CONICET.

Alejandro M. Senn es Doctor en Ciencias Químicas, egresado de la UBA. Se desempeña como Investigador Asistente del CONICET y docente en la Universidad Favaloro, Argentina.

Fabiana E. García es Ingeniera Química, egresada de la Universidad Nacional de Salta. Se desempeña como Pasante en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

María Florencia Blanco Esmoris es Licenciada en Sociología, egresada de la UNSAM. Se desempeña como analista de las audiencias de medios de comunicación en el proyecto PASCAL, perteneciente al Sistema Federal de Medición de Audiencia (SI-FEMA). Es, además, docente de la UNSAM.

Karina Rondano es Licenciada en Química, egresada de la UNSE y tesista de Doctorado en Química de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) España. Se desempeña como docente de la UNSE.

D. Carolina Pabón es Bióloga, egresada de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Se desempeña como becaria doctoral de CONICET y desarrolla su tesis de doctorado en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Leila E. Dixelio es Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas,

egresada de la UBA. Se desempeña como Investigadora Independiente en la UBA y como docente de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la UNSAM.

María Gabriela Lagorio es Licenciada y Doctora en Química, egresada de la UBA. Se desempeña como investigadora y docente de la UBA y docente de la UNSAM.

Gabriel D. Noel es Licenciado en Antropología, egresado de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina y Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad Nacional de General Sarmiento, Argentina. Se desempeña como Secretario de Investigación y docente en la UNSAM y como Investigador del CONICET.

Los autores pueden ser contactados en las direcciones electrónicas:

<litter@cnea.gov.ar>, <sebpereyra@gmail.com>,

<claralo@unse.edu.ar>, <airiel@qi.fcen.uba.ar>, <alejandrosenn@gmail.com>, <fabienlagarcia@gmail.com>, <blancoesmoris@hotmail.com>, <kronmano@gmail.com>, <caropabonreyes@gmail.com>, <led@qi.fcen.uba.ar>, <mg1@qi.fcen.uba.ar>, <gdnoel@gmail.com>, respectivamente.

La Fundación Alimentaris es una ONG de origen Suizo, de reciente creación, que trabaja activamente generando alianzas con el sector público y privado para lograr mejoras en la calidad de vida de la población de menores recursos a través de sus programas de nutrición y desarrollo rural. Dentro de este último, trabaja activamente en accesos sostenibles a energía, agua y comunicaciones.

Se lo puede contactar en la dirección electrónica:

<herkovit@retina.ar>.

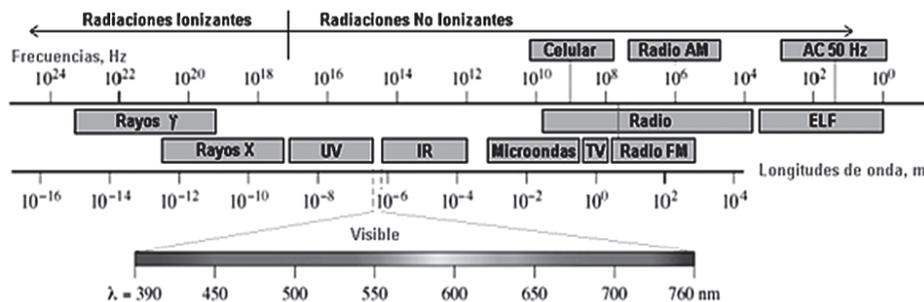
BREVES

Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes. Efectos sobre la salud

Las fuentes de radiación pueden plantear un peligro considerable para la salud de las personas, por lo que se debe controlar adecuadamente cada exposición.

Las radiaciones se clasifican como ionizantes y no ionizantes. Existen dos tipos de radiaciones ionizantes, las de naturaleza electromagnética (rayos X, rayos gamma) y la constituida por partículas (alfa, beta, neutrones, etc).

Las radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia que la necesaria para producir ionización, como las radiaciones ultravioleta (UV), visible, infrarroja (IR), microondas y radiofrecuencias, hasta los campos de frecuencia extremadamente baja (ELF), comprenden la región del espectro conocida como radiación no ionizante:



Radiaciones Ionizantes

Comprende a las ondas electromagnéticas de frecuencia muy alta (mayor que 10¹⁵ Hz) que tienen la suficiente energía para producir ionización, rompiendo los enlaces atómicos que mantienen unidas las células. Estas radiaciones, al interactuar con la materia producen ionización dando lugar a la aparición de uno o varios electrones y a un ion positivo, químicamente activos, por lo que pueden provocar reacciones y cambios químicos en el material con el que interactúan. Una de las reacciones más importantes es la radiólisis o rotura de los enlaces químicos de las moléculas. Cuando las moléculas afectadas forman parte del material genético de las células, pueden alterarlo. Estos efectos biológicos pueden afectar al propio individuo (efectos somáticos) o a sus descendientes (efectos genéticos).

Radiaciones No Ionizantes

Se trata de ondas electromagnéticas de frecuencia menor y cuya

energía no es suficiente para producir rotura de enlaces atómicos. No obstante, pueden producir otros efectos biológicos. Las tres grandes regiones del espectro en la que se dividen estas radiaciones, comenzando por las más energéticas, son las siguientes:

a) Radiaciones ópticas: Comprende longitudes de onda comprendidas entre 10 nm y 1 mm y que están formadas por radiación ultravioleta (400 nm < λ < 100 nm), luz visible (760 nm < λ < 400 nm) y rayos infrarrojos (1 mm < λ < 760 nm). Estas radiaciones producen sobre el cuerpo humano calor y efectos fotoquímicos, es decir pueden iniciar ciertas reacciones químicas conducentes a la aparición de fotofobias, eritemas, exfoliación de tejidos superficiales, etc. La parte más energética de la radiación ultravioleta

tiene ya una cierta capacidad ionizadora.

b) Microondas: Comprende las frecuencias están comprendidas entre 300 MHz y 300 GHz. Además del uso en la cocción de alimentos, las microondas también incluyen a la telefonía móvil (celulares) cuyos rangos de frecuencia están comprendidos entre 900 y 1800 MHz. En esta zona del espectro, los principales efectos son los debidos a la

capacidad de inducir corrientes eléctricas en los tejidos expuestos a ellas, lo que conduce a una elevación de la temperatura interna. Son los denominados efectos térmicos. Si el aumento de temperatura debido a la radiación no es severo (menor de 1°C) la sangre que circula por el tejido es capaz de disipar el moderado exceso de calor. Sin embargo, si el incremento de la temperatura es elevado, producido, claro está, por una exposición muy intensa y el tejido está poco vascularizado, puede dar lugar a daños irreversibles.

c) Radiofrecuencia y campos casi-estáticos: Comprende las radiaciones cuya frecuencia se ubica entre 3 kHz y 300 KHz y cuyos efectos se deben fundamentalmente a tres factores: resonancia, calentamiento y quemaduras o descargas eléctricas. Los campos casi-estáticos son los correspondientes a frecuencias muy bajas, inferiores a 3 kHz. En este caso, los efectos pueden estudiarse separando el campo eléctrico del magnético.