

**Contribución al estudio de cinco zonas
contaminadas naturalmente por Arsénico en
Nicaragua**

**Philippe Barragne-Bigot
UNICEF**

Marzo 2004

CONTENIDO

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	3
SIGLAS Y ABREVIATURAS	5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. ESTUDIOS ANTERIORES	7
III. OBJETIVO DEL ESTUDIO	12
IV. PROCEDIMIENTO	13
IV.1 Recopilación de información	13
IV.2 Inventario y Muestreo de campo	13
IV.3 Interpretación de datos y elaboración de mapas	14
V. METODOLOGÍA	14
VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS POR ZONA DE ESTUDIO	15
VI.1 Comunidad El Mojón, Municipio de San Francisco del Norte, Chinandega	15
VI.2 Comunidad Cerro Mina de Agua, Municipio de Villanueva, Chinandega	17
VI.3 Comunidad de El Charco y Santa Rosa del Peñón, Municipio de Santa Rosa del Peñón	19
VI.4 Comunidad de Cruz de la India y Las Pilas, Municipio de Santa Rosa del Peñón	22
VI.5 Comunidad de Kinuma, Municipio de La Libertad, Chontales	25
VII. RESULTADOS GENERALES Y COMPARACIÓN CON ESTUDIOS ANTERIORES	
VIII. CONCLUSIONES	
IX. RECOMENDACIONES	
X. BIBLIOGRAFÍA	
XI. ANEXOS	

XI.1 Anexo 1: Tablas de mediciones y análisis por zonas de estudio

XI.2 Anexo 2: Tablas de correlaciones por zona de estudio

RESUMEN EJECUTIVO

Antecedentes

En julio de 2002, UNICEF, con financiamiento del Gobierno de Suecia, realizó un estudio de ámbito nacional para conocer la prevalencia de la contaminación natural por Arsénico, Plomo y Flúor de las aguas subterráneas de Nicaragua. De los 106 puntos estudiados un total de 8 sitios resultaron contaminados: 6 sitios por Arsénico y 2 por Plomo. En noviembre de 2003, UNICEF decidió confirmar los resultados del estudio a través de una investigación detallada de cada uno de los 8 sitios de contaminación identificados.

Objetivo

Determinar la concentración de Arsénico total, Arsénico III, Arsénico V y Plomo total en las aguas subterráneas de ocho comunidades afectadas por contaminación por Arsénico y/o Plomo identificadas por estudios anteriores.

Métodos

El estudio contempló el muestreo de 10 puntos alrededor de cada uno de los puntos contaminados identificados en el estudio de 2002. Entre el 12 y 20 de noviembre de 2003 se realizó inventario y captación de muestra de 77 puntos de agua subterránea (manantiales, pozos perforados, pozos excavados). Se realizaron para cada muestra los análisis de Plomo total, Arsénico total, Arsénico III y Arsénico V mediante Espectrometría de Absorción Atómica. La determinación de Arsénico III y Arsénico V fue realizada por método continuo de generación de hidruros con reactivo borohidruro de sodio y aspiración en un atomizador de Absorción Atómica.

Resultados

1. De las 8 localidades estudiadas, se confirmó la contaminación por Arsénico en 6 localidades y un total de 1,270 personas afectadas. De las 77 muestras de agua analizadas, ninguna presentó contaminación por Plomo total.
2. A nivel nacional, se estima que 5.7% de los puntos de abastecimiento de agua tienen valores de Arsénico total por encima del valor máximo admisible de 10 $\mu\text{g/l}$. A nivel de las zonas de contaminación esta prevalencia aumenta hasta 28%.
3. Las concentraciones de Arsénico total superiores a 10 $\mu\text{g/l}$ se encontraron en mayor proporción en los pozos perforados (45%) y en menor proporción en los pozos excavados (23%) y en los manantiales (20%)
4. Las altas concentraciones de Arsénico no pueden explicarse por un aumento anómalo del gradiente geotérmico.

Conclusiones

1. La región de Kinuma en el Municipio de La Libertad, Departamento de Chontales, presenta el más alto nivel de peligrosidad al Arsénico registrado a la fecha en Nicaragua.
2. Se estima en 1,270 el número de personas que consumen agua contaminada por Arsénico en las zonas de Cerro Mina de Agua, El Charco-Santa Rosa del Peñón, Cruz de la India, Las Pilas y Kinuma. Se calcula que aproximadamente 55,700 personas están ingiriendo agua contaminada por Arsénico en todo el país.

Recomendaciones

1. Clausurar inmediatamente los 22 puntos de abastecimiento de agua contaminados por Arsénico y proveer fuentes de agua potable alternativas.

2. Realizar una evaluación de los daños provocados por el Arsénico en los pobladores de Kinuma, Municipio de La Libertad, a través de una valoración dermatológica inicial.
3. Realizar una campaña de información dentro de las zonas contaminadas identificadas.
4. Establecer un programa de control, tratamiento y prevención del daño ocasionado por la intoxicación por Arsénico con especial énfasis en la atención de niñas, niños y embarazadas.

Palabras claves

Nicaragua, Arsénico, Plomo

SIGLAS Y ABREVIATURAS

CE:	Conductividad eléctrica
COSUDE:	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
Eh:	Potencial Redox oxido-reducción
ENACAL:	Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
FISE:	Fondo de Inversión Social de Emergencia
FUNDEC:	Fundación Mujer y Desarrollo Económico Comunitario
GPS:	Sistema de Posicionamiento Geográfico por Satélite
INAA:	Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
M:	Manantial
PIDMA:	Programa de Investigación y Docencia del Medio Ambiente
PEBM:	Pozo excavado a mano con bomba manual
PEEM:	Pozo excavado a mano con extracción manual
PPBM:	Pozo perforado con bomba manual
Pz:	Pozo
T:	Temperatura
UNI:	Universidad Nacional de Ingeniería
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura
UNICEF:	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
Km:	Kilómetro
µg/l:	Microgramo por litro

I. INTRODUCCIÓN

La ingesta de agua con alto contenido de Arsénico, superior al máximo señalado por los criterios de potabilidad, puede dar lugar a una afección llamada hidroarsenicismo crónico, caracterizada por trastornos cutáneos, progresivos que pueden coexistir con otras lesiones extra-cutáneas no cancerígenas o bien lesiones cancerígenas viscerales (Astolfi et al, 1981).

En 1996 se diagnosticó el primer caso centroamericano de arsenicismo, en El Zapote, al norte de Nicaragua. 71 personas con lesiones cutáneas características de intoxicación crónica por Arsénico ingirieron durante dos años (1994-1996) agua de pozo perforado público con 1320 $\mu\text{g/l}$ ¹. Posteriormente las mismas personas consumieron, junto al resto de la comunidad, agua de pozos privados con 45-66 $\mu\text{g/l}$ de Arsénico total. En julio y octubre de 2002, UNICEF realizó una evaluación del estado de salud de los habitantes de El Zapote y de aquellos que habitaron en esta comunidad entre 1994 y 1996, con los objetivos de realizar un diagnóstico precoz de las enfermedades asociadas al arsenicismo y de determinar la prevalencia y las características de las patologías relacionadas con la intoxicación crónica por arsénico (Gómez, 2002)

A 111 personas se les realizó examen clínico, ultrasonografía de abdomen y diversos análisis de laboratorio.

La parestesia, edema en miembros inferiores, ardor ocular, lesiones cutáneas y manifestaciones respiratorias resultaron con cifras significativas altas entre los pobladores que ingirieron mayores niveles de Arsénico. Sobresalieron la queratosis y la hiperpigmentación propias del arsenicismo crónico. La prevalencia de tos, hemoptisis y estertores se asoció también a la alta ingesta de Arsénico con cifras estadísticamente significativas.

En julio de 2002, UNICEF, con financiamiento del Gobierno de Suecia, realizó un estudio de ámbito nacional para conocer la prevalencia de la contaminación natural por Arsénico, Plomo y Flúor de las aguas subterráneas de Nicaragua. De los 106 puntos muestreados en el estudio, un total de 8 sitios resultaron contaminados: 6 sitios por Arsénico y 2 sitios por Plomo. Es decir, los valores encontrados estaban por encima de las normas nacionales de Nicaragua que establecen como valor máximo admisible 10 $\mu\text{g/l}$ para Arsénico total y Plomo total.

5.7% de los puntos de agua presentaron valores de Arsénico total por encima del valor máximo admisible, confirmando un estudio anterior que había revelado que 4.8% de los pozos tenían concentración en Arsénico total superior a 10 $\mu\text{g/l}$.²

En noviembre de 2003, UNICEF decidió confirmar los resultados del estudio de julio de 2002 a través de una investigación detallada de cada uno de los 8 sitios de contaminación identificados³. El estudio contempló el muestreo de 10 puntos alrededor de cada uno de los puntos contaminados identificados en el estudio de 2002. Se utilizaron en los dos estudios de julio de 2002 y noviembre de 2003 rigurosamente los mismos protocolos de muestreo, calibración de instrumentos de campo y metodologías analíticas. Los parámetros de temperatura, conductividad eléctrica, pH y potencial

¹ 1 $\mu\text{g/l}$ = 10^{-3} mg/l = 1 ppb. El valor máximo admisible para el Arsénico total es de 10 $\mu\text{g/l}$ en Nicaragua según las Normas Nacionales (INAA, NTO 09001-99, NTO 09003-99)

² Estudio a ámbito nacional realizado en julio de 2001 con financiamiento de USAID a través del programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIDMA-UNI)

³ Estudio realizado bajo contrato por el Ing. Andrés López Guzmán, Hidrogeólogo de CARE Internacional.

Redox se hicieron en el campo durante la captación de la muestra. (GUZMÁN, 2003) Los análisis de Arsénico total, Arsénico III, Arsénico V y Plomo total se realizaron con las mismas metodologías y en el mismo laboratorio.⁴

Los puntos de estudio son los siguientes: El Mojón (Municipio de San Francisco del Norte), Cerro Mina de Agua Punto 1 y Punto 2 (Municipio de Villanueva), El Charco (Municipio de Sta. Rosa del Peñón), Santa Rosa del Peñón, La Cruz de la India (Municipio de Sta. Rosa del Peñón), Las Pilas (Municipio de Sta. Rosa del Peñón) y Kinuma (Municipio La Libertad). La ubicación y la concentración de Arsénico total y Plomo total encontradas en julio de 2002 en los ocho puntos de contaminación se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.

No.	Localidad/Municipio	Coordenadas UTM		Tipo	Contenido de	
		Norte	Este		As (µg/L)	Pb (µg/L)
1	El Mojón /San Francisco del Norte	1457157	527688	Pozo excavado	1.50	39.50
2	Cerro Mina de Agua / Villanueva	1429742	526058	Pozo perforado	11.40	<0.10
3	Cerro Mina de Agua / Villanueva	1429596	525731	Pozo excavado	13.20	<0.10
4	El Charco/Santa Rosa del Peñón	1416656	566226	Pozo perforado	10.00	<0.10
5	Santa Rosa del Peñón	1415202	568290	Pozo excavado	25.80	<0.10
6	La Cruz de la India/S. Rosa del P.	1409314	575645	Pozo excavado	16.0	<0.10
7	Las Pilas/Santa Rosa del Peñón	1406338	573126	Pozo perforado	8.60	28.14
8	Kinuma/ La Libertad	1346698	698903	Pozo perforado	88.00	<0.10

II. ESTUDIOS ANTERIORES

II.1 Investigación de pozos perforados y excavados en comunidades rurales en San Isidro, Matagalpa

En julio y agosto de 1996, INAA estudió 25 pozos perforados y excavados ubicados en El Zapote y sus alrededores en el Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa. Se comprobó la presencia de Arsénico total por encima de 10 µg/l en 11 de los pozos examinados, con un máximo de 289.2 µg/l

II.2 Exposición al Arsénico en comunidades rurales de San Isidro, Matagalpa

El objetivo del estudio fue identificar la relación entre la contaminación de pozos con Arsénico con factores agronómicos, uso de plaguicidas y con factores geológicos, en comunidades del valle de Sébaco en 1997. El estudio fue realizado por el Centro de

⁴ Laboratorio privado LAQUISA, ubicado en León, Nicaragua.

Investigaciones y Estudios de la Salud, Escuela de Salud Pública de Nicaragua con financiamiento de la Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud.

Los resultados principales fueron los siguientes:

- 1) Los agroquímicos utilizados en las actividades agrícolas no constituyen la fuente de contaminación por Arsénico. Se supone que la presencia de Arsénico en las aguas subterráneas se debe a un proceso de disolución de los minerales de las rocas del Grupo Coyol (Pirita, Arseniopirita y calcopirita).
- 2) 46 fuentes de agua fueron analizadas, 12 de ellas resultaron con niveles de Arsénico superiores a 10 $\mu\text{g/l}$, 2 de las mismas superaron los 50 $\mu\text{g/l}$. 26% de los pozos estudiados presentaron concentraciones de Arsénico total superiores a los 10 $\mu\text{g/l}$.
- 3) El contenido de Arsénico en los pozos es bajo al norte, este y sudeste del valle aluvial de Sébaco. En cambio es relativamente alto al oeste y sudoeste del valle, principalmente en la zona de contacto del valle aluvial con las rocas volcánicas del Grupo Coyol.
- 4) Existen tres núcleos importantes con alto contenido de Arsénico: sector de La Cruz de la India – Agua Fría, El Zapote – Tatascame y Las Cañas – La Montañita. Existen indicios de contaminación también en Santa Rosa del Peñón, La Lagunita y Mechapa. Todos ellos están situados en zona de callamiento y/o en calderas volcánicas.

II.3 Calidad del Agua en 20 pozos del triángulo La Cruz de la India-Darío-San Isidro con énfasis en la presencia de Arsénico.

Con el fin de conocer la situación de la contaminación por Arsénico de El Zapote y sus localidades aledañas en el valle de Sébaco, UNICEF contrató los servicios del laboratorio de PIDMA-UNI para determinar la calidad del agua para consumo humano en 20 pozos de la zona. El estudio fue realizado entre el 9 de octubre y el 16 de noviembre de 2001. Los análisis del Arsénico fueron realizados por el laboratorio privado LAQUISA con el método continuo de generación e hidruros con reactivo boro-hidruro de sodio y aspiración en un atomizador de Absorción Atómica.

Los resultados principales del estudio fueron los siguientes:

- 1) Tres de los veinte pozos mostraron agua con temperatura entre 30.5° C y 31.1° C. El promedio de temperatura del agua es de 27.6° C con una desviación estándar de 2.7° C
- 2) De los 20 pozos estudiados, un total de 6, o sea 30%, presentaron concentraciones de Arsénico total superiores a los 10 $\mu\text{g/l}$. Los máximos de concentración fueron encontrados en el pozo de El Zapote con 69.3 $\mu\text{g/l}$, en el pozo de Las Cañas con 50 $\mu\text{g/l}$ y en el de Real de la Cruz con 31.2 $\mu\text{g/l}$. El promedio de concentración en Arsénico total fue de 11.9 $\mu\text{g/l}$, con una desviación estándar de 17.9 $\mu\text{g/l}$
- 3) Las concentraciones de Arsénico total se marcaron sobre un mapa y se trazaron las líneas de iso-concentración. Se observa que los valores más altos de concentración de Arsénico total se presentan en un alineamiento El Zapote-Real de la Cruz-Las Cañas.
- 4) Los valores de Arsénico total encontrados en octubre-noviembre de 2001 confirman y son consistentes con valores encontrados en muestreos anteriores.

II.4 Estudio hidrogeológico de trece comunidades de San Isidro.

Un reconocimiento hidrogeológico de trece comunidades rurales del Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa fue realizado en agosto de 2002 por CARE Internacional para FUNDEC, Matagalpa, para determinar el potencial de agua subterránea y superficial para el abastecimiento de agua potable. Se inventariaron 46 puntos de agua de los cuales se tomaron 12 muestras de agua para análisis físico-químicos completos y de Arsénico.

Los resultados principales del estudio fueron los siguientes:

1) Un total de 2 puntos de agua (1 pozo perforado y 1 manantial) de los 12 puntos de agua estudiados, o sea 8%, presentaron una concentración en Arsénico total superior al nivel permisible de 10 µg/l.

2) Basándose en la temperatura promedio del área de estudio (25 a 26° C) se considera que existe termalismo residual en el agua natural, cuando la temperatura del agua es igual o mayor a 30° C. De acuerdo con este criterio, solo en tres pozos se encontraron evidencias de termalismo residual. Ellos son:

- Los pozos perforados PP2 (N1423.9, E586.5) y PP3 (N1424.0, E586.5) de La Lagunita con 31.7° C y 32.7° C respectivamente
- El pozo perforado PP1 de Quebrada Honda (N1417.6, E587.8) con 31.4° C

No obstante no fue posible establecer una correlación estricta entre el termalismo residual y la concentración de Arsénico. Así, el pozo perforado de Quebrada Honda presentó una concentración de Arsénico total de 5.31µg/l y el pozo perforado de La Lagunita presentó una concentración de 10.56 µg/l mientras el manantial de Llano de Boquerón (N1420.8, E578.3) con una temperatura normal de 24.3° C presentó una concentración alta de 16.3 µg/l.

3) Tomando como base una re-interpretación de los datos presentados en Anexo del informe, se puede determinar que predominan las aguas Bicarbonato-Sodio (HCO₃-Na) en el área estudiada (75% de las muestras). En menor proporción (25%) se encuentran aguas del tipo Bicarbonato-Calcio (HCO₃-Ca) que son aguas de recarga de reciente infiltración.

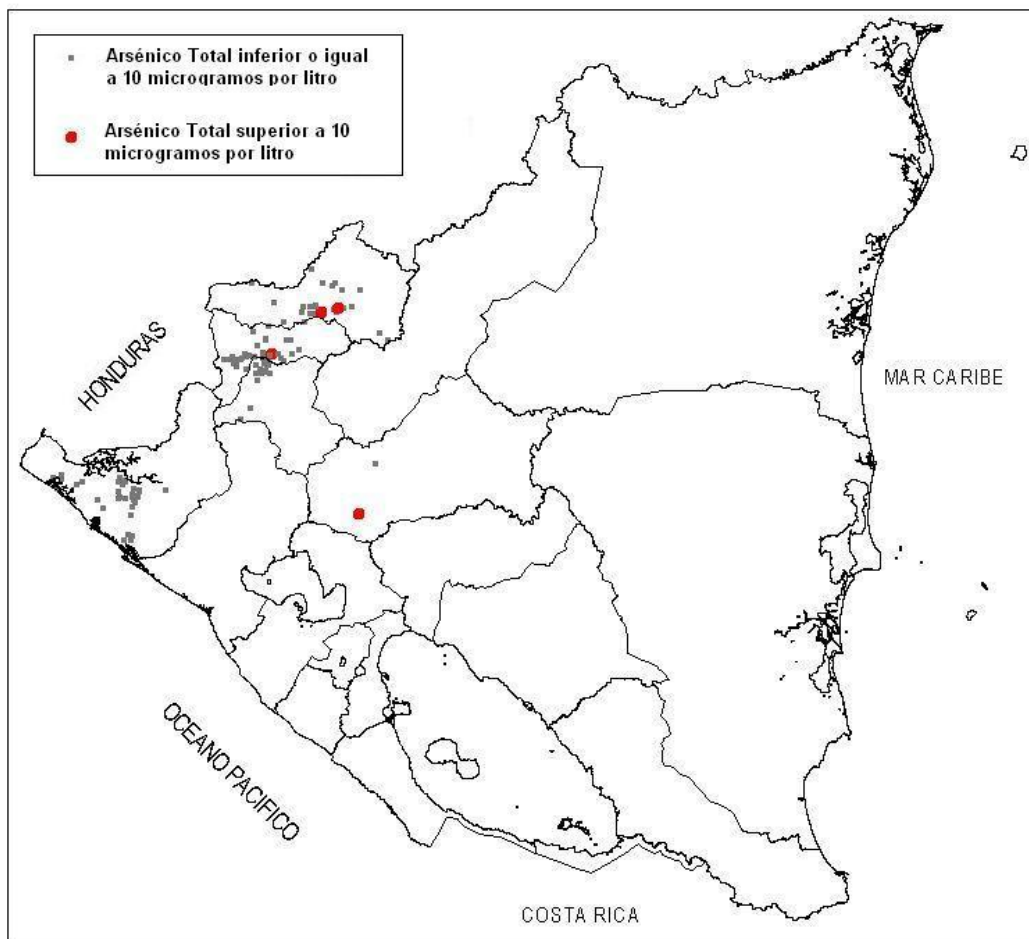
II.5 Calidad físico-química del agua para consumo humano de 124 pozos en la región noroccidental de Nicaragua con énfasis en la presencia de Arsénico. PIDMA-EHP

Para averiguar si todos los pozos perforados del programa post-Mitch de EHP cumplen con las normas nacionales de calidad y para contribuir al conocimiento de la presencia de Arsénico en las aguas subterráneas de Nicaragua se realizó en julio de 2001 un muestreo de 124 pozos de los cuales 74 son pozos excavados.

La figura 1 siguiente presenta la localización de los 124 pozos estudiados.

El área de estudio está ubicada en los Departamentos de Madriz (municipios de Somoto, San Lucas, Telpaneca, Palacagüina, Yalagüina y Topogalpa); de Estelí (municipios de Pueblo Nuevo y San Juan de Limay); de Nueva Segovia (municipios de Ciudad Sandino, Ciudad Antigua, San Fernando, Mozonte, Quilalí y Dipilto) y del Departamento de Chinandega (municipios de El Viejo, Puerto Morazán y Chinandega).

Figura 1: Muestreo en 2001



Los resultados principales del estudio fueron los siguientes:

- 1) De los 124 pozos estudiados, un total de 6, o sea 4.8%, mostraron una concentración en Arsénico total superior al nivel admisible de 10 µg/l. De los 6 pozos contaminados por Arsénico, 4 son pozos perforados y 2 son pozos excavados.
- 2) No se pudo determinar correlaciones entre las concentraciones de Arsénico total y el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica, y los iones Cl, HCO₃, Fe, Mg, Ca, SO₄ y Na.

El estudio plantea la hipótesis de una correlación entre la contaminación natural de las aguas subterráneas por Arsénico y un alineamiento mineralizado asociado con menas arsenicales que une las zonas mineras orientadas del NW al SE, en el borde oriental de la depresión de Nicaragua. Dentro de estas áreas mineralizadas se puede enumerar; Rincón de García, El Limón, La India, San Francisco Libre, La Libertad, Santo Domingo, Mina Ventura y San Bartolo.

II.5 Evaluación rápida de la contaminación por Arsénico y metales pesados de las aguas subterráneas de Nicaragua. PIDMA⁵ –UNICEF SSA/NICA/2002/438

El objetivo del estudio era correlacionar la concentración en las aguas subterráneas de Arsénico, Plomo y Flúor con estructuras mineralizadas o alteradas hidrotermalmente en los alineamientos tectónicos paralelos a la depresión de Nicaragua e identificar las áreas contaminadas.

Las siguientes estructuras mineralizadas hidrotermalmente paralelas a la depresión de Nicaragua fueron escogidas para el estudio.

- San Juan de Limay
- La Grecia
- El Granadillo
- El Playón del Coco
- Rincón de García
- El Limón
- La India
- Santa Rosa Peñón
- La Libertad
- Santo Domingo
- Quisilala
- El Topacio
- Cerro Ventura
- Bartola
- El Sarnoso

Los levantamientos y muestreo de campo se realizaron del 5 al 31 de julio de 2002 en el Departamento de Río San Juan, La Esperanza, Presillitas y La Libertad, Santa Rosa del Peñón, Achuapa, San Juan de Limay, Cinco Pinos, Somotillo, Villanueva, Villa 15 de Julio y Larreynaga.

Un total de 106 mediciones de campo y muestras de agua subterránea fueron realizadas en pozos perforados, pozos excavados y manantiales próximos a estructuras mineralizadas hidrotermalmente. La determinación de Arsénico total y Plomo total fue realizada con un espectrofotómetro de masa (AAS) en el laboratorio privado LAQUISA. El Flúor fue analizado con un electrodo específico en el laboratorio de PIDMA

La figura 2 presenta la localización de estos 106 puntos de agua subterránea que fueron estudiados.

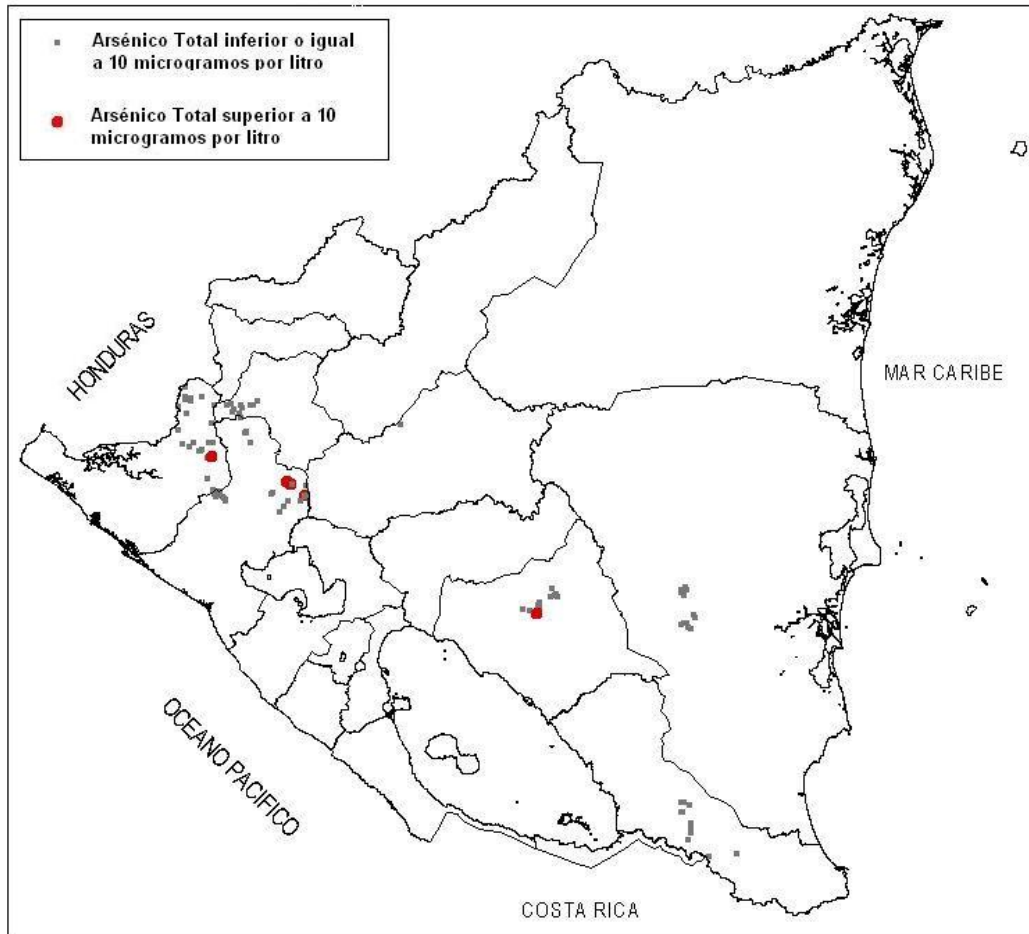
Los resultados principales del estudio fueron los siguientes:

1. 5.7 % de los puntos de agua tienen contenido de Arsénico total por encima de 10 µg/l, lo que confirma el estudio de PIDMA-EHP realizado en 2001.
2. El Arsénico está presente en ambientes oxidantes (Eh>400 mV) con pH = [6 – 8].
3. El Arsénico está presente en forma As (+V), menos móvil, con mayor capacidad de adsorción y menos toxicidad que el As (+III)
4. No se comprobó la correlación entre presencia de metales pesados y estructuras mineralizadas.
5. No se reveló una correlación entre As total, Pb y F.
6. Las muestras de agua subterránea provenientes de flujos sub-superficiales no presentan concentración de As detectables. Las manantiales tienen menos probabilidad de tener Arsénico, Plomo y Flúor que los pozos perforados y excavados.
7. La concentración de Arsénico no depende del tipo hidro-químico de las aguas subterráneas, ni del tipo, ni de la edad de las formaciones geológicas de los acuíferos.

⁵ Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Una de las recomendaciones del estudio fue realizar una investigación más detallada de todas las áreas anómalas identificadas en el estudio PIDMA-EHP de 2001 y en el estudio PIDMA-UNICEF de 2002, priorizando Santa Rosa del Peñón, La Cruz de la India, Mina de Agua y Kinuma.

Figura 2. Muestreo en 2002



III. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Determinar la concentración de Arsénico total, Arsénico III, Arsénico V y Plomo total en las aguas subterráneas de ocho comunidades afectadas por contaminación por Arsénico y/o Plomo identificadas por estudios anteriores.
- Plotear la concentración de Arsénico y Plomo en hojas topográficas y estudiar posibles correlaciones geo-espaciales para determinar la extensión e intensidad de la contaminación alrededor de estas ocho comunidades

IV. PROCEDIMIENTO

Para la ejecución del estudio se realizaron las siguientes etapas generales de trabajo:

IV.1 Recopilación de información

En esta etapa se reunió y analizó la información disponible. Se recopilieron mapas topográficos y geológicos a escala 1:50,000 de las diferentes áreas que se estudiarían, además, se profundizó en estudios realizados e información antecedente. Igualmente se calibraron y prepararon los diferentes equipos de campo y materiales utilizables durante la ejecución del estudio.

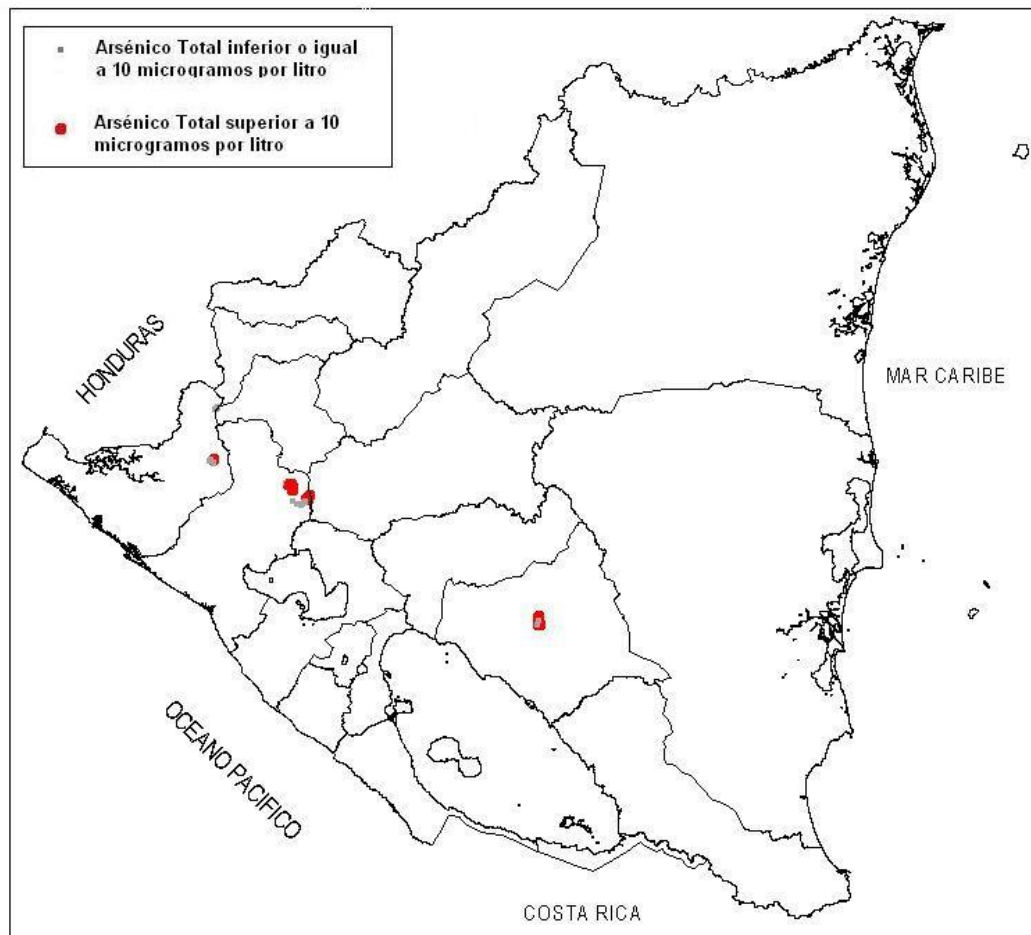
IV.2 Inventario y muestreo de campo

Entre el 12 y 20 de noviembre de 2003 se realizó inventario y captación de muestra de 77 puntos de agua subterránea (manantiales, pozos perforados, pozos excavados). El inventario incluyó: ubicación, propietario, uso, extracción, profundidad total, nivel estático del agua y todo detalle pertinente. Con GPS se tomó ubicación y altitud de cada sitio muestreado, y con equipo portátil se midieron los parámetros físicos de temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), pH y potencial Redox (Eh)

Cada muestra fue preservada y trasladada al laboratorio privado LAQUISA para realizar los análisis correspondientes de Plomo total, Arsénico total, Arsénico III y Arsénico V.

La figura 3 muestra la localización de los 77 puntos de agua subterránea estudiados.

Figura 3. Muestreo en 2003



IV.3 Interpretación de datos y elaboración de mapas

Tomando como base la información recopilada en campo y los resultados de análisis de laboratorio se hicieron las interpretaciones. Incluyó elaboración de mapas con la ubicación de los sitios muestreados en cada localidad y contenido de Arsénico total.

Así mismo, se trató de determinar las posibles correlaciones entre T, CE, pH y Eh con el contenido de Arsénico total y posibles correlaciones geo-espaciales.

V. METODOLOGÍA

- Para determinar las coordenadas UTM y altitud de cada sitio, se utilizó un GPS calibrado marca "Trimble Navegation".
- Para medir la profundidad y el nivel estático del agua se utilizó una sonda eléctrica y una cinta métrica.
- Para medir los parámetros físicos del agua en cada muestra, se utilizó equipo portátil marca HANNA, debidamente calibrado. Cada día, antes de iniciar el muestreo se calibraba el equipo, principalmente pH con buffer de 4 y 10, conductividad eléctrica con testigo de 1,341 uS/cm a 25° C, y se realizaba la corrección por temperatura.
- Las muestras se captaron en recipientes plásticos de 3.8 liters, previamente desinfectados con ácido clorhídrico. Para su preservación se le agregó a cada muestra un volumen de 5 ml de ácido nítrico concentrado.
- Los análisis de laboratorio, tanto de Arsénico como de Plomo, se determinaron mediante Espectrometría de Absorción Atómica. La determinación de AsIII y AsV fue realizada por método continuo de generación de hidruros con reactivo borohidruro de sodio y aspiración en un atomizador de Absorción Atómica.⁶
- Para elaborar mapas se utilizaron hojas topográficas a escala 1:50,000. Estas fueron escaneadas, preparadas y geo-referenciadas. Debido a la ausencia de una cantidad suficiente de datos para trazar isólinas de concentración de Arsénico total, se representaron las concentraciones discretas de cada punto de muestreo con sus valores numéricos expresados en µg/l. Los colores, símbolos y otros medios de representación cartográfica de la hidrogeología y de las características geohidroquímicas de las zonas estudiadas están conforme a las leyendas internacionales (UNESCO, 1970,1974)

⁶ El método utilizado en la determinación de Arsénico es 3500-As.B (Standard Methods 17 Edición, Sección 3114C). El límite de detección es <1.0 micrograma por litro

VI. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS POR ZONA DE ESTUDIO

Los ocho puntos de contaminación por Arsénico y/o Plomo fueron agrupados en cinco zonas geográficas de estudio presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 2.

No.	Comunidad / Municipio	Zona de estudio	
1	El Mojón /San Francisco del Norte	1	El Mojón
2	Cerro Mina de Agua / Villanueva	2	Cerro Mina de Agua
3	Cerro Mina de Agua / Villanueva		
4	El Charco/Santa Rosa del Peñón	3	El Charco y Santa Rosa del Peñón
5	Santa Rosa del Peñón		
6	La Cruz de la India/S. Rosa del P.	4	Las Pilas y La Cruz de la India
7	Las Pilas/Santa Rosa del Peñón		
8	Kinuma/ La Libertad	5	Kinuma

Se presentan y discuten los resultados relativos a cada una de las cinco zonas de estudio en los cinco subcapítulos siguientes.

Las tablas de mediciones de campo y de análisis de Arsénico y de Plomo por zona de estudio están presentadas en Anexo 1.

Los coeficientes de correlación estadística entre los diferentes parámetros físico-químicos están presentados en Anexo 2 para cada una de las zonas de estudio.

VI.1 Comunidad El Mojón, Municipio de San Francisco del Norte, Chinandega

Tabla 3.

N=10	Temperatura °C	Conductividad μmhos/cm	pH	Eh	As total μg/l	As III μg/l	As V μg/l
Promedio	28.8	538	6.81	227.7	1.6	0.7	1.0
Desviación estándar	0.9	253	0.20	91.9	0.8	0.2	0.7
Máximo	30.6	1126	7.10	326.0	2.6	1.0	1.9
Mínimo	27.2	257.0	6.5	42.0	0.4	0.1	0.1

La comunidad del Mojón se ubica a 15 Km al oeste del poblado de San Juan de Limay. Regionalmente en la zona predominan rocas ignimbríticas del Coyoil Inferior (Tmci), pero localmente aflora un cuerpo intrusivo intermedio (Tii), que originó un sistema de fallas NW-SE y E-O. El área muestreada incluyó la zona de rocas intrusivas como rocas ignimbríticas.

Se inventariaron y captaron 10 muestras de agua provenientes de 7 pozos excavados, 2 manantiales y 1 pozo perforado. El pozo perforado fue recientemente construido con fondos del FISE. Se encuentra en el sector del Ojoche y abastecerá 33 viviendas. Ninguno de los pozos ni manantiales presenta evidencias de contaminación por Arsénico ni Plomo Total.

En el estudio de julio de 2002 se muestreó un pozo comunal (Número 1, Tabla 17, Anexo 1) que presentó indicios de contaminación por Plomo total. El análisis indicó un contenido de 39.50 $\mu\text{g/l}$ de Plomo total. El pozo actualmente se encuentra sin bomba de mecate, es de uso doméstico limitado para 3 viviendas. En el estudio actual, tanto el contenido de Arsénico total como de Plomo total están por debajo de las normas nacionales de INAA: el contenido de Arsénico fue de 2.40 $\mu\text{g/l}$ y el de Plomo fue inferior a 1.00 $\mu\text{g/l}$.

La Tabla 4 siguiente presenta una comparación entre el análisis de julio de 2002 y de noviembre de 2003. Las concentraciones de Arsénico total son comparables y las concentraciones de Plomo total son muy diferentes: de 39.50 $\mu\text{g/l}$ en julio 2002, la concentración ha bajado al límite de detección en noviembre de 2003. El pH, el Eh y la temperatura entre los análisis de 2002 y 2003 son similares, no obstante la conductividad eléctrica presenta una diferencia relativa de 30% y eso podría dar a sospechar que el punto del muestreo no fue el mismo y que hubo una confusión en la localización del pozo excavado. El examen de las fotografías del punto de agua que fueron tomadas en julio de 2003 y en noviembre de 2003 infirma esta hipótesis. Pues, como se puede ver en las dos fotografías siguientes el punto de agua es el mismo.

Tabla 4.

Sector	Nombre/Dueño	Número Muestra	Fecha	Parámetros físicos de campo				As (ug/l)	Pb (ug/l)
				T (oC)	Cond. (uS-cm)	pH	Eh (mV)		
El Mojón	Pozo excavado comunitario	1	Nov 2003	28.2	1126	6.9	300	2.4	<1
		152	Julio 2002	27.6	604	7.1	450.1	1.5	39.5



Pozo comunal de El Mojón en julio de 2002



Pozo comunal de El Mojón en noviembre de 2003

VI.2 Comunidad Cerro Mina de Agua, Municipio de Villanueva, Chinandega

Tabla 5.

N=20	Temperatura °C	Conductividad $\mu\text{mhos/cm}$	pH	Eh	As total $\mu\text{g/l}$	As III $\mu\text{g/l}$	As V $\mu\text{g/l}$
Promedio	29.5	394	6.93	237.1	3.0	0.7	2.5
Desviación estándar	0.9	130	0.29	57.5	2.6	0.6	2.2
Máximo	31.2	614	7.30	331.0	12.5	1.9	10.9
Mínimo	27.5	156.0	6.2	77.0	0.6	0.1	0.5

La comunidad de Cerro Mina de Agua se ubica 6 Km al sudeste de la ciudad de Villanueva. La geología regional indica que la comunidad se encuentra asentada sobre andesitas dacíticas del Coyal Inferior (Tmcd); al sur de la comunidad se encuentra un cuerpo intrusivo intermedio, que origina un sistema de fallas cruzadas. En la zona de estudio existen dos minas de oro abandonadas, una en Rincón de García y otro en Mina de Agua. Los pozos y galerías de las minas están actualmente inundados de agua subterránea.

En esta comunidad se inventariaron y captaron 20 muestras de agua subterránea provenientes de 14 pozos excavados, 1 pozo de mina en Rincón de García, 3 pozos perforados, y 2 manantiales. La figura 4 siguiente muestra la localización y el contenido de Arsénico total de los 20 puntos de agua estudiados.

Figura 4.

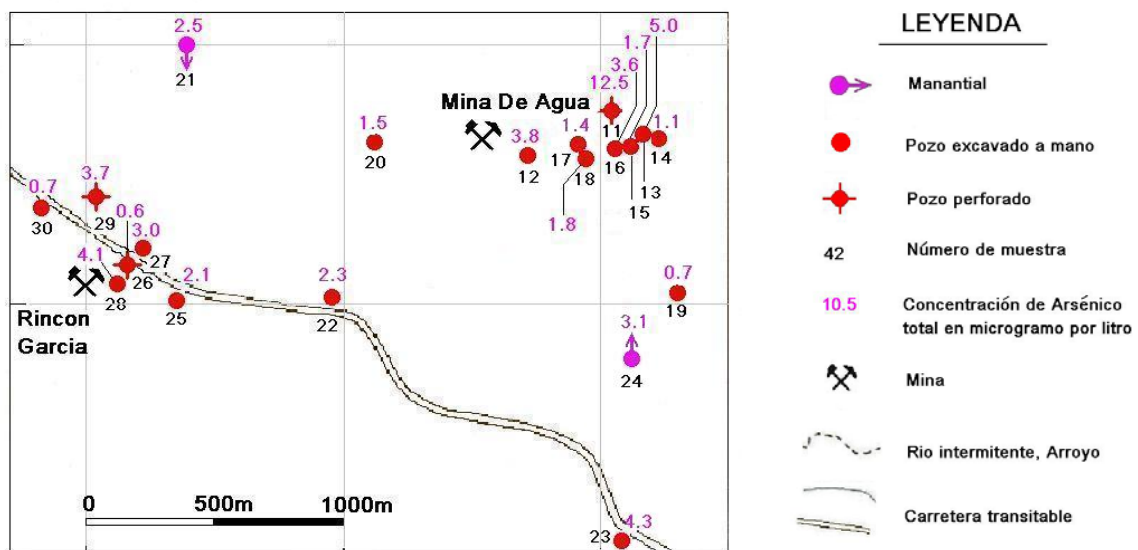


Tabla 6.

Sector	Nombre/Dueño	Número Muestra	Fecha	Parámetros físicos de campo				As (µg/l)	Pb (µg/l)
				T (oC)	Cond. (µS-cm)	pH	Eh (mV)		
Mina Agua	Pozo perforado comunal	11	Nov 2003	30.3	459	7.2	195	12.5	<1
		174	Julio 2002	30.1	485	7.5	514.4	11.4	<0.1
Mina Agua	Pozo excavado de Nicolás Izaguirre	12	Nov 2003	27.9	169	6.5	225	3.8	<1
		175	Julio 2002	29.1	422	6.71	493.7	13.2	<0.1
Loma Linda	Pozo excavado de Adolfo Escorcía	22	Nov 2003	30.6	417	7.1	225	2.3	<1
		173	Julio 2002	30.3	359	6.9	479.5	3.0	<0.1
Rincón García	Pozo Perforado del Centro de Salud	26	Nov 2003	30	493	6.6	307	0.60	<1
		172	Julio 2002	30.6	591	6.85	460.1	0.5	<0.1

En el estudio de julio de 2002, el pozo perforado comunal (Número 11, Tabla 18, Anexo 1) construido por ENACAL-COSUDE y el pozo excavado (Número 12, Tabla 18, Anexo 1) de Nicolás Izaguirre presentaron concentraciones de Arsénico total de 11.40 µg/l y 13.20 µg/l respectivamente. En el estudio de noviembre de 2003, el pozo perforado comunal presentó también indicios de contaminación, con una concentración de Arsénico total de 12.50 µg/l predominando el Arsénico V con 10.90 µg/l. Por otro lado, en el pozo excavado de Nicolás Izaguirre el Arsénico total resultó de 3.80 µg/l; esta variación en la concentración podría deberse a un mayor volumen de agua en el pozo, que induce una dilución de la concentración de los minerales en solución. En efecto, la conductividad eléctrica entre los dos periodos presenta una diferencia relativa de 43%, bajando de 422 µmhos/cm en julio de 2002 a 169 µmhos/cm en noviembre de 2003.

El pozo excavado de Adolfo Escorcía y el pozo perforado del Centro de Salud de Rincón de García no presentan diferencia de composición físico-química entre los dos periodos.

A excepción del pozo perforado comunal de Cerro Mina de Agua, ningún otro punto de agua subterránea en esta zona presentó concentraciones de Arsénico ni de Plomo superiores a los 10 µg/l.

VI.3 Comunidades de El Charco y Santa Rosa del Peñón, Municipio de Santa Rosa del Peñón

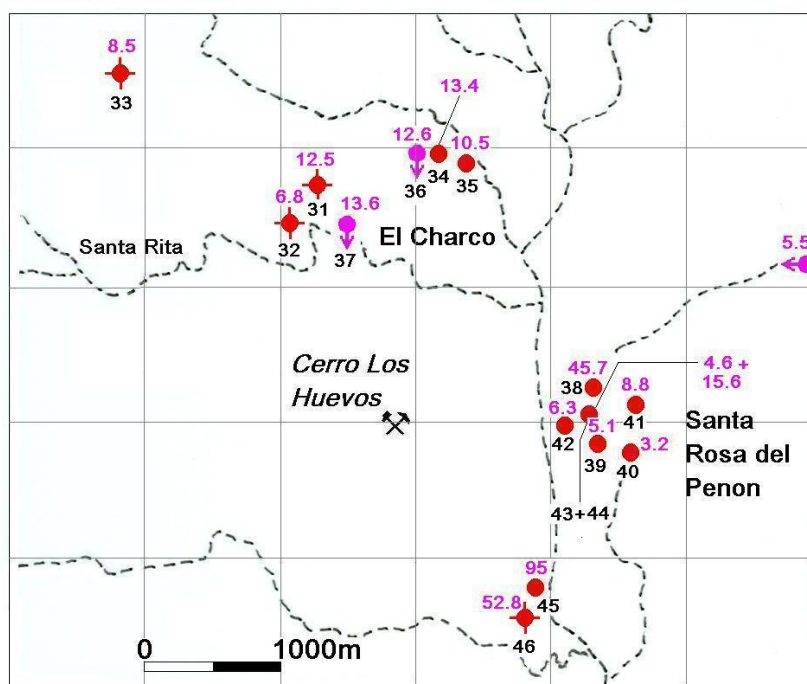
Tabla 7.

N=16	Temperatura °C	Conductividad $\mu\text{mhos/cm}$	pH	Eh	As total $\mu\text{g/l}$	As III $\mu\text{g/l}$	As V $\mu\text{g/l}$
Promedio	30.4	709	6.87	166.9	19.7	5.2	14.2
Desviación estándar	0.8	567	0.36	66.1	24.5	11.5	21.4
Máximo	32.2	2500	7.80	260.0	95.0	47.8	86.2
Mínimo	29.0	130.0	6.2	40.0	3.2	0.9	1.7

El área de estudio se encuentra asentada sobre una caldera volcánica antigua que fue rellenada con depósitos aluviales recientes. En los alrededores de Santa Rosa del Peñón se encuentran rocas andesíticas y dacíticas del Coyol Inferior (Tmca, Tmcd). Un sistema de fallas con dirección NE-SO y NW-SE circunda y cruza el poblado de Santa Rosa del Peñón. El poblado se encuentra entre el extremo NW de una veta de cuarzo aurífero y un yacimiento de yeso al oeste (ESTRADA, 2003). La comunidad de El Charco se ubica 4 Km al noroeste del poblado de Santa Rosa del Peñón sobre tobas ignimbríticas y dacíticas del Coyol Inferior (Tmci) Un sistema de fallas con dirección NW-SE cruza la comunidad.

Se inventariaron y muestrearon 16 puntos de agua subterránea, que incluyeron 4 pozos perforados, 10 pozos excavados y 2 manantiales. Se muestreó también el agua del sistema de abastecimiento por gravedad de la cabecera municipal de Santa Rosa del Peñón que capta un manantial a dos kilómetros de distancia y a unos 231 m de elevación. La figura 5 ilustra la localización y el contenido de Arsénico total de los 16 puntos de agua estudiados.

Figura 5.



La temperatura del agua de los pozos y manantiales resultó con valores ligeramente encima de los 30° C, que evidencia un termalismo residual en la zona. El pH es ligeramente ácido con un promedio de 6.87.

De las 16 muestras, 8 resultaron con un contenido de Arsénico de 10.50 µg/l hasta 95.00 µg/l con un promedio de 19.7 µg/l. Los resultados indican que principalmente predomina el Arsénico pentavalente con un promedio de 14.2 µg/l. La muestra del mini-acueducto por gravedad de Santa Rosa del Peñón presenta una concentración de 5.5 µg/l.

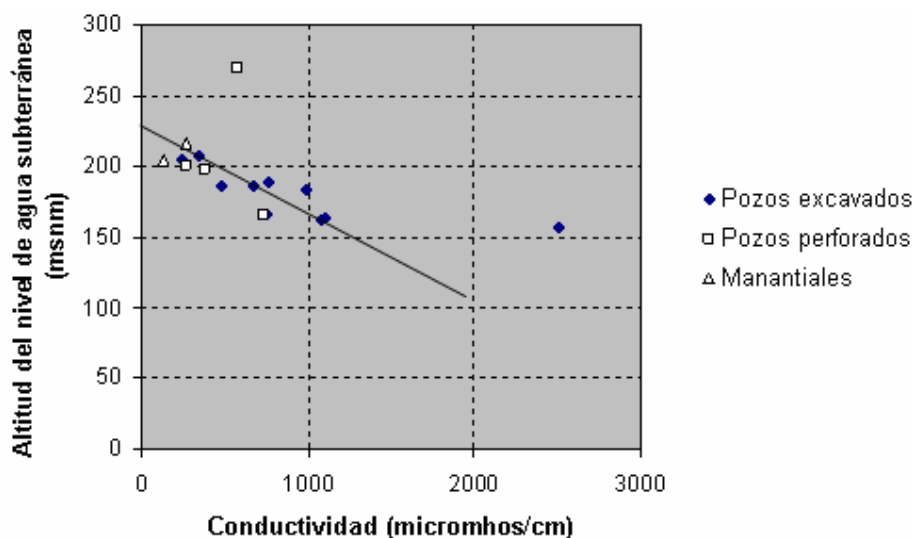
En El Charco, la contaminación por Arsénico ocurre principalmente al este de la comunidad, en el sector conocido como El Limón, donde cruza una de las fallas principales.

Existe una buena correlación entre el Arsénico total y la conductividad eléctrica ($R = +0.67$) y entre la conductividad eléctrica y la altitud del nivel del agua muestreada ($R = -0.56$). (Ver Anexo 2)

La figura 6 siguiente muestra la variación de la conductividad eléctrica del agua en función de la elevación del nivel estático del punto de agua. Se muestra un aumento de la conductividad eléctrica, o sea del contenido de minerales disueltos, con una disminución de la altitud, o sea en la dirección del flujo de agua subterránea. Eso demuestra que en la zona de estudio la mayoría de los puntos de agua estudiados, pertenece al mismo acuífero⁷. Existen dos puntos de agua muy apartados de la línea de correlación. El primero (cuadrado blanco) es el pozo perforado de Pajuil abajo del Cerro El Peñón que tiene una elevación de 295 m y una conductividad de 580 µmhos/cm. Este pozo explota un sistema acuífero localizado encima del acuífero principal de El Charco. El segundo punto (rombo negro) es el pozo excavado de Victoria Chavarría que presenta, a una elevación de 162 m, una conductividad de 2500 µmhos/cm que es la más alta de todos los puntos de agua estudiados en la zona. Aunque este pozo excavado está ubicado en el mismo acuífero principal, es muy probable que sea contaminado por un efluente superficial proveniente de una vivienda y/o de un escurrimiento de aguas grises.

⁷ El estudio de la conductividad eléctrica y de la altitud del nivel del agua ha sido muy útil en previas investigaciones hidrogeológicas en Nicaragua para caracterizar los acuíferos en formaciones volcánicas cuyas geometrías, límites y estructuras son muy complejas. El gradiente de la curva de correlación es inversamente proporcional a la transmisividad del acuífero. Como ejemplo, el lector se puede referir al informe hidrogeológico de Sacaclis y Mesa de Los Espejos, preparado por el Centro de Investigaciones Geo-científicas CIGEO para UNICEF en octubre de 2002.

Figura 6.



La comparación entre los análisis de julio de 2002 y de noviembre de 2003 está presentada en la siguiente tabla. Se puede constatar que los valores de Arsénico total entre los dos periodos son similares.

Tabla 8.

Sector	Nombre/Dueño	Número Muestra	Fecha	Parámetros físicos de campo				As (µg/l)	Pb (µg/l)
				T (°C)	Cond. (uS-cm)	pH	Eh (mV)		
El Charco	Pozo Perforado comunal con Bomba manual	31	Nov 2003	32.2	389	6.2	260	12.5	<1
		176	Julio 2002	29.1	371	6.4	614.8	10.0	<0.1
Santa Rosa del Peñón Urbano	Pozo excavado con Bomba manual de Pedro Aguirre	40	Nov 2003	30.6	989	7.0	143	3.2	<1
		178	Julio 2002	29.6	593	6.66	512.2	3.4	<0.1
Santa Rosa del Peñón Urbano	Pozo excavado con bomba manual de Mariana Aguirre	42	Nov 2003	29.8	680	6.7	188	6.3	<1
		179	Julio 2002	28.1	844	6.3	558.1	9.3	<0.1
Santa Rosa del Peñón Urbano	Pozo excavado con bomba manual de Santos Rojas	38	Nov 2003	30.9	480	6.6	208	45.7	<1
		180	Julio 2002	29.1	475	6.92	508.5	25.8	<0.1

El pozo excavado a mano equipado de una bomba manual, que pertenece a la familia de Santos Rojas en la ciudad de Santa Rosa del Peñón, presentó una concentración de 25.8 µg/l en julio de 2002 y de 45.7 µg/l en noviembre de 2003. El pozo perforado comunal de El Charco, construido por ENACAL-COSUDE, presentó un contenido de Arsénico total de 10 µg/l en julio de 2002 y de 12.50 µg/l en noviembre de 2003. Este pozo perforado está equipado de una bomba manual y abastece de agua a 70 casas.

El pozo perforado comunal de Linda Vista, también construido por ENACAL-COSUDE, presentó en noviembre de 2003 una concentración de 52.8 $\mu\text{g/l}$, o sea aproximadamente 5 veces el nivel admisible. Este pozo está equipado de una bomba manual y abastece a 10 casas.

El número total de viviendas registradas en las que se toma agua contaminada por Arsénico es de 104. Calculando un promedio de 5 personas por casa, en la zona de El Charco y Santa Rosa del Peñón, se puede estimar que 520 personas están ingiriendo agua con Arsénico por encima del nivel admisible de 10 $\mu\text{g/l}$. Es importante destacar que la población urbana del poblado de Santa Rosa del Peñón que se abastece de la red pública de agua está consumiendo un agua que tiene solamente 5.5 $\mu\text{g/l}$ de Arsénico total. No obstante, considerando que esta zona es altamente peligrosa, es recomendable realizar un control de calidad regular del manantial que abastece el sistema por gravedad de la ciudad.

Como otro ejemplo de la peligrosidad de la zona, el mismo Centro de Salud de Santa Rosa del Peñón tiene un pozo excavado, equipado de una bomba manual donde la concentración de Arsénico total es de 15.6 $\mu\text{g/l}$. En el Centro de Salud se tuvo información que en la comunidad El Jicote, ubicada a unos 4 Km al norte de El Charco, el 20% de la población presenta un tipo de enfermedad mental que, según los psiquiatras que los han atendido, podría ser de origen hídrico. La población de la comunidad es de 356 habitantes y se abastecen de agua de un pozo con agua caliente.

VI.4 Comunidades de Cruz de la India y Las Pilas, Municipio de Santa Rosa del Peñón

Tabla 9. Cruz de la India

N=13	Temperatura °C	Conductividad $\mu\text{mhos/cm}$	pH	Eh	As total $\mu\text{g/l}$	As III $\mu\text{g/l}$	As V $\mu\text{g/l}$
Promedio	28.4	636	7.25	138.9	16.6	2.5	15.3
Desviación estándar	1.3	210	0.29	26.6	23.4	1.6	22.6
Máximo	31.6	901	8.00	185.0	90.2	6.2	84.0
Mínimo	26.6	298.0	6.7	108.0	1.3	1.0	0.2

Tabla 10. Las Pilas

N=10	Temperatura °C	Conductividad $\mu\text{mhos/cm}$	pH	Eh	As total $\mu\text{g/l}$	As III $\mu\text{g/l}$	As V $\mu\text{g/l}$
Promedio	30.3	743	7.28	150.6	2.7	0.8	2.1
Desviación estándar	1.0	411	0.16	55.2	2.4	0.8	2.1
Máximo	31.4	1644	7.50	223.0	8.6	2.7	7.5
Mínimo	28.1	329.0	6.9	59.0	0.5	0.2	0.5

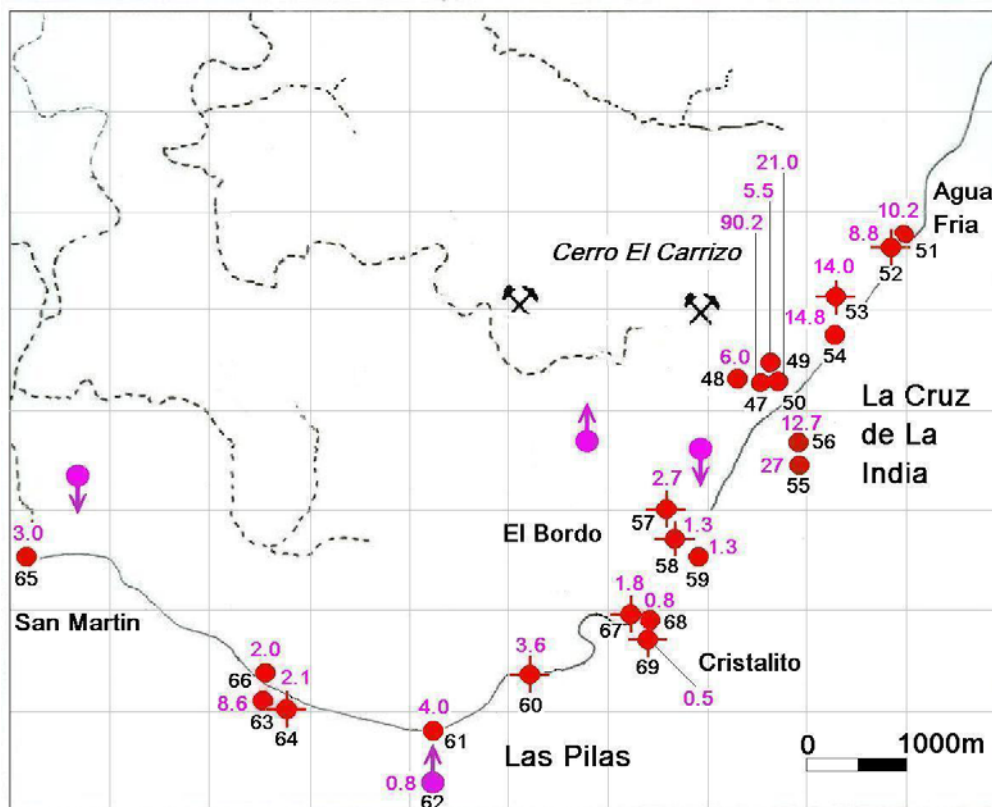
En la zona predominan rocas ignimbríticas y dacíticas del Coyol Inferior (Tmci, Tmcd), cruzadas por un sistema de fallas con dirección NW-SE y NE-SO. Tanto Las Pilas como Cruz de la India podrían ser ubicadas en el borde de una antigua caldera volcánica.

En el poblado de Cruz de la India y sus alrededores se inventariaron y captaron muestras de 13 puntos de agua subterránea, que incluye 4 pozos perforados y 9 pozos excavados. El punto número 53 del inventario en la Tabla 18, Anexo 1 corresponde al pozo construido por ENACAL y está equipado con una bomba eléctrica para el abastecimiento público de agua de la población urbana de Cruz de la India.

De los 13 puntos muestreados, 7 resultaron con indicios de contaminación por Arsénico total, con valores desde 10.20 $\mu\text{g/l}$ hasta 90.20 $\mu\text{g/l}$, entre estos se incluye el pozo de abastecimiento público, que presenta un contenido de Arsénico total de 14.00 $\mu\text{g/l}$. El promedio de concentración de Arsénico total es de 16.6 $\mu\text{g/l}$.

El mapa de la figura 7 muestra la localización y contenido de Arsénico total de los 13 puntos de agua muestreados.

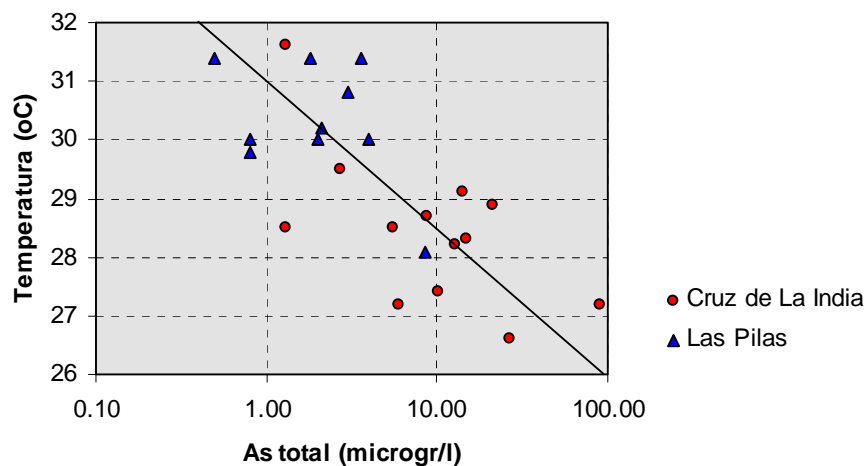
Figura 7.



Se inventariaron en la comunidad de Las Pilas y sus alrededores un total de 10 puntos de agua subterránea: 4 pozos perforados, 5 pozos excavados y 1 manantial. Ninguno de los puntos de agua presentan concentraciones de Arsénico superiores a 10 $\mu\text{g/l}$.

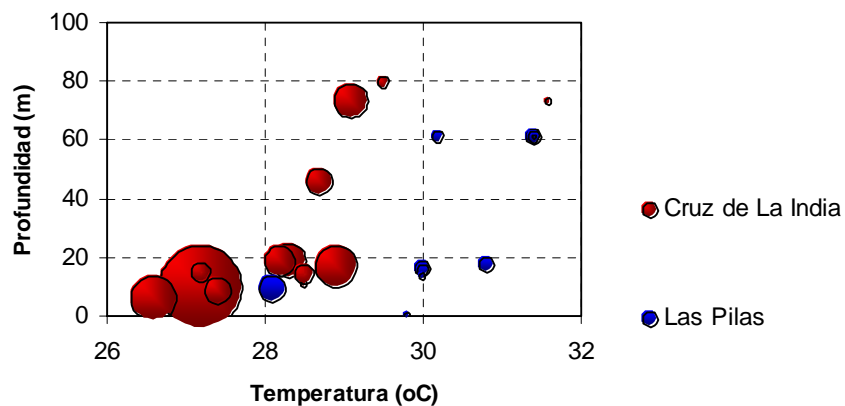
Se debe destacar que existe una buena correlación logarítmica entre el Arsénico total y la temperatura del agua ($R = 0.75$) como se ilustra en la figura 8 siguiente. En la zona de estudio, el contenido de Arsénico es inversamente proporcional a la temperatura del agua. Las aguas de Las Pilas con un promedio de 30.3° C son más calientes que las aguas de Cruz de la India con un promedio de 28.4° C, y tienen un promedio de Arsénico total de 2.7 $\mu\text{g/l}$ mientras las aguas de Cruz de la India presentan un promedio más alto de 16.6 $\mu\text{g/l}$.

Figura 8.



Existe también una buena correlación entre la profundidad total del punto de agua y la temperatura de la misma como lo ilustra la figura 9 siguiente. El coeficiente de correlación es $R = 0.71$ para Las Pilas y $R = 0.78$ para Cruz de la India (Ver Anexo 2).

Figura 9.



En la figura 9, el tamaño de los círculos es proporcional al contenido de Arsénico total. El círculo más grande representa un contenido de $90.2 \mu\text{g/l}$ y el más pequeño representa $0.5 \mu\text{g/l}$. Se ve claramente que las concentraciones más altas se encuentran a pequeñas profundidades.

La comparación entre los análisis de julio de 2002 y de noviembre de 2003 está presentada en la siguiente Tabla 11. Se puede constatar que los valores de Arsénico total entre los dos periodos son similares.

Tabla 11.

Sector	Nombre/Dueño	Número Muestra	Fecha	Parámetros físicos de campo				As (µg/l)	Pb (µg/l)
				T (oC)	Cond. (uS-cm)	pH	Eh (mV)		
Las Pilas	Pozo Perforado con bomba manual comunal	60	Nov 2003	31.4	1644	7.2	59	3.6	1
		186	Julio 2002	30.4	1435	7.1	127.4	8.6	28.1
Agua Fría	Pozo perforado con bomba manual de Filomeno García	52	Nov 2003	28.7	540	7.2	142	8.8	<1
		137	Julio 2002	28.2	829	7.03	-	6.1	-
Cruz de La India. Urbano	Pozo excavado de Felipe González	49	Nov 2003	28.5	537	7.2	130	5.5	<1
		184	Julio 2002	29.1	610	7.0	513.6	6.0	<0.1
Cruz de La India. Urbano	Pozo excavado a mano de Antonia Tórriz	50	Nov 2003	28.9	888	7.1	157	21.0	<1
		183	Julio 2002	28.8	1401	6.75	479.7	16.0	<0.1

En el estudio de julio de 2002, el pozo excavado de Antonia Tórriz en el casco urbano de la Cruz de la India, presentó un contenido de Arsénico total de 16.00 µg/l. En el presente estudio el contenido de Arsénico fue de 21.00 µg/l.

El pozo perforado comunal de Las Pilas equipado de una bomba manual presentó en el estudio de julio 2002 un contenido de Plomo total de 28.10 µg/l, encima del nivel permisible de 10 µg/l. En el estudio de noviembre de 2003, el contenido de Plomo total resultó de solamente 1 µg/l.

VI.5 Comunidad de Kinuma, Municipio de La Libertad, Chontales

Tabla 12.

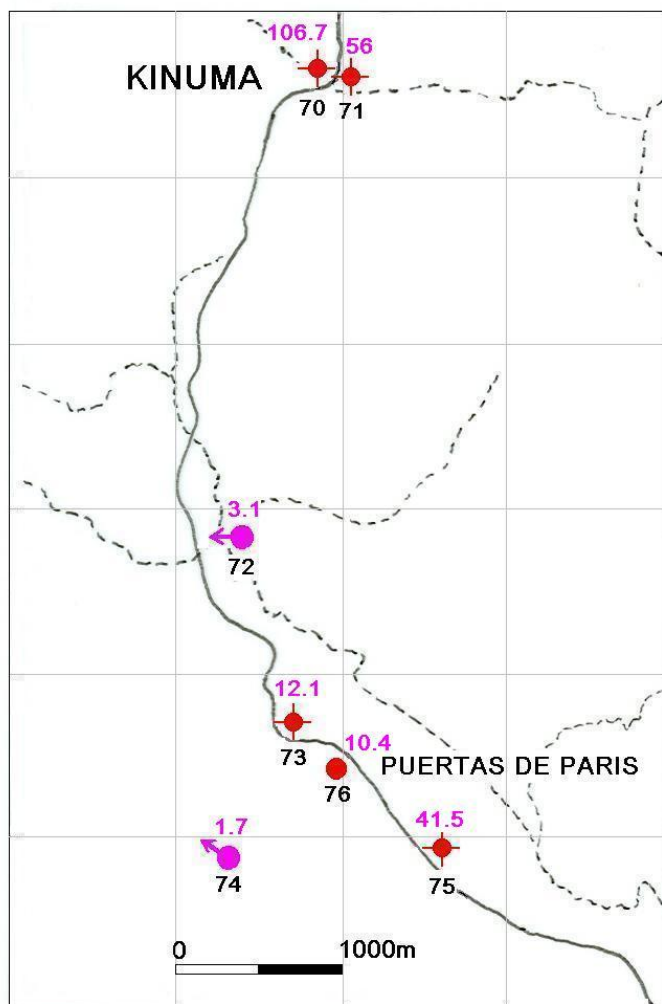
N=7	Temperatura °C	Conductividad µmhos/cm	pH	Eh	As total µg/l	As III µg/l	As V µg/l
Promedio	27.0	386.9	7.1	124.6	33.1	17.2	15.9
Desviación estándar	1.0	338.5	0.2	36.8	38.4	26.2	19.9
Máximo	28.7	1000.0	6.8	188.0	106.7	56.4	50.3
Mínimo	25.3	34.0	6.8	89.0	1.7	0.3	1.4

Esta comunidad se ubica 4 Km. al sur del poblado de La Libertad. En la zona predominan rocas andesíticas del Coyoil Inferior (Tmca). Al sur de la comunidad existe una cadena de conos volcánicos y un sistema de fallas con dirección NE-SO y NW-SE.

En esta comunidad y sus alrededores se capturaron 7 muestras, que incluyen 4 pozos perforados, 1 pozo excavado y 2 manantiales. Los resultados indican que existe alto contenido de Arsénico total en los pozos, en cambio, los manantiales no presentan indicios de contaminación.

El mapa de la figura 10 indica la localización de los 7 puntos de agua de la zona de Kinuma con sus valores respectivos de Arsénico total.

Figura 10.



Como se ve en la tabla 12, el promedio de concentración de Arsénico total es de 33.1 µg/l con una desviación estándar de 26.2 µg/l. Esta concentración media es la más alta de todas las concentraciones medias de las zonas estudiadas. No obstante, es importante destacar que la temperatura media del agua es la más baja de todas las temperaturas medias de las zonas estudiadas con 27° C y una desviación estándar de 1° C. La zona de Kinuma ilustra claramente que se puede encontrar valores muy elevados de Arsénico en aguas de temperaturas normales. Eso infiere la hipótesis de un origen únicamente hidrogeotérmico del Arsénico en las aguas subterráneas de Nicaragua.

Tabla 3.

Sector	Nombre/Dueño	Número Muestra	Fecha	Parámetros físicos de campo				As (µg/l)	Pb (µg/l)
				T (°C)	Cond. (uS-cm)	pH	Eh (mV)		
Kinuma	Pozo perforado con bomba manual comunal	70	Nov. 2003	26.6	558	6.9	127	106.7	<1
		223	Julio 2002	26.7	743	7.4	487.9	88.0	<0.1

El pozo perforado comunal de Kinuma, construido por ENACAL-UNICEF, presentó un contenido de Arsénico total de 88 µg/l en julio de 2002 y de 106.5 µg/l en noviembre del 2003, o sea aproximadamente 10 veces el nivel admisible. Este pozo perforado está equipado de una bomba manual y abastece de agua a 8 casas. En marzo de 2004 el contenido de Arsénico total muy elevado de este pozo fue confirmado con 75 µg/l.⁸ (Larios, 2004)

El pozo perforado comunal de Las Puertas, también construido por ENACAL-UNICEF, presentó en noviembre de 2003 una concentración de 41.5 µg/l. Este pozo está equipado de una bomba manual y abastece a 30 viviendas.

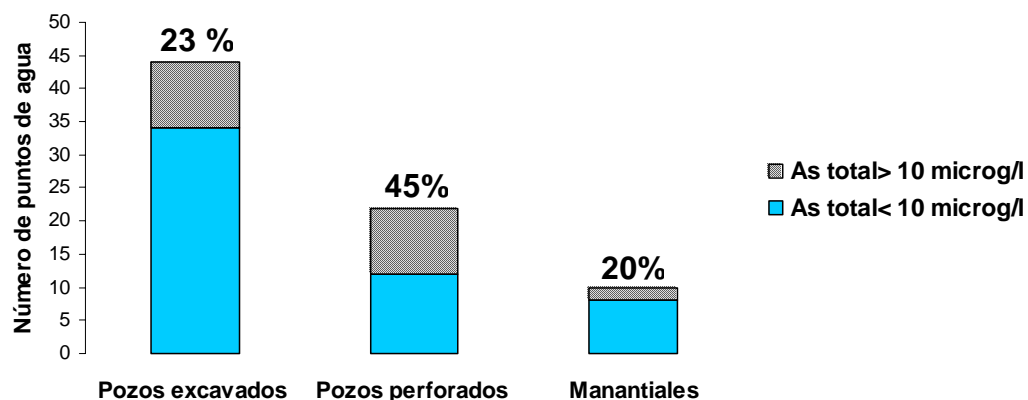
El número total de viviendas registradas en las que se toma agua contaminada por Arsénico en la zona de Kinuma es de 45. Calculando un promedio de 5 personas por casa, se puede estimar que 225 personas están ingiriendo agua con Arsénico por encima del nivel admisible de 10 µg/l desde que los pozos perforados fueron construidos, o sea entre 1995 y 1998.

⁸ El análisis fue realizado por el laboratorio regional de la Dirección de Acueductos Rurales de ENACAL en la ciudad de Juigalpa, Departamento de Chontales. Las mediciones hechas en el terreno a la salida de la bomba manual dan los resultados siguientes: Temperatura: 27.1 °C, pH=7.22, Conductividad Eléctrica =1195 micromhos/cm, Turbiedad =3.82 NTU.

VII. RESULTADOS GENERALES Y COMPARACIÓN CON ESTUDIOS ANTERIORES

1. De los 77 puntos muestreados en el presente estudio, 46 correspondieron a pozos excavados (60%), 21 a pozos perforados (27%) y 10 a manantiales (13%). Las concentraciones de Arsénico total superiores a 10 $\mu\text{g/l}$ se encontraron en mayor proporción en los pozos perforados (45%) y en menor proporción en los pozos excavados (23%) y en los manantiales (20%). La figura 11 ilustra el porcentaje por categoría de puntos de agua contaminados.

Figura 11.



El estudio de PIDMA de julio de 2002 financiado por UNICEF (PIDMA-UNI, 2002) analizó muestras de agua provenientes de pozos perforados, pozos excavados y manantiales. La figura 12 presenta el ploteo del promedio de conductividad eléctrica de las muestras de agua en función de su contenido promedio en Arsénico total. El gráfico de la figura 12 representa las tres categorías de puntos de agua estudiados: pozos excavados (N=61), pozos perforados (N=22) y manantiales (N=20).

Se puede observar que el grupo de los pozos excavados (círculo) tiene un promedio de contenido de Arsénico total ligeramente inferior al promedio de los pozos perforados (cuadrado). Los promedios de conductividad eléctrica de ambas categorías son similares. Por otro lado, las manantiales (triángulo) se individualizan claramente de los pozos excavados y perforados con promedio de conductividad eléctrica y de contenido de Arsénico total muy inferiores.

El estudio de PIDMA-UNICEF de julio de 2002 concluyó que los manantiales tenían menos probabilidad de tener Arsénico que los pozos excavados y perforados.

Para comparar los resultados del estudio de julio de 2002 con los resultados de noviembre de 2003, la figura 13 presenta el ploteo del promedio de conductividad eléctrica en función del promedio de Arsénico total para las muestras de agua clasificadas según las mismas tres categorías: pozos excavados (N= 46), pozos perforados (N=20) y manantiales (N=8).

Figura 12. Estudio de ámbito nacional (Julio de 2002)

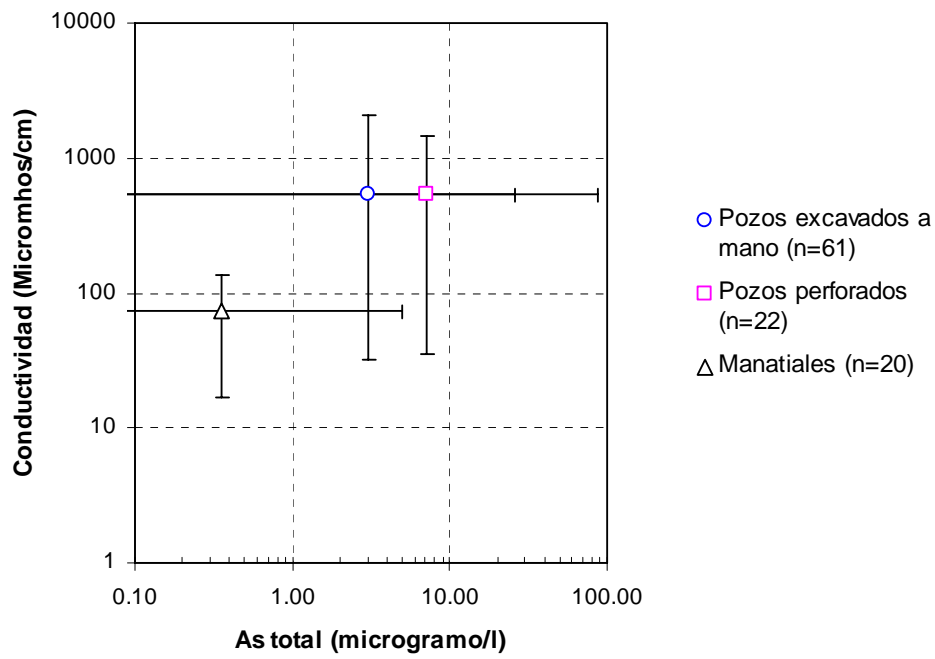
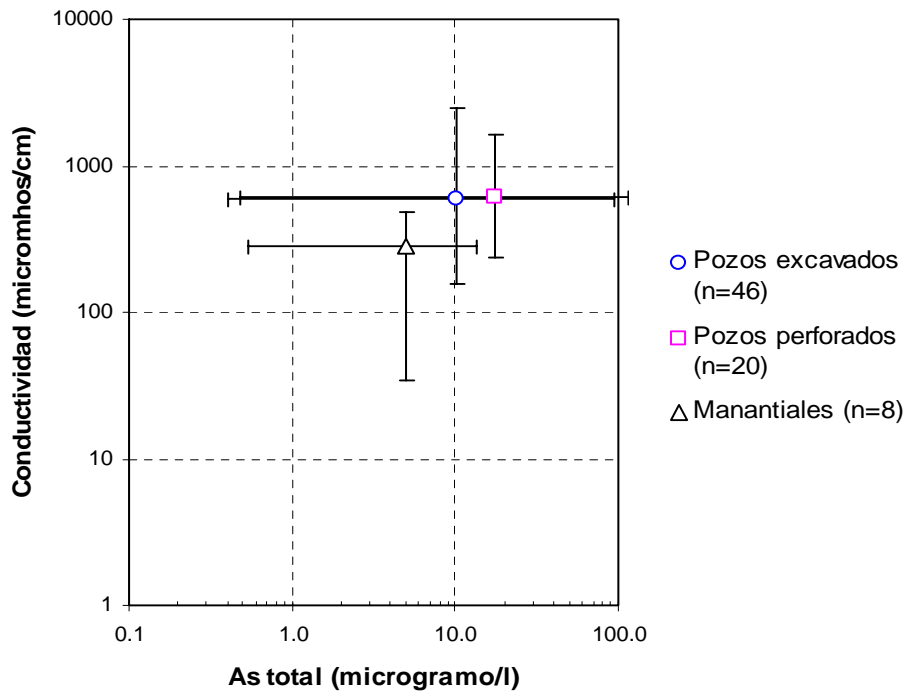


Figura 13. Estudio de zonas contaminadas (Noviembre de 2003)



Se pueden destacar las siguientes observaciones:

- i) Los promedios de conductividad eléctrica de los pozos excavados y de los pozos perforados siguen siendo similares
- ii) Al igual que en el estudio de julio de 2002, el promedio de Arsénico total del grupo de los pozos excavados es inferior al promedio de Arsénico total de los pozos perforados.
- iii) Los promedios de Arsénico total de los pozos excavados y de los pozos perforados aumentan de 42% y 53% respectivamente, y sobrepasan el límite de 10 $\mu\text{g/l}$. Eso es lógico puesto que el estudio de noviembre de 2003 se realizó en zonas contaminadas por Arsénico.
- iv) Menos esperado, es el aumento importante de +87% del promedio de Arsénico total y de +58% del promedio de conductividad eléctrica para el grupo de los manantiales. El estudio de noviembre de 2003 revela así que los manantiales ubicados en zonas de contaminación por Arsénico pueden ser contaminados por Arsénico.

2. De los 77 puntos de agua subterránea analizados, 74 indicaron concentraciones de plomo inferiores a 1 $\mu\text{g/l}$, 3 revelaron baja presencia de plomo (entre 1 y 6.5 $\mu\text{g/l}$) y ninguno sobrepasó el límite permisible de 10 $\mu\text{g/l}$.

3. De las 77 puntos de agua subterránea analizados, 22 (28.6%) presentaron concentraciones de Arsénico total superiores a 10 $\mu\text{g/l}$, valor máximo permitido por la norma de INAA. En las figuras 14a, b y c se presentan las distribuciones de frecuencia del Arsénico total, Arsénico pentavalente (As V) y trivalente (As III). El Arsénico pentavalente predomina y eso confirma los resultados del estudio de PIDMA-UNICEF de julio de 2002. Es importante destacar que el Arsénico pentavalente es menos móvil y tiene mayor capacidad de adsorción y por lo tanto presenta menos toxicidad que el Arsénico trivalente.

Figura 14a.

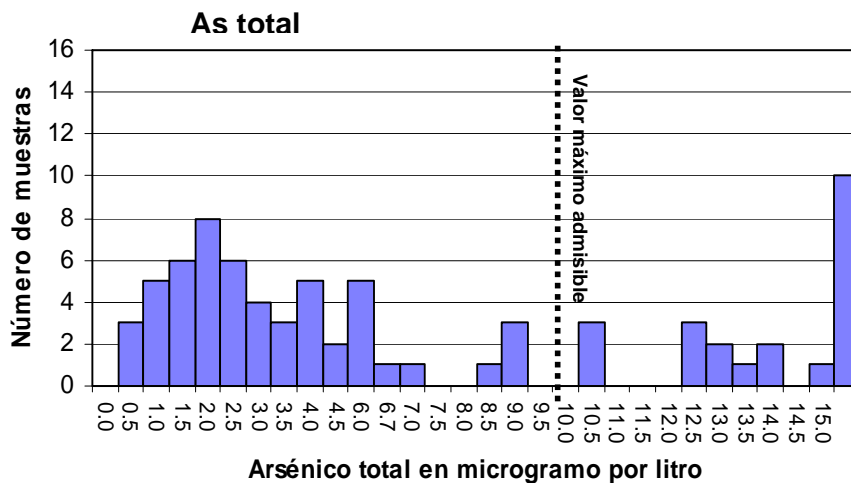


Figura 14b.

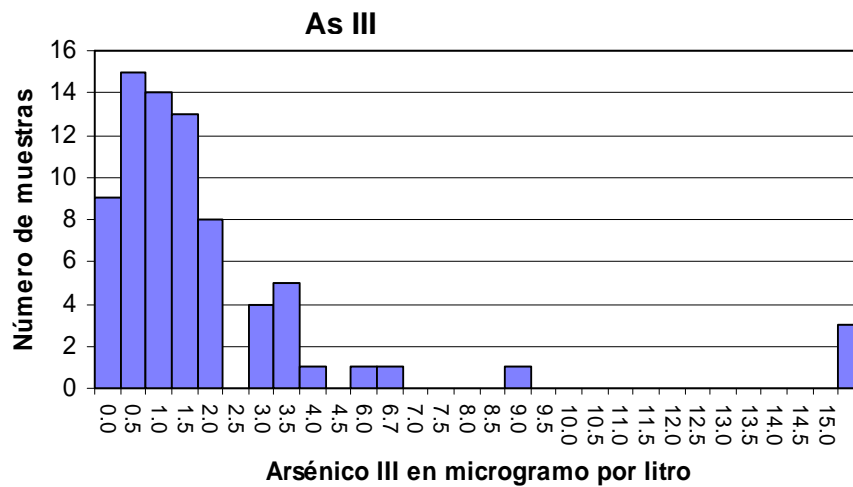
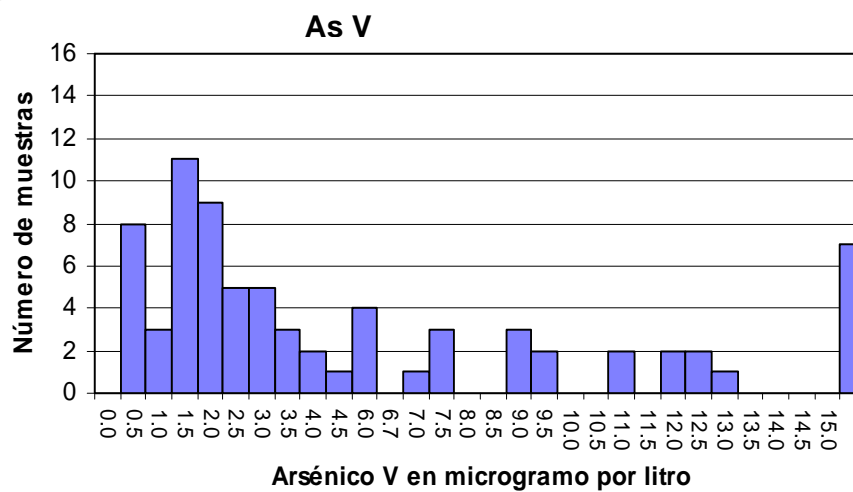


Figura 14c.



4. El estudio de julio de 2002 de las 106 muestras de aguas subterráneas estudiadas a nivel nacional (PIDMA-UNI, 2002) había mostrado que la mayoría de las aguas presentaban un pH entre 5 y 8. No obstante se debe destacar que todos los manantiales y dos pozos excavados tenían un pH ácido característico de agua de reciente recarga. (Ver figura 15). En el presente estudio, el pH es principalmente entre 6.5 y 7.5 incluyendo el pH de las aguas de manantiales. (Ver Figura 16)

Figura 15. Estudio de ámbito nacional (Julio de 2002)

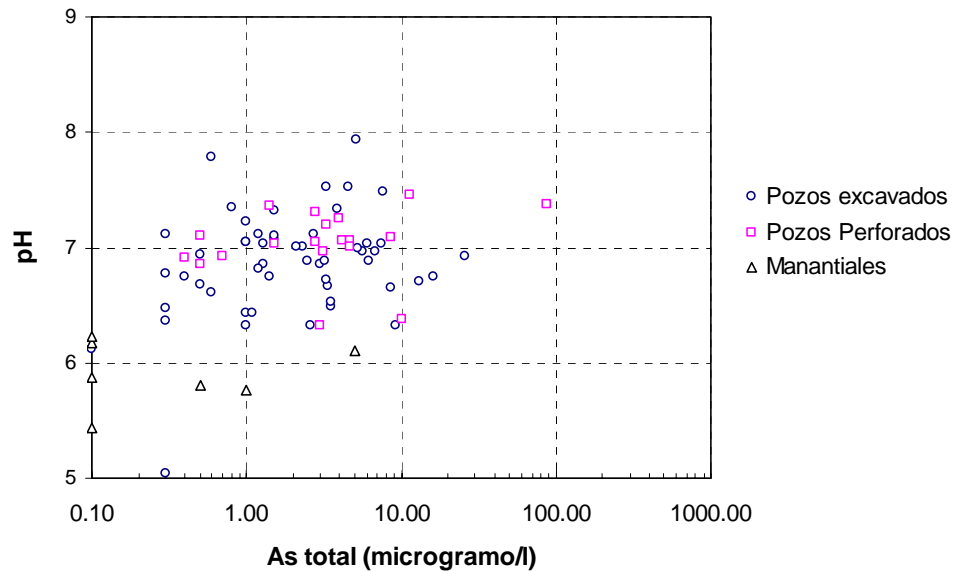
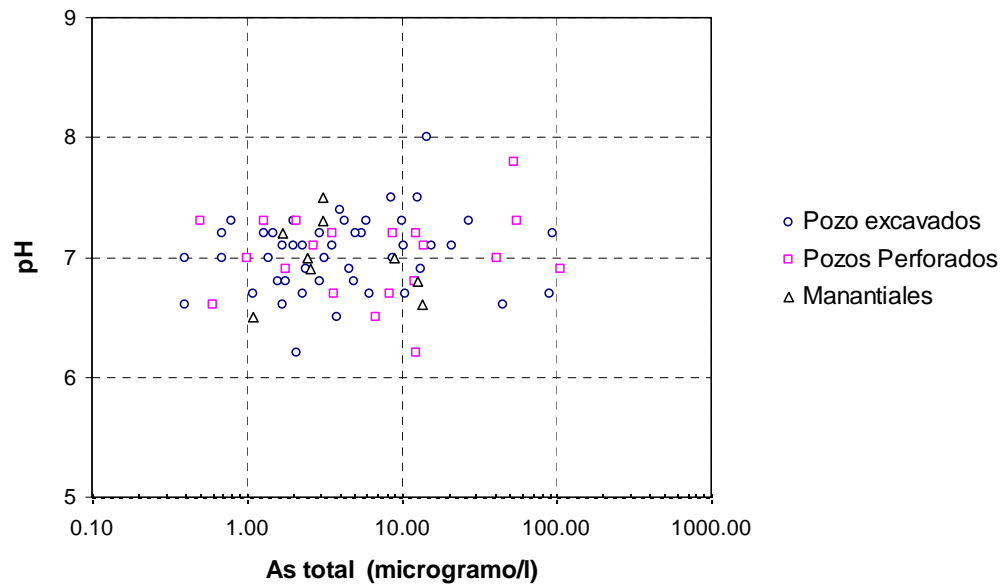


Figura 16. Estudio de las zonas contaminadas (Noviembre de 2003)

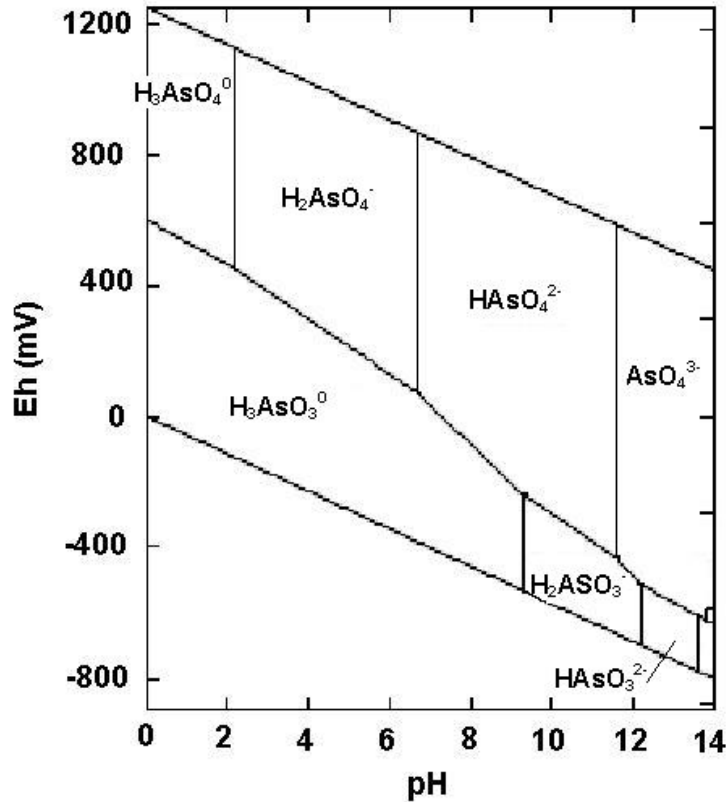


En situaciones naturales, el Arsénico se puede encontrar en cuatro estados de oxidación: el estado (-III), el estado metálico (0), y el estado (III) y (V). El Arsénico disuelto en las aguas naturales está principalmente en los estados inorgánicos pentavalente As (V) y/o trivalente As (III).

El potencial redox (Eh) y el pH son los parámetros más importantes que controlan la especiación del Arsénico, o sea su estado de oxidación. Bajo condiciones oxidantes, las especiaciones pentavalentes As (V) son estables con un pH creciente: $H_2AsO_4^-$ es

dominante cuando el pH es menos de 6.9 aproximadamente. Con un pH superior a 6.9, HAsO_4^{2-} predomina. En condiciones reductoras, As (V) es reducido en As (III) y las especiaciones trivalentes As (III) predominan. La distribución de los estados de oxidación del Arsénico en función del pH y del Eh a una temperatura de 25° C y bajo una presión de 1 atmósfera es presentada en la figura 17 siguiente.

Figura 17.



El estudio a ámbito nacional de julio de 2003 (PIDM-UNI, 2002) había mostrado que el Arsénico está presente en ambientes oxidantes ($\text{Eh} > 400$ mV) con pH entre 6 y 8. Por lo tanto las especiaciones pentavalentes predominan. El predominio de As (V) es confirmado con el presente estudio como se ve claramente en las figuras 18 y 19 que presentan las muestras de dos zonas de estudio en el diagrama pH-Eh. Estas zonas de estudio son El Charco-Santa Rosa del Peñón (figura 18) y Cruz de la India-Las Pilas (figura 19). En la zona de El Charco-Santa Rosa de Peñón predomina la especie pentavalente H_3AsO_4^- , mientras la especie pentavalente HAsO_4^{2-} predomina en la zona de Cruz de la India-Las Pilas.

Figura 18. Zona de estudio de El Charco-Santa Rosa del Peñón

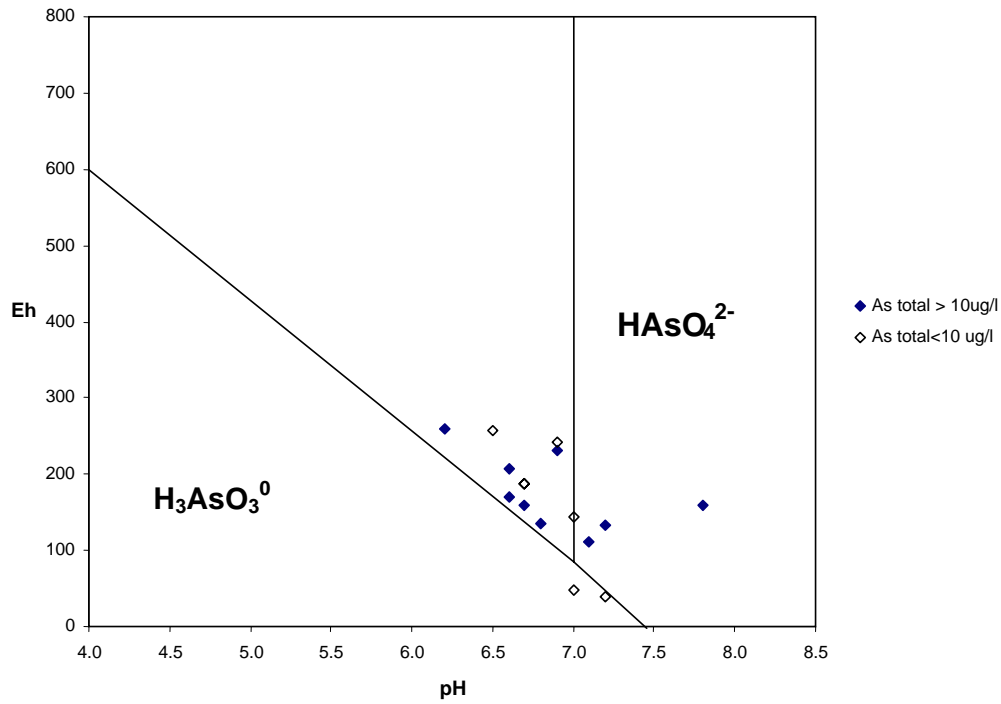
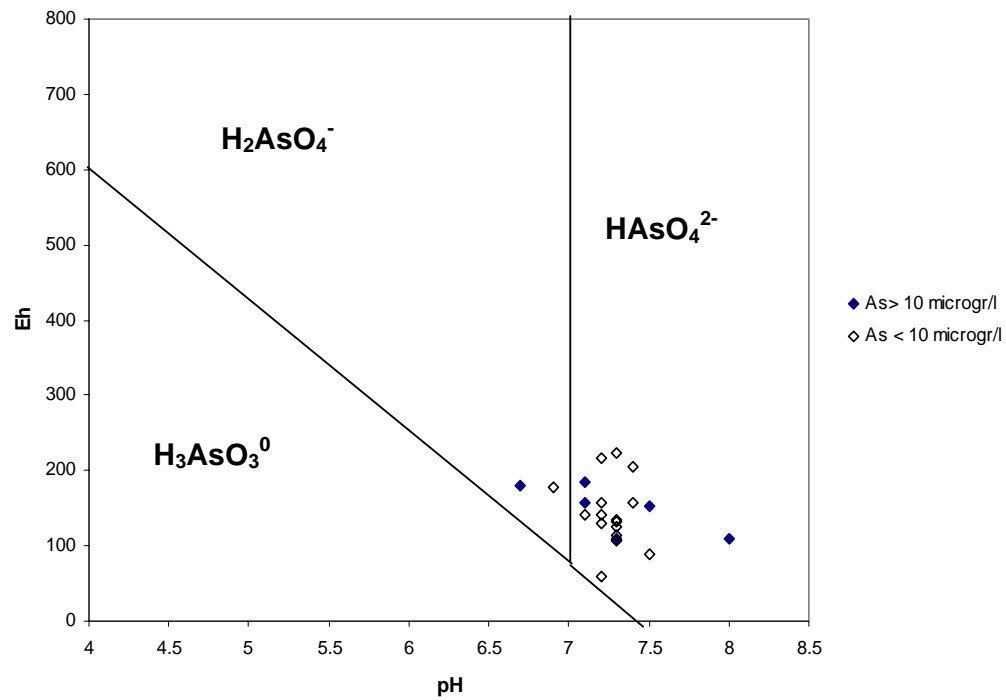


Figura 19. Zona de estudio de Cruz de La India-Las Pilas



5. Las comunidades con problemas de contaminación por Arsénico resultaron ser Cerro Mina de Agua, El Charco-Santa Rosa del Peñón, Cruz de la India y Kinuma. El Mojón y Las Pilas no presentaron contaminación.

Con el objetivo de poder comparar cuantitativamente las zonas contaminadas por Arsénico se establece un índice "I" de peligrosidad. Este índice toma en cuenta dos parámetros:

- a) Un parámetro que refleja la densidad de contaminación en una zona determinada. Una zona que presenta pocos puntos de agua contaminados es menos peligrosa, por supuesto, que una zona donde los puntos de agua están afectados en su gran mayoría. Este parámetro "A" es la tasa de puntos de agua que presentan concentración de Arsénico total por encima de 10 µg/l.
- b) Un parámetro que refleja la intensidad de la contaminación por Arsénico. Una zona con valores de 10 a 100 veces el nivel permisible es más peligrosa que una zona donde los niveles están ligeramente por encima del nivel permisible. Este parámetro "B" es el promedio de las concentraciones de Arsénico total de los puntos de agua que presentan niveles de Arsénico por encima de 10 µg/l.

El índice de peligrosidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = (A \times 10) + (B / 10) \quad (\text{Fórmula 1})$$

Se puede utilizar la siguiente escala para calificar las zonas contaminadas por Arsénico en Nicaragua:

- $0 \leq I < 1$: Peligrosidad Baja
- $1 \leq I < 5$: Peligrosidad Media
- $5 \leq I < 10$: Peligrosidad Alta
- $10 \leq I$: Peligrosidad Muy Alta

Utilizando la fórmula (1), se calcula los índices de peligrosidad de las zonas contaminadas por Arsénico estudiadas en noviembre de 2003. Basándose en los datos del estudio de 2001 de Las Mangas (PIDMA-UNI, 2001), se calculó también el índice de contaminación de esta zona. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14.

Zona contaminada por Arsénico	Tasa de puntos de agua con concentración de Arsénico por encima de 10 µg/l	Promedio de las concentraciones de Arsénico por encima de 10 µg/l	Índice de peligrosidad de la zona contaminada por Arsénico
	A	B	$I = (A \times 10) + (B/10)$
Cerro Mina de Agua	0.05	12.5	1.75
Charco-Santa Rosa del Peñón	0.53	30	8.3
Cruz la India	0.54	27	8.1
Kinuma	0.71	45	11.6
Las Mangas	0.30	30.8	6.8

Comparando el índice de peligrosidad de Las Mangas ($I = 6.8$) con los índices de las zonas estudiadas recientemente en noviembre de 2003, se puede constatar que las zonas de Cruz de la India ($I = 8.1$) y Charco-Santa Rosa del Peñón ($I = 8.3$) están en el mismo rango de peligrosidad "alta". La zona de Kinuma ($I = 11.6$), en el Municipio de La Libertad, presenta el más alto nivel de peligrosidad registrado a la fecha en el país.

6. Los coeficientes de correlación estadística entre Arsénico total, conductividad, temperatura, pH, Eh, profundidad del punto de agua, la altitud del nivel del agua, están presentados en Anexo 2 para cada una de las zonas de estudio.

Figura 20. Estudio a ámbito nacional (Julio de 2002)

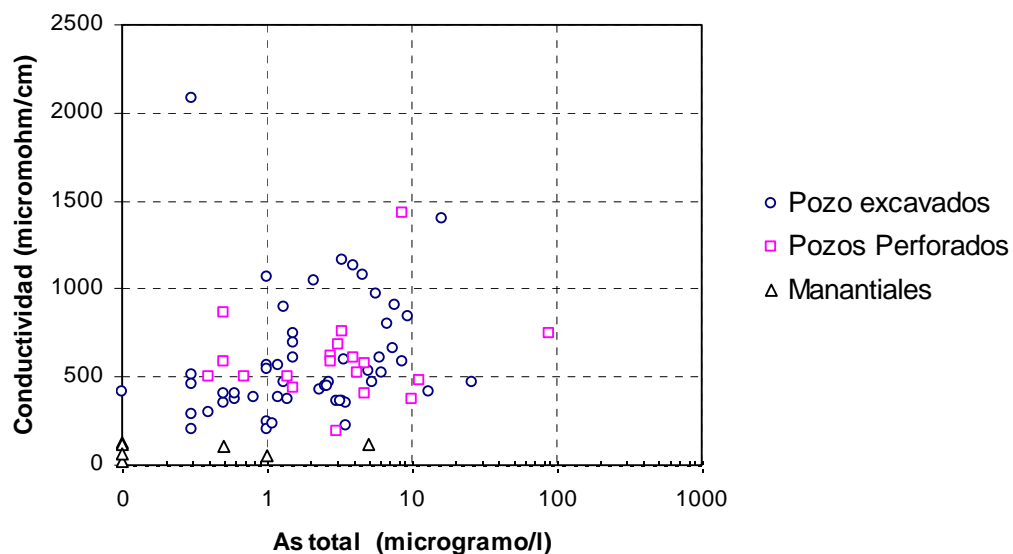
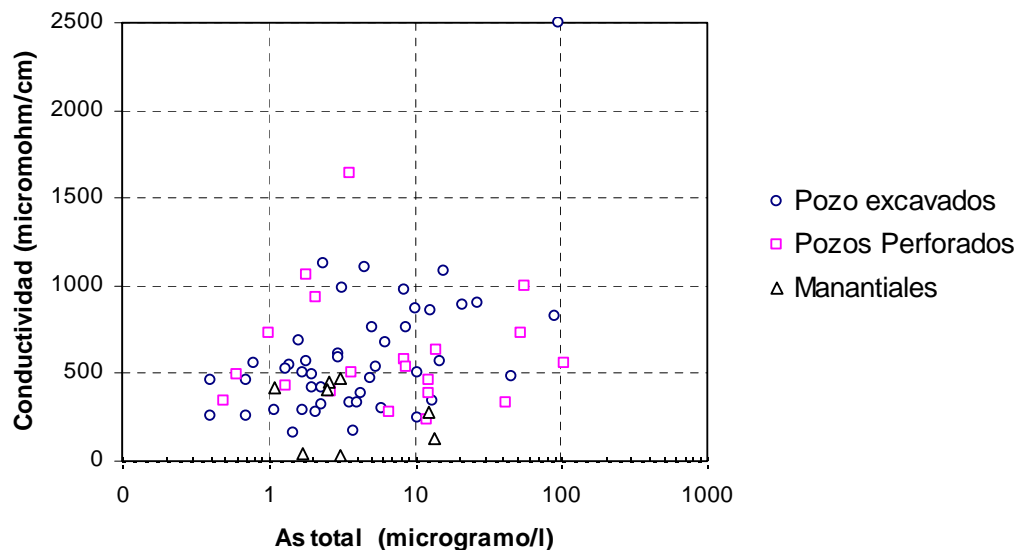


Figura 21. Estudio de las zonas contaminadas (Noviembre de 2003)



El ploteo de la conductividad eléctrica en función del contenido de Arsénico total para las muestras estudiadas en julio de 2002 (PIDMA-UNI, 2002) y en noviembre de 2003, se presentan respectivamente en las figuras 20 y 21. Se puede constatar que no hay diferencia notable en cuanto el rango de conductividad eléctrica entre el ámbito nacional (figura 20) y las zonas contaminadas (figura 21). Las conductividades eléctricas están en su mayoría por debajo de los 1200 micromhos/cm. Eso significa que de manera general, las aguas subterráneas contaminadas naturalmente por Arsénico no son más mineralizadas que las aguas sin contaminación.

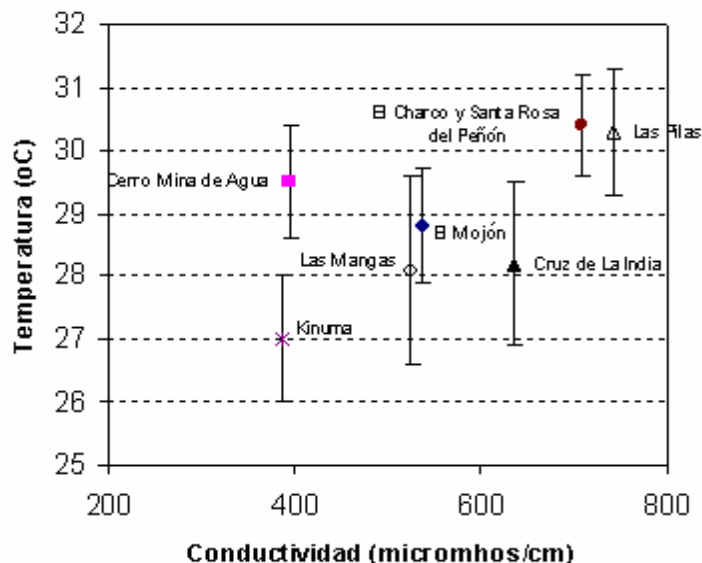
El examen de los coeficientes de correlación entre Arsénico y conductividad eléctrica muestra que las correlaciones más altas, entre 0.50 y 0.67, se encuentran en las zonas con índice de peligrosidad alto a muy alto (Cruz de la India, Kinuma, El Charco-Santa Rosa del Peñón). En las zonas con índice de peligrosidad bajo (El Mojón, Cerro Mina de Agua, Las Pilas), los coeficientes de correlación son inferiores a 0.35.

7. La información resultó insuficiente para elaborar mapas con líneas de iso-concentración de Arsénico, por lo que en los mapas solo se hizo el ploteo de los valores de Arsénico total. No se encontró ninguna correlación entre formaciones geológicas, sistemas de fallas y contenido de Arsénico. Eso confirma los resultados del estudio de PIDMA financiado por UNICEF en julio de 2002 (PIDMA-UNI, 2002).

8. Antes del presente estudio, la única zona contaminada por Arsénico estudiada detalladamente con un muestreo de alta densidad fue la zona de Las Mangas, en el valle de Sébaco (GONZÁLEZ, M. et al, 1998 , PIDMA-UNI. 2001). Un estudio financiado por UNICEF en 2001 (PIDMA-UNI. 2001) permitió el levantamiento de un mapa de iso-concentración de Arsénico total basado en los valores de 20 puntos de medición. El mapa revela que los valores más altos de concentración de Arsénico se presentan en un alineamiento de rumbo norte-sur entre las comunidades de El Zapote, Real de La Cruz y Las Cañas. Utilizando los resultados de este estudio, el Ing Estrada Guevara escribe en su Tesis de Maestría (página 39, ESTRADA, 2003) : *“Las anomalías en la temperatura de las muestras de agua, la presencia de intrusitos félsicos y máficos en el basamento de rocas volcánicas Terciarias del Grupo Coyol y un sistema de fallas profundas y someras con rumbo preferencial NW-SE justifican la existencia de un proceso relacionado con el arsénico de soluciones hidrotermales o aguas profundas enriquecidas por arsénico a través de zonas de fallamiento (fracturas, grietas, etc.) que hacen contacto con el fondo del acuífero de la Cuenca de Sébaco, explicando de esta manera tanto las anomalías de temperatura como los diferentes rangos de concentraciones en las aguas subterráneas.”*

Basándose en el estudio de la zona de contaminación del valle de Sébaco, el Ing Estrada Guevara propone una generalización del origen geotérmico de las altas concentraciones de Arsénico en las aguas subterráneas de Nicaragua. Según él: *“Las concentraciones de arsénico en las aguas subterráneas se justifican principalmente mediante el ascenso de soluciones hidrotermales o flujos de aguas termales profundas provenientes de sub cámaras magmáticas o plutones estacionarios enriquecidas por minerales metálicos (incluyendo sulfuros arsenicales) a través de fallas profundas o fracturas de las rocas corticales más débiles generadas por el movimiento de las placas tectónicas”*.(página iii, ESTRADA, 2003).

Figura 22.



El examen de la temperatura promedio de las aguas subterráneas de todas las zonas estudiadas detalladamente a la fecha en Nicaragua demuestra que las altas concentraciones de Arsénico no pueden explicarse por un aumento anómalo del gradiente geotérmico y no pueden correlacionarse únicamente con áreas hidrogeotermales. La figura 22 presenta la temperatura promedio del agua con su respectiva desviación estándar en función de la conductividad eléctrica para cada una de las zonas estudiadas. Se puede ver claramente que la zona de Las Pilas, libre de contaminación, presenta un promedio alto de temperatura (30.3°C) mientras la zona de Kinuma, altamente contaminada, presenta el promedio de temperatura más bajo de todas las zonas (27° C).

El gradiente geotérmico de la corteza terrestre oscila entre 0.03 y 0.033° C/m. En Nicaragua, donde la corteza terrestre tiene una espesura de solamente 35 Km, el gradiente geotérmico promedio es más alto y se estimó cerca de 0.05° C/m en la región de La Libertad (DARCE, 1989). En áreas geotermales, el gradiente geotérmico puede alcanzar valores de más de 0.1° C/m, o sea más de 100° C por kilómetro de profundidad. Considerando el valor de 0.05° C/m como valor del gradiente geotérmico de las áreas no termales de Nicaragua, se puede calcular la temperatura del agua de un pozo (Tc) conociendo la profundidad (P) del pozo y la temperatura del aire (Ta). La temperatura del agua se calcula según la siguiente fórmula:

$$T_c = T_a + (0.05 \times P) \quad (\text{Fórmula 2})$$

Donde el factor 0.05 es el gradiente geotérmico en ° C/m y P es la profundidad total del pozo en m.

La diferencia entre la temperatura calculada Tc y la temperatura real del agua Tm, medida en el pozo, permite revelar cuantitativamente cualquier anomalía geotérmica.

Para lograr tal objetivo, la tabla 15 siguiente presenta la diferencia relativa ($\Delta T\%$) entre las temperaturas promedio medidas (Tm) y calculadas (Tc), de cada zona. El Índice de

peligrosidad de contaminación por Arsénico (I) está presentado en la misma tabla para tratar de revelar una posible correlación entre anomalía geotérmica y Arsénico.

Tabla 15.

Zona de estudio	N	Temperatura del agua medida (promedio de N muestras)	Temperatura del aire	Temperatura del agua calculada = Temperatura del aire + (Gradiente geotérmico x Profundidad)	Diferencia relativa (ΔT) entre Temperatura del agua medida (T_m) y Temperatura del agua calculada (T_c) (%)	Índice I
		T_m ($^{\circ}C$)	T_a ($^{\circ}C$)	T_c ($^{\circ}C$)	$\Delta T = ((T_c - T_a)/(T_c + T_a)) \times 100$	
El Mojón	10	28.8	24.1	24.6	7.9	0
Cerro Mina de Agua	20	29.6	26.6	27.6	3.5	1.75
El Charco-Santa Rosa del Peñón	16	30.4	25.4	26.7	6.5	8.3
Cruz de la India	13	28.4	23.4	24.9	6.7	8.1
Las Pilas	10	30.3	24.9	26.5	6.8	0
Kinuma	7	27.0	23.7	25.2	3.5	11.6
Las Mangas	13	28.5	22.6	25.2	6.1	6.8

El examen de la tabla confirma que el aumento anómalo del gradiente geotérmico no permite explicar por sí solo el aumento de la concentración en Arsénico. Basándose en los valores expuestos, se puede definir cuatro tipos de zonas:

- Zona sin contaminación por Arsénico y con anomalía geotérmica: El Mojón ($\Delta T = 7.9\%$, $I = 0$), Las Pilas ($\Delta T = 6.8\%$, $I = 0$)
- Zona escasamente contaminada por Arsénico y sin anomalía geotérmica: Cerro Mina de Agua ($\Delta T = 3.5\%$, $I = 1.75$)
- Zona altamente contaminada por Arsénico y con anomalía geotérmica: El Charco-Santa Rosa del Peñón ($\Delta T = 6.5\%$, $I = 8.3$), Cruz de la India ($\Delta T = 6.7\%$, $I = 8.1$) y Las Mangas ($\Delta T = 6.1\%$, $I = 6.8$)
- Zona altamente contaminada por Arsénico y sin anomalía geotérmica: Kinuma ($\Delta T = 3.5\%$, $I = 11.3$)

VIII. CONCLUSIONES

1. De las 8 localidades estudiadas, El Mojón y Las Pilas no presentan problemas de contaminación por Arsénico ni Plomo total. En los pozos perforados de Kinuma, Mina de Agua y El Charco se confirmó la contaminación por Arsénico. Igualmente, esta contaminación se confirmó en pozos excavados de La Cruz de la India.

2. De las 77 muestras de agua analizadas, ninguna presenta contaminación por Plomo total.

3. A nivel nacional, el estudio ejecutado en 2002 (PIDMA-UNI, 2002) demostró que 5.7% de los puntos de abastecimiento de agua tienen valores de Arsénico total por encima del valor máximo admisible de 10 $\mu g/l$. Se encontró en las zonas de estudio una contaminación por Arsénico en 22 puntos de agua subterránea sobre los 77

puntos muestreados. Por lo tanto, la prevalencia de contaminación por Arsénico total aumenta hasta 28% en estas zonas.

4. El Arsénico está presente en ambientes oxidantes con pH entre 6 y 8. El Arsénico pentavalente As(+V) predomina sobre el Arsénico trivalente As(+III) y eso confirma los resultados del estudio de PIDMA-UNICEF de julio de 2002.

5. El estudio demuestra que las altas concentraciones en Arsénico no pueden explicarse por un aumento anómalo del gradiente geotérmico y no pueden correlacionarse únicamente con áreas hidro-geotermales.

6. Los puntos que presentaron contaminación por Arsénico presentan valores desde 10.40 hasta 106.70 $\mu\text{g/L}$. Las comunidades que presentan mayores problemas de contaminación son: Kinuma, Santa Rosa del Peñón, La Cruz de la India y El Charco. Con el objetivo de poder comparar cuantitativamente las zonas contaminadas, el estudio estableció un índice "I" de peligrosidad que toma en cuenta dos parámetros: (A) la tasa de puntos de agua con Arsénico por encima de 10 $\mu\text{g/l}$ y (B) el promedio de las concentraciones de Arsénico por encima de 10 $\mu\text{g/l}$. La zona de Kinuma, en el Municipio de La Libertad, Departamento de Chontales, con un índice "I" de 11.6, presenta el más alto nivel de peligrosidad registrado a la fecha en el país.

7. El número de personas que consumen agua contaminada por Arsénico en las zonas estudiadas se estima en 1,270, según los resultados detallados en la tabla 16.

Tabla 16.

Zona/Municipio	Viviendas afectadas	Número de personas afectadas
Cerro Mina de Agua/Villanueva	7	35
El Charco, Santa Rosa del Peñón/Santa Rosa del Peñón	104	520
Cruz de la India/Santa Rosa del Peñón	18 + población urbana de Cruz de la India	490
Kinuma/La Libertad	45	225
TOTAL		1270

8. Considerando que la prevalencia nacional de los puntos de abastecimiento de agua que son contaminados naturalmente por Arsénico es de 5.7% (As total > 10 $\mu\text{g/l}$) y que existen alrededor de 4,886 sistemas de agua en Nicaragua en 2004 (Valle, 2003) se puede estimar que 278 sistemas de agua están contaminados. La mayoría de estos sistemas abastecen pequeñas comunidades rurales dispersas o semi-concentradas en cabeceras municipales y pequeños poblados. Tomando un promedio conservador de 200 personas por sistema de agua, se puede estimar que aproximadamente 55,700 personas están ingiriendo agua contaminada por Arsénico.

IX. RECOMENDACIONES

1. La población de Kinuma, en el municipio de La Libertad, está ingiriendo muy altas concentraciones de Arsénico desde 1994. Se recomienda por lo tanto, clausurar inmediatamente los pozos contaminados y proveer simultáneamente a los pobladores de una fuente de agua potable alternativa. Los manantiales en la cercanía del poblado están libres de contaminación y podrían ser captados para llevar agua por gravedad hacia puestos público de abastecimiento de agua.
2. De manera general, los 22 puntos de abastecimiento de agua contaminados por Arsénico deberán ser clausurados lo más pronto posible.
3. Los altos niveles de Arsénico en el agua que ingirieron los pobladores de Kinuma durante 10 años y la continuidad de la contaminación, ubican a esta población en alto riesgo de desarrollar patologías asociadas con Arsénico. Se recomienda realizar la más pronto posible, una evaluación de los daños provocados por el Arsénico a través de una valoración dermatológica inicial para detectar queratosis y pigmentación características del arsenicismo. Eventualmente, un estudio detallado descriptivo-transversal podría ser realizado por un equipo médico de especialistas del Ministerio de Salud.
4. Se recomienda el establecimiento, con carácter prioritario, de un programa de control, tratamiento y prevención del daño ocasionado por la intoxicación por Arsénico. Este programa deberá estar integrado en los servicios sanitarios existentes, dándole un especial énfasis a la atención de niños, niñas y embarazadas.
5. Se recomienda realizar una campaña de información y educación popular, dentro de las cinco zonas contaminadas e identificadas al día de hoy (Las Mangas, Kinuma, Cerro Mina de Agua, Charco-Santa Rosa del Peñón, Cruz de la India). Esta campaña deberá formar conciencia en la población sobre los efectos del Arsénico en el organismo humano, sin crear pánico. Se deberá enfatizar en la suspensión inmediata de la ingesta de agua contaminada, el reconocimiento de las fuentes de agua segura y de las contaminadas y la promoción de una alimentación rica en proteínas.

X. BIBLIOGRAFÍA

ASTOLFI, E. et al., 1982, Hidroarsenicismo crónico Regional Endémico. Tall. Gráficos Coop. Gral. Belgrano, Bs. As

BENCKO, V., 1977. Carcinogenic, teratogenic and mutagenic effects of arsenic, Environ. Health Perspect. 19. 179-182.

CARE Internacional, 2002. Estudio Hidrogeológico. Trece comunidades de San Isidro.

CRAWFORD. J., 1892. The geology of Nicaragua. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science 40: 261-70

DARCE, M.1989. Mineralogical alteration patterns, chemical mobility and origin of the La Libertad Gold Deposit, Nicaragua. Doctoral Thesis. University of Stockholm, Sweden.

EHRENBORG, J., 1996. A new stratigraphy for the Tertiary volcanic rocks of the Nicaraguan Highland: Geological Society of American Bulletin, v.108, p. 830-842

ESTRADA, 2003. Estudio Preliminar de la Incidencia del Arsénico en Aguas Subterráneas con relación al medio físico natural en la región Noroeste y Sureste de Nicaragua. Período 2001-2002. Universidad Nacional de Ingeniería UNI. Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente. PIDMA.

FENZL, N., 1989. Geografía, Clima, Geología e Hidrogeología de Nicaragua, Universidad Federal de Pará, Brasil.

FENZL, N.: 1988. Introducción a la Hidrogeoquímica, Universidad Federal de Pará, Brasil,.

GÓMEZ, A., 2002. Monitoreo y atención de intoxicados con Arsénico en El Zapote-San Isidro, Departamento de Matagalpa. Nicaragua. (Estudio realizado con apoyo financiero de UNICEF por MINSA)

GONZÁLEZ, M. et al. Exposición al Arsénico en comunidades rurales de San Isidro, Matagalpa, 1997. Informe de la Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud y del Centro de Investigaciones y Estudios de la Salud, Escuela de Salud Pública de Nicaragua. 1998.

GUZMÁN, A. 2003. Asistencia Técnica para la exploración de puntos calientes de contaminación por Arsénico y Plomo. Informe Técnico realizado por CARE Internacional con financiamiento de UNICEF.

INAA, 2001. Normas Técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización de agua. Normas NTON 09003-99

KRASNY, J./ LÓPEZ A: The general hydrogeological map of Nicaragua 1: 250,00; Principles of compilation and content. Managua, 1989.

KRASNY J./HECHT G.: Leyenda General y Metodología para la realización de Mapas Hidrogeológicos e hidroquímicos de Nicaragua a escala 1:250,000.

LARIOS CASTRO, T, 2004. Primer Informe de Avance de Actividades realizadas entre el 10 de Febrero y el 9 de marzo 2004.

LÓPEZ GUZMÁN, A. Asistencia Técnica para la exploración de puntos calientes de contaminación por Arsénico y Plomo. Informe Técnico de UNICEF no publicado, 2003.

MCBIRNEY, A. R., and WILLIAMS, H., 1965. Volcanic history of Nicaragua: University of California Publications in Geological Sciences, v.55, p.73.

PIDMA. Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería. 2001. Calidad físico-química del agua para consumo humano de 124 pozos en la región noroccidental de Nicaragua con énfasis en la presencia de Arsénico.

PIDMA-UNI. 2001. Calidad del Agua en 20 pozos del triángulo La Cruz de La India-Darío-San Isidro con énfasis en la presencia de Arsénico.

PIDMA-UNI. 2002. Muestreo de Arsénico, Plomo y Flúor en aguas subterráneas en la región paralela al graben de Nicaragua.

LATA BEDMAR, A., 1988. Hidrología isotópica del acuífero aluvial valle de Sébaco. – Informe final del proyecto NIC/8/002 del OIEA, Viena.

SUNDBLAD, K., CUMMING, G.L., and KRSTIC, D., 1991. Lead isotope evidence for the formation of epithermal gold quartz veins in the Chortis block, Nicaragua. Economic Geology, v.86, p. 994-959

UNESCO, 1970. Internacional Legend for hydrogeological maps. Paris.

UNESCO, 1975. Leyenda para mapas geohidroquímicos. Documentos técnicos de hidrología.

UNICEF, 2002. Arsénico y metales pesados en agua de Nicaragua.

VALLE, C, 2003. Gestión y funcionamiento de los servicios de agua potable y saneamiento básico en el medio rural. (Informe preparado con apoyo financiero de UNICEF)

ZOPPIS BRACCI, L., 1961. Estudio preliminar de las mineralizaciones de tungsteno y molibdeno de Macuelizo, Departamento de Nueva Segovia: Boletín Servicios Geológicos Nacional Nicaragua, v. no 5, p.33-52

XI. 1 ANEXO 1: Tablas de mediciones y análisis por zona de estudio

Número Muestra	Sector	Nombre/Dueño	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Tipo de punto de agua	Edad (años)	Uso	Extracción (gpd)	Observaciones
			Norte	Este						
1. Comunidad de El Mojón - Municipio de San Francisco del Norte - Departamento de Chinandega.										
1	El Mojón	Comunitario	1457152	527671	408	PEEM	4	Doméstico, 3 casas	60	Se seca verano. Sólo para lavar
2	El Mojón	Guillermo Bustillo	1457114	527700	396	PEBM	3	Doméstico, 7 casas	140	Pozo bien protegido
3	El Mojón	Isidoro Bustillo	1456914	527987	387	M	-	Doméstico, 2 casas	48	Sin captación. Muy descuidado
4	El Naranjo	Julia Vásquez Olivas	1456269	527241	393	PEEM	10	Doméstico, ganado	180	No se seca en verano.
5	El Naranjo	Fco. Aguilar Espinoza	1456421	527388	375	PEBM	15	Doméstico, ganado	270	Corral ganado muy cerca
6	El Naranjo	Gilberto Aguilar	1456461	527407	366	PEBM	40	Doméstico, ganado	180	No se seca en verano.
7	El Ojoche	Comunitario	1458142	528391	249	PPBM	0.3	Abastecerá 33 casas	660	Recién perforado fondos FISE. Sin explotación
8	El Ojoche	Carlos Ordóñez Lupiás	1457918	528525	268	PEBM	2	Doméstico y riego	862	Riego pequeña parcela.
9	El Ojoche	Presentación Ordóñez	1457827	528424	297	PEBM	11	Doméstico, 3 casas	84	Se seca en verano
10	El Naranjo	Gustavo Aguilar	1456179	527031	238	M	-		200	Tiene captación. Muy descuidado
2. Comunidad Cerro Mina de Agua - Municipio de Villanueva - Departamento de Chinandega.										
11	Mina Agua	Pozo perforado comunal	1429727	526057	84	PPBM	3	Doméstico, 7 casas	430	Construido por ENACAL-COSUDE
12	Mina Agua	Nicolás Izaguirre	1429567	525725	87	PEBM	25	Doméstico, 2 casas	80	Cerca mina abandonada.
13	Mina Agua	La Capilla	1429639	526166	90	PEEM	1	Doméstico, 1 familia	40	Se seca en verano
14	Mina Agua	Arnoldo Betanco	1429609	526233	96	PEBM	15	Doméstico, 3 familias	180	Construido cauce quebrada
15	Mina Agua	Juan Epifanio Sabas	1429591	526132	96	PEBM	9	Doméstico, 6 familias	240	No se seca en verano.
16	Mina Agua	Comunal	1429577	526065	96	PEEM	24	Doméstico, 3 familias	60	Casi abandonado. Cerca quebrada
17	Mina Agua	Anastasio Rivera	1429584	525912	92	PEBM	15	Doméstico, 4 familias	160	Eventualmente se seca en verano
18	Mina Agua	Coor Smith	1429544	525948	94	PEEM	4	Doméstico, 2 familias	80	Eventualmente se seca en verano
19	La Tejera	Julia López	1429028	526312	90	PEBM	10	Doméstico y ganado	160	Poca protección del pozo
20	Mina Agua	Escuela Mina de Agua	1429614	525106	87	PEBM	5	Doméstico	120	Agua con mal sabor.
21	Mina Agua	Comunal	1430003	524393	81	M	-	Doméstico y ganado	200	Sin captación ni protección
22	Loma Linda	Adolfo Escorcía	1429003	524953	72	PEEM	8	Doméstico, 2 familias	80	Se seca en verano
23	Hda. Sta.	Miquel Escorcía	1428076	526096	94	PEBM	6	Ganado y doméstico	430	No se seca. En cauce de quebrada

24	Hda. Sta. Mirta	Miguel Escorcía	1428756	526119	84	M	-	Ganado y doméstico	430	Tiene captación. Sin protección
25	Rincón García	Santos Gutiérrez	1429012	524368	96	PEBM	4	Doméstico, 2 casas	80	No se seca en verano.
26	Rincón García	Centro de Salud	1429171	524157	60	PPBM	5	Doméstico	400	Perforado por ENACAL-COSUDE
27	Rincón García	Comunal	1429191	524187	66	PEBM	6	Doméstico limitado	50	Casi abandonado. Contaminado*
28	Rincón García	Triton Mining Co.	1429071	524120	68	Pz mina	-	Ninguno	-	Agua subterránea profunda*
29	Rincón García	Comunal	1429414	524036	66	PPBM	4	Doméstico	400	Perforado por ENACAL-COSUDE
30	Rincón García	Fátima López Blandón	1429380	523839	75	PEBM	10	Doméstico limitado	120	En invierno agua mala calidad.
3. Comunidad El Charco - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León										
31	El Charco	Comunal	1416636	566221	234	PPBM	8	Doméstico, 70 casas	1400	Perforado por ENACAL-COSUDE
32	El Charco	Comunal	1416428	566041	231	PPBM	8	Doméstico, 20 casas	400	Aterrado 150 pies. Se seca verano
33	Pajuil	Comunal	1417515	564730	294	PPBM	8	Doméstico, 9 casas	180	Perforado por ENACAL-COSUDE
34	El Limón	Comunal	1416925	567091	216	PEBM	6	Doméstico, 10 casas	200	No se seca en verano.
35	El Limón	Comunal	1416845	567246	213	PEBM	6	Abandonado	-	Mal olor agua: Raíces árboles
36	El Limón	Rogelio Rivera Martínez	1416882	566995	216	M	-	Doméstico, 1 casa	40	Sin captación. Expuesto contaminación
37	El Limón	Comunal	1416344	566452	204	M	-	Doméstico, 9 casas	360	Sin captación. Expuesto contaminación
4. Poblado de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.										
38	Urbano	Santos Rojas	1415188	568307	192	PEBM	30	Doméstico, 1 casa	100	Pozo protegido. No se seca en verano.
39	Urbano	Asociación Campesino	1414839	568340	196	PEBM	20	Doméstico, 1 casa	60	Para limpieza casa. Tomar: Agua potable
40	Urbano	Pedro Aguirre	1414744	568523	189	PEBM	15	Doméstico, 1 casa	60	Potable, regar plantas.
41	Urbano	Proy. Antonio Ibáñez	1415172	568585	171	PEBM	4	Doméstico limitado	240	Proy. habitacional tiene 2 pozos y sist. Agua
42	Urbano	Mariana Aguirre	1414970	568163	189	PEBM	8	Doméstico limitado	60	Para limpieza casa. Tomar: Agua potable
43	Urbano	Pablo Rivera	1415077	568277	170	PEEM	10	Doméstico limitado	20	Para limpieza casa. Tomar: Agua potable
44	Urbano	Centro de Salud	1415083	568269	171	PEBM	12	Doméstico limitado	60	Limpieza centro. Tomar: Agua potable
45	Buenos Aires	Victoria Chavarría	1413783	567867	162	PEEM	12	Doméstico, 3 casas	60	Mal sabor agua. Cerca yesera.

46	Linda Vista	Comunal	1413545	567793	180	PPBM	8	Doméstico, 10 casas	240	Mal sabor Cerca yesera. ENACAL - COSUDE
5. Comunidad La Cruz de la India - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.										
47	Urbano	Público	1409294	575538	405	PEEM	35	Lavar ropa, 12 casas	480	Sin protección. Se seca en verano
48	Urbano	Privado	1409296	575322	390	PEBM	10	Ganado	300	No se seca en verano
49	Urbano	Felipe González	1409427	575631	392	PEEM	50	Doméstico, 4 casas	80	Sin protección.
50	Urbano	Antonia Tórrez	1409310	575638	390	PEEM	20	Lavar ropa, 2 casas	80	Sin protección. Beneficio oro artesanal.
51	Rural	Filomeno García	1410746	577002	420	PEBM	40	Lavar ropa, 4 casas	160	No se seca. En cauce de quebrada.
52	Rural	Filomeno García	1410729	576941	426	PPBM	5	Doméstico y ganado	700	Con protección adecuada.
53	Rural	Pozo ENACAL	1410136	576303	411	PPBE	8	Población urbana		Sin cuidado ni protección adecuados
54	Rural	José León Vega	1409716	576344	414	PEBM	30	Ganado	600	Aeromotor, pilas y tanque almacenamiento
55	Rural	Daniel Toruño	1408476	575905	396	PEBM	25	Ganado	500	Sin protección. Pila concreto.
56	Rural	Reynaldo Mejía	1408723	575906	375	PEEM	20	Ganado y doméstico	560	Sin protección. Pila concreto.
57	El Bordo	Comunal	1407950	574618	420	PPBM	7	Doméstico, 17 casas	680	Perforado por ENACAL – COSUDE
58	El Bordo	Comunal	1407690	574655	432	PPBM	7	Doméstico, 20 casas	800	Perforado por ENACAL – COSUDE
59	El Bordo	Victoria Dávila	1407532	574876	426	PEEM	41	Doméstico, 3 casas	120	Sin protección.
6. Comunidad Las Pilas - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.										
60	Las Pilas	Comunal	1406311	573160	237	PPBM	7	Doméstico, 7 casas	140	Sólo para lavar. Contaminado.
61	Las Pilas	Comunal	1405763	572212	230	PEBM	7	Doméstico limitado	100	Sólo para lavar. Tomar utilizan MAG
62	El Ojochal	Comunal	1405264	572270	240	M		Doméstico, 26 casas	1040	<1
63		Santiago Flores	1406061	570567	186	PEEM	10	Doméstico limitado	80	Sólo para lavar. Tomar: pozo comunal
64		Comunal	1406131	570768	198	PPBM	5	Doméstico, 12 casas	480	Perforado por ENACAL – COSUDE
65		Francisco García	1407512	568147	147	PEEM	20	Doméstico y ganado	400	No se seca en verano.
66		Juan Orozco	1406365	570485	180	PEBM	10	Doméstico y ganado	400	Cerca quebarada. No se seca en verano.
67	El Cristalito	Comunal	1406937	574290	351	PPBM	8	Doméstico limitado	120	Utilizan sólo para lavar. Contaminado.
68	El Cristalito	Comunal	1406843	574445	375	PEBM	10	Doméstico, 30 casas	600	Eventualmente se seca en verano.
69	El Cristalito	Comunal	1406743	574524	398	PPBE	5	Doméstico, 25 casas	750	Sistema de agua con 3 puestos públicos

7. Comunidad Kinuma-Municipio de La Libertad- Departamento de Chontales.										
70	Kinuma	Comunal	1346695	698916	405	PPBM	4	Doméstico, 8 casas	320	Construido por ENACAL – UNICEF
71	Kinuma	Comunal	1346705	698980	410	PPBM	4	Ninguno	-	No lo utilizan por mal sabor del agua. ENACAL –UNICEF
72	La Dulzura	Enrique Lazo	1343949	698386	367	M	-	Doméstico, 1 casa	50	Existe pozo perforado, bomba destruida.
73	La Curva	Comunal	1342653	698609	381	PPBM	4	Doméstico limitado	50	No usan en invierno por mal sabor.
74	La Curva	Comunal	1341878	698364	369	M		Doméstico, 7 casas	120	Sin captación. Seca en verano.
75	Las Puertas	Comunal	1341959	699555	345	PPBM	8	Doméstico, 30 casas	600	Perforado por ENACAL – UNICEF
76	Las Puertas	Comunal	1342120	698952	381	PEEM	21	Doméstico, 7 casas	180	Sin protección.

Número Muestra	Fecha Inventario	Tipo de punto de agua	Profundidad total (m)	Nivel Estático del Agua (m)	Parámetros físicos de campo		pH	Eh (mV)	Arsénico (ug/L)			Plomo Total (ug/l)
					T (oC)	CE (uS/cm)			AsTotal	AsIII	AsV	
1. Comunidad de El Mojón - Municipio de San Francisco del Norte - Departamento de Chinandega.												
1	12/11/03	PEEM	6.49	2.47	28.2	1126	6.9	300	2.40	1.00	1.40	<1
2	12/11/03	PEBM	9.77	5.90	28.1	420	7.1	280	2.00	0.50	1.50	<1
3	12/11/03	M	-	-	27.2	415	6.5	119	1.10	1.00	0.10	<1
4	12/11/03	PEEM	5.85	2.27	28.4	318	6.7	201	2.30	0.50	1.80	<1
5	12/11/03	PEBM	6.92	0.75	29.2	691	6.8	236	1.60	0.50	1.10	<1
6	12/11/03	PEBM	7.18	0.41	28.9	502	6.6	184	1.70	0.40	1.30	<1
7	12/11/03	PPBM	45.73	1.50	30.6	732	7.0	42	1.00	0.80	0.20	<1
8	12/11/03	PEBM	6.67	1.40	29.2	466	6.6	280	0.40	<0.1	0.40	<1
9	12/11/03	PEBM	8.75	4.75	28.8	257	7.0	309	0.40	<0.1	0.40	<1
10	12/11/03	M	-	-	29.3	453	6.9	326	2.60	0.70	1.90	<1
2. Comunidad Cerro Mina de Agua - Municipio de Villanueva - Departamento de Chinandega.												
11	13/11/03	PPBM	73.17	18.29	30.3	459	7.2	195	12.50	1.60	10.90	<1
12	13/11/03	PEBM	8.85	4.00	27.9	169	6.5	225	3.80	1.00	2.80	<1
13	13/11/03	PEEM	6.70	1.22	28.6	471	6.8	185	5.00	1.60	3.40	<1
14	13/11/03	PEBM	6.93	0.00	29.9	294	6.7	220	1.10	<0.1	1.10	<1
15	13/11/03	PEBM	9.35	3.62	28.6	287	7.1	205	1.70	0.10	1.60	<1
16	13/11/03	PEEM	13.45	0.55	28.8	328	7.1	222	3.60	0.20	3.40	<1
17	13/11/03	PEBM	14.05	9.05	29.8	551	7.0	185	1.40	0.10	1.30	<1
18	13/11/03	PEEM	11.20	6.60	29.0	570	6.8	250	1.80	<0.1	1.80	<1
19	13/11/03	PEBM	11.70	5.57	30.0	463	7.0	280	0.70	<0.1	0.70	<1
20	13/11/03	PEBM	14.26	6.70	30.1	156	7.2	242	1.50	<0.1	1.50	<1
21	13/11/03	M	-	-	30.0	407	7.0	77	2.50	0.90	1.60	<1
22	13/11/03	PEEM	11.45	6.40	30.6	417	7.1	225	2.30	<0.1	2.30	<1

23	13/11/03	PEBM	6.10	0.46	29.6	391	7.3	204	4.30	0.70	3.60	<1
24	13/11/03	M	-	-	29.5	477	7.3	260	3.10	0.60	2.50	<1
25	14/11/03	PEBM	10.50	4.70	29.6	279	6.2	283	2.10	0.10	2.00	<1
26	14/11/03	PPBM	73.17	5.49	30	493	6.6	307	0.60	0.10	0.50	<1
27	14/11/03	PEBM	8.65	5.35	29.1	614	6.8	315	3.00	0.30	2.70	<1
28	14/11/03	Pz mina	-	12.6	27.5	297	7.0	288	4.10	1.90	2.20	<1
29	14/11/03	PPBM	73.17	9.15	31.2	501	6.7	331	3.70	0.70	3.00	<1
30	14/11/03	PEBM	8.60	1.28	29.7	259	7.2	242	0.70	<0.1	0.70	<1
3. Comunidad El Charco - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León												
31	16/11/03	PPBM	73.17	36.59	32.2	389.0	6.2	260.0	12.50	1.50	11.00	<1
32	16/11/03	PPBM	73.17	30.49	30.3	275.0	6.5	258.0	6.80	1.10	5.70	<1
33	16/11/03	PPBM	73.17	24.39	30.0	580.0	6.7	187.0	8.50	1.30	7.20	6.2
34	16/11/03	PEBM	14.25	9.06	30.0	348.0	6.9	230.0	13.40	1.70	11.70	<1
35	16/11/03	PEBM	10.36	8.22	29.9	246.0	6.7	159.0	10.50	1.70	8.80	<1
36	16/11/03	M	-	-	30.1	274.0	6.8	135.0	12.60	3.80	8.80	<1
37	16/11/03	M	-	-	31.4	130.0	6.6	171.0	13.60	1.70	11.90	<1
4. Poblado de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.												
38	19/11/03	PEBM	9.05	5.65	30.9	480	6.6	208	45.70	3.50	42.20	<1
39	19/11/03	PEBM	13.72	7.32	30.0	764	7.2	40	5.10	1.40	3.70	<1
40	19/11/03	PEBM	11.89	6.40	30.6	989	7.0	143	3.20	0.90	2.30	<1
41	19/11/03	PEBM	13.72	5.49	30.5	760	7.0	47	8.80	1.10	1.70	<1
42	19/11/03	PEBM	9.35	3.51	29.8	680	6.7	188	6.30	1.30	5.00	<1
43	19/11/03	PEEM	13.72	7.32	29.1	1110	6.9	242	4.60	1.80	2.80	<1
44	19/11/03	PEBM	14.63	8.54	31.5	1084	7.1	111	15.60	3.00	12.60	<1
45	19/11/03	PEEM	7.80	5.60	29.0	2500	7.2	133	95.00	8.80	86.20	<1
46	19/11/03	PPBM	60.98	13.72	30.7	734	7.8	159	52.80	47.80	5.00	<1
5. Comunidad La Cruz de la India - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.												
47	17/11/03	PEEM	9.37	2.55	27.2	828	6.7	179	90.20	6.20	84	<1

48	17/11/03	PEBM	14.70	5.20	27.2	298	7.3	108	6.00	1.10	4.9	<1
49	17/11/03	PEEM	13.80	8.50	28.5	537	7.2	130	5.50	1.00	4.5	<1
50	17/11/03	PEEM	16.5	10.06	28.9	888	7.1	157	21.00	2.60	18.4	<1
51	17/11/03	PEBM	8.44	4.90	27.4	873	7.3	110	10.20	3.30	6.9	<1
52	17/11/03	PPBM	45.73	9.15	28.7	540	7.2	142	8.80	1.30	7.5	<1
53	17/11/03	PPBE	73.17	24.39	29.1	631	7.1	185	14.00	1.80	12.2	<1
54	17/11/03	PEBM	18.29	10.98	28.3	565	8.0	109	14.80	2.60	12.2	<1
55	17/11/03	PEBM	5.97	2.60	26.6	901	7.3	108	27.00	5.00	22	<1
56	17/11/03	PEEM	18.60	5.43	28.2	863	7.5	153	12.70	3.50	9.2	<1
57	17/11/03	PPBM	79.27	24.39	29.5	395	7.1	142	2.70	1.40	1.3	<1
58	17/11/03	PPBM	73.17	22.87	31.6	426	7.3	126	1.30	1.10	0.2	<1
59	17/11/03	PEEM	11.12	7.48	28.5	526	7.2	157	1.30	1.30	<0.1	<1
6. Comunidad Las Pilas - Municipio de Santa Rosa del Peñón - Departamento de León.												
60	17/11/03	PPBM	60.98	27.44	31.4	1644	7.2	59	3.60	2.70	0.90	1
61	17/11/03	PEBM	15.83	7.97	30.0	329	7.4	157	4.00	0.60	3.40	<1
62	17/11/04	M	0	0	29.8	504	7.4	205	0.80	<0.1	0.80	<1
63	17/11/03	PEEM	8.80	3	28.1	976	7.5	88	8.60	1.10	7.50	<1
64	17/11/03	PPBM	60.98	6.10	30.2	932	7.3	134	2.10	0.20	1.90	<1
65	17/11/03	PEEM	17.24	14.85	30.8	593	7.2	216	3.00	0.20	2.80	<1
66	17/11/03	PEBM	15.55	6.40	30.0	490	7.3	115	2.00	0.30	1.70	<1
67	17/11/03	PPBM	60.98	24.39024	31.4	1066	6.9	177	1.80	0.60	1.20	<1
68	17/11/03	PEBM	13.7195122	9.15	30.0	554	7.3	132	0.80	0.30	0.50	<1
69	17/11/03	PPBE	60.98	18.29	31.4	340	7.3	223	0.50	<0.1	0.50	<1
7. Comunidad Kinuma- Municipio de La Libertad-Departamento de Chontales.												
70	20/11/03	PPBM	45.73	7.62	26.6	558	6.9	127	106.70	56.40	50.30	<1
71	20/11/03	PPBM	45.73	10.67	26.7	1000	7.3	188	56.00	54.40	1.50	<1
72	20/11/03	M	-	-	25.3	34	7.5	101	3.10	1.00	2.10	<1
73	20/11/03	PPBM	54.88	6.10	27.5	239	6.8	89	12.10	3.50	8.60	2.5
74	20/11/03	M	-	-	28.7	43	7.2	101	1.70	0.30	1.40	<1

75	20/11/03	PPBM	60.98	10.67	27.4	328	7.0	105	41.50	3.30	38.20	<1
76	20/11/03	PEEM	6.48	0.60	26.9	506	7.1	161	10.40	1.20	9.20	<1

XI.2. ANEXO 2: Tablas de correlaciones por zona de estudio

El Mojón

N=10	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.30	1.00					
Temperatura	-0.20	0.17	1.00				
pH	0.17	0.17	0.34	1.00			
Eh	0.24	-0.06	-0.21	0.27	1.00		
Profundidad	-0.29	0.27	0.72	0.43	-0.64	1.00	
Altitud del nivel del agua	0.38	0.19	-0.74	-0.21	-0.01	-0.40	1.00

Cerro Mina de Agua

N=19 *	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.14	1.00					
Temperatura	0.03	0.23	1.00				
pH	0.20	0.03	0.16	1.00			
Eh	-0.22	0.19	0.18	-0.35	1.00		
Profundidad	0.42	0.26	0.51	-0.16	0.38	1.00	
Altitud del nivel del agua	-0.16	-0.40	-0.53	0.07	-0.43	-0.70	1.00

* Los datos sobre el pozo de Triton Mining no fueron tomados en cuenta porque se desconoce la profundidad del pozo

El Charco y Santa Rosa del Peñón

N=16	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.67	1.00					
Temperatura	-0.20	-0.45	1.00				
pH	0.42	0.48	-0.30	1.00			
Eh	-0.06	-0.29	0.08	-0.55	1.00		
Profundidad	-0.06	-0.20	0.28	-0.15	0.45	1.00	
Altitud del nivel del agua	-0.39	-0.56	0.04	-0.48	0.26	0.36	1.00

Cruz de La India

N=13	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.50	1.00					
Temperatura	-0.44	-0.45	1.00				
pH	-0.50	-0.12	0.03	1.00			
Eh	0.41	0.20	0.19	-0.61	1.00		
Profundidad	-0.33	-0.49	0.78	-0.12	0.27	1.00	
Altitud del nivel del agua	-0.02	-0.19	0.13	-0.03	-0.15	0.07	1.00

Las Pilas

N=10	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.35	1.00					
Temperatura	-0.64	0.18	1.00				
pH	0.39	-0.37	-0.76	1.00			
Eh	-0.54	-0.66	0.33	-0.18	1.00		
Profundidad	-0.25	0.50	0.71	-0.60	-0.05	1.00	
Altitud del nivel del agua	-0.53	-0.19	0.36	-0.27	0.29	0.32	1.00

Kinuma

N=7	As Total	Conductividad	Temperatura	pH	Eh	Profundidad	Altitud del nivel del agua
As Total	1.00						
Conductividad	0.61	1.00					
Temperatura	-0.18	-0.16	1.00				
pH	-0.36	-0.08	-0.45	1.00			
Eh	0.33	0.89	-0.22	0.25	1.00		
Profundidad	0.58	0.45	0.10	0.02	0.02	1.00	
Altitud del nivel del agua	0.43	0.60	-0.22	0.02	0.61	-0.07	1.00