

CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS EN SAN MIGUEL DE ALLENDE

Fase I: Resultados y Conclusiones

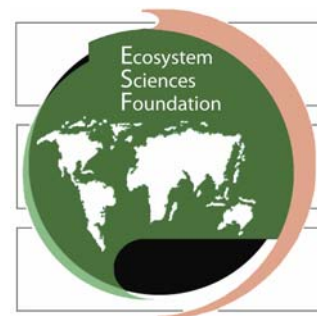
Proyecto para:



**DIRECCIÓN
DE MEDIO AMBIENTE
Y ECOLOGÍA**



Elaborado por:



Ecosystem Sciences Foundation
280 N 8th St., Ste. 208
Boise, Idaho 83702
ecosystemsciences.com

Marzo de 2006

Mensaje del Director

Ecosystem Sciences Foundation (ESF) es una organización internacional no lucrativa, no gubernamental, dedicada a mejorar la vida de las personas, rehabilitando y mejorando el manejo de los recursos naturales. El agua es el principal recurso y su calidad es lo más importante para la salud humana. Ya que la amenaza de contaminación de fluoruro, arsénico y bacterias coliforme en los pozos del Municipio de San Miguel de Allende, ESF, la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, la Dirección de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial y el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de San Miguel de Allende (SAPASMA), establecieron un equipo de colaboración para hacer pruebas en los pozos y determinar las comunidades que tienen más riesgo tener agua potable contaminada. La siguiente fase, será iniciada por el equipo mexicano de la organización Ciencias del Ecosistema A. C., y demostrarán alternativas con poca tecnología, de fuentes de agua potable para comunidades de alto riesgo. ESF apoyó con el entrenamiento de personal de la Dirección de Medio Ambiente y Ecología, de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial y de SAPASMA. La Sociedad Audubón de México, A. C., facilitó generosamente el uso de la incubadora de su laboratorio, usada para la prueba de coliform. Después, ESF, compiló y analizó los datos, usando tecnología Sistema de Información de Geografía (GIS). El proyecto de pruebas de agua representa una significativa contribución monetaria de ESF así como de contribuciones sustanciales de recursos y tiempo por el Municipio de San Miguel de Allende. ESF está orgulloso de haber desarrollado una buena colaboración con el Municipio para un proyecto de importancia fundamental para la gente de San Miguel de Allende. Por favor, visite nuestra página de Internet www.ecosystemsciences.com para saber más acerca de lo que hace Ecosystem Sciences Foundation y por favor, considere contribuir con nuestros esfuerzos.

Mark Hill
Director de la Fundación

Síntesis

Los pozos del área de las comunidades rurales del municipio de San Miguel de Allende, fueron examinados durante septiembre de 2005 y febrero de 2006, para detectar contaminación de arsénico, fluoruro y bacteria coliforme. Otros parámetros de calidad tales como pH, dureza, alcalinidad también fueron examinados. De las 101 muestras de agua analizadas, 20 excedieron los límites permitidos según estándares del gobierno mexicano para agua potable, para los niveles del fluoruro. 69 muestras dieron positivo para coliforme; no se detectó ningún coliforme fecal. Los niveles de arsénico de todos los sitios muestreados estaban debajo de los estándares de agua potable del gobierno mexicanos y no plantean un riesgo para la salud. Más de cien mil personas residen en las áreas rurales, donde la prueba fue conducida y todas dependen del agua subterránea para agua potable. Ya que la fuente de agua subterránea en esta región disminuye considerablemente, las concentraciones de contaminantes aumentan, poniendo a los usuarios en el mayor riesgo de sufrir efectos en su salud. Los efectos de salud adversos, como resultado de la exposición a las concentraciones excesivas del fluoruro y a las bacterias del coliforme, están bien documentados. Este estudio empleó la prueba de la calidad del agua y análisis de GIS para identificar las comunidades rurales con riesgos más altos de exposición de contaminantes, por lo que las estrategias en el tratamiento pueden ser priorizadas e implementadas para reducir riesgos. Las opciones de tratamiento incluyen educación e instrucción para identificar fuentes de contaminación (para el coliforme), suministrando agua acarreada e implementando sistemas de acopio de agua de lluvia en áreas con más altas concentraciones de fluoruro. Tales estrategias serán empleadas durante las fases subsecuentes del proyecto.

Introducción

Ecosystem Sciences Foundation, en conjunto con Ciencias del Ecosistema A. C., Medio Ambiente y Ecología del Gobierno Municipal de San Miguel de Allende y SAPASMA, reunieron y analizaron muestras de agua subterránea en las comunidades de nuestro municipio a partir de agosto de 2005 a febrero de 2006. 120 fuentes de agua potable rurales (ver Figura 1), fueron seleccionados para muestreos y determinar contaminantes de fluoruro, arsénico y bacterias coliforme; también fueron evaluados otros parámetros para determinar la calidad del agua, tales como PH, alcalinidad y dureza. También fueron reunidos otros datos pertinentes con respecto a profundidad, sistemas de distribución y almacenamiento de agua. Con estos datos, Ciencias del Ecosistema A. C. y el Gobierno Municipal proveerán información necesaria para conducir la siguiente fase del proyecto. Esta próxima fase requiere proporcionar a las comunidades que tienen problemas de contaminación de fluoruro, fuentes alternativas de agua potable par reducir riesgos de salud por la contaminación.

Más de cien mil personas residen en las áreas rurales, donde fue conducida la prueba y todas dependen del agua subterránea para uso potable. Los efectos de salud resultantes de la exposición a concentraciones excesivas de fluoruro y bacteria coliforme están bien documentados (WHO 2006, Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos [EPA] 2003, Conté 2001, Kennedy 2001). En México, trece millones de habitantes no tienen acceso a agua potable segura.

Los resultados de la calidad del agua indican la presencia del coliforme en casi tres cuartos de las muestras y altas concentraciones del fluoruro en el aproximadamente 20% de las mismas; los niveles arsénicos están debajo de los estándares de salud del gobierno mexicano. Los resultados de la calidad del agua fueron incorporados en GIS y señalados en mapas para demostrar niveles de concentración (presencia o ausencia en el caso de coliforme) en cada sitio (véase las figuras 6 - 11). Los sistemas de pozos en las categorías de medio a alto riesgo para los niveles del fluoruro serán reexaminados y después serán prioritarios para el tratamiento durante la fase II de este proyecto. Los sitios que demuestran presencia del coliforme también serán muestreados nuevamente y las comunidades recibirán entrenamiento para identificar fuentes de contaminación y prevenir contaminación futura; los materiales de distribución de agua también se pueden proporcionar, dependiendo de la disponibilidad de financiamiento.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE Phase I Results and Conclusions

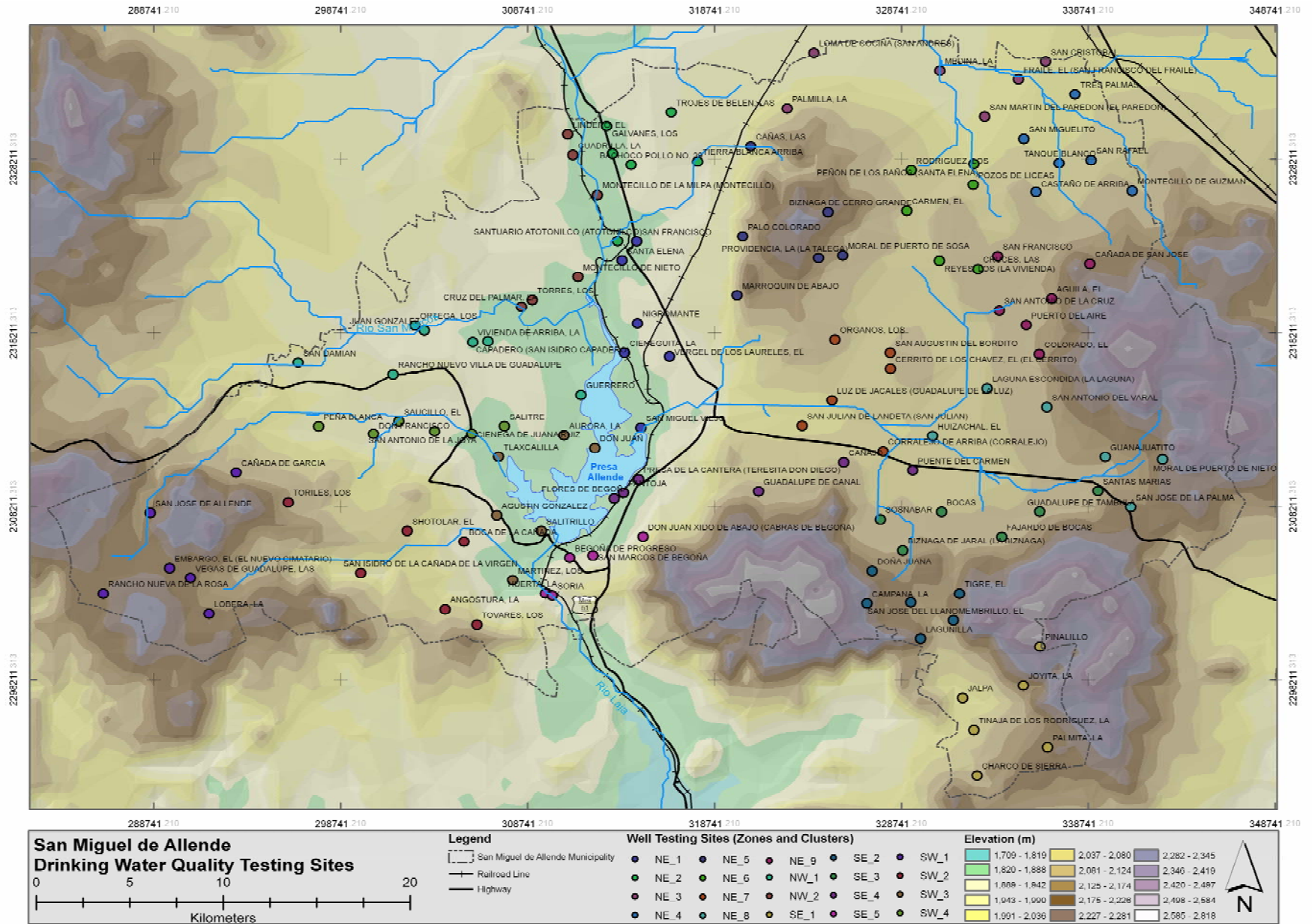


Figura 1. Localización de las muestras originales (ESF 2005).

Contexto

La población y la economía de las comunidades del municipio de San Miguel de Allende, México, depende del agua subterránea para las necesidades de riego y para beber. El Acuífero de la Independencia que es la base de este municipio y de gran parte del estado de Guanajuato, suministra el agua subterránea para estos propósitos. La investigación reciente sugiere que el índice del agotamiento de este acuífero está aumentando y no es sostenible al igual que los informes de la calidad de agua del acuífero los cuales no reúnen estándares aceptables de agua potable en donde se localiza particularmente el acuífero (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002).

Mientras que es necesaria la alta calidad de agua potable para los seres humanos, cada sociedad tiene su propia cultura con estándares definidos de tolerabilidad. Las técnicas particulares para obtener agua potable tratada, pueden ser aceptadas para una sociedad, pero no para otras. De la misma manera, la utilización de un recurso es enfocado de modo diferente por distintas culturas. En el caso de implementar estrategias para ejecutar, adquirir, proteger y/o restaurar la calidad del agua potable, éstas deben ser sensibles a las sociedades sujetas. Este proyecto intenta investigar las dimensiones científicas y clínicas de agua potable al mismo tiempo que investiga y examina el impacto de la cultura. Por esta razón, es importante la participación conjunta de los Departamentos del Gobierno Municipal de San Miguel de Allende.

Acuífero de la Independencia

La Cuenca Independencia es un área de aproximadamente 7,000 kilómetros cuadrados de los cuales, forma parte el Municipio de San Miguel de Allende en el centro de México. El agua subterránea es la fuente de agua principal para la agricultura (85% de su uso), uso urbano e industrial (15% de uso combinado) de la cuenca (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002). Los recursos del agua subterránea en la Cuenca Independencia son parte del Acuífero de la Independencia, una gran reserva de agua inmemorial. Investigaciones recientes sugieren que el índice de agotamiento de este acuífero está en aumento y no es sostenible (Ortega-Guerrero 2004). Ya que el agua subterránea que bombea (extraída) ha excedido la recarga por muchos años, el acuífero está disminuyendo (Castellanos *et. al.* 2002). Los estudios también demuestran que la calidad del agua subterránea en el acuífero no llega a los estándares aceptables del agua potable en algunas localidades, en específico por el resultado de altas concentraciones de arsénico (Ortega- Guerrero *et. al.* 2002, Ortega- Guerrero 2004). Las sales y metales disueltos, existen por naturaleza en el agua subterránea. Sin embargo, como la cantidad de agua en el acuífero disminuye, la concentración de sales y minerales aumenta. Las concentraciones excesivas de éstas sales y metales puede tener efectos adversos en la salud y ya se han documentado en el área de San Luis de la Paz (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002) y el área de San Luis Potosí (Deogracias 2006).

La probabilidad de que cualquier pozo individual distribuya agua de poca calidad, está aumentando, mientras, el Acuífero de la Independencia bombea mas agua. La práctica de ineficaz irrigación, sobre pasteo, deforestación, erosión del suelo y el aumento de la población dentro de la cuenca, contribuye al agotamiento de este esencial recurso natural. Sin prácticas de manejo apropiadas en la cuenca y en el acuífero, la calidad del agua continuará disminuyendo junto con la cantidad de agua disponible para el uso humano (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002).

Agua Potable

Se sabe que el contacto de agua potable con excesivas cantidades de arsénico, un mineral que se produce naturalmente, causa cáncer de piel, de pulmones, de las vías urinarias y de riñón, al igual que provoca otros cambios en la piel tales como pigmentación y piel gruesa (hiperkeratosis) (WHO 2005a). Las concentraciones de arsénico examinadas en algunas áreas de la Cuenca Independencia, han excedido el Nivel Máximo de Contaminante de arsénico sugerido por el Departamento Mexicano de Salud y la Organización Mundial de la Salud (WHO) (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002, Ortega- Guerrero 2004, WHO 2005a).

Se sabe que cantidades excesivas de fluoruro causan enfermedades en los huesos y abigarramiento en dientes de los niños (Agencia de Protección del Medio Ambiente en los Estados Unidos 2003). También es sabido que existen concentraciones de fluoruro en el Acuífero de la Independencia, arriba del Nivel Máximo de Contaminante (Ortega-Guerrero *et. al.* 2002, Ortega-Guerrero 2004, WHO 2005a).

El Coliforme es una familia de bacterias. Los *Escherichia coli* de las bacterias coliforme (conocida comúnmente como *E. Coli*) vienen de las heces de mamíferos y se sabe que causan disentería en los seres humanos. La investigación de coliforme revela información referente a la contaminación potencial de fuentes de agua y sistema de abastecimiento.

La alcalinidad, pH y dureza del agua pueden afectar la calidad del agua para el consumo humano y el uso agrícola. Cuando se encuentra en ciertas concentraciones y combinaciones, la alcalinidad, pH y dureza, pueden incrementar las incidencias de enfermedades cardíacas y otras dolencias (WHO 2005b). Las crecientes concentraciones de sodio, alcalinidad y pH en el agua subterránea del Acuífero de la Independencia en las últimas dos décadas, han afectado la fertilidad de la tierra y por lo tanto, su productividad (Ortega- Guerrero *et. al.* 2002).

Para hacer frente a estos temas de la calidad del agua, Ciencias del Ecosistema, A. C., Medio Ambiente y Ecología del Gobierno Municipal de San Miguel de Allende y SAPASMA, participaron en conjunto para investigar la calidad del agua potable en comunidades rurales dentro del Municipio de San Miguel de Allende. Este documento presenta los resultados iniciales de la primera etapa (fase I) de este esfuerzo en común de investigar y mejorar la calidad del agua potable para los habitantes de las comunidades del Municipio de San Miguel de Allende.

Objetivo

El propósito de este proyecto a nivel de reconocimiento de pruebas de calidad del agua, es identificar las comunidades del Municipio de San Miguel de Allende que tienen más alto riesgo de contacto con diversos contaminantes del agua subterránea. Fueron establecidas categorías de riesgo para diversos contaminantes y los resultados se presentan en mapas para dar prioridad al tratamiento a la siguiente fase del proyecto, el cual implica proporcionar alternativas a corto y a largo plazo de fuentes de agua, para reducir los riesgos de salud provenientes del agua subterránea contaminada.

Tabla 1. Registro de 10 pozos del área urbana de San Miguel de Allende, examinados en Febrero de 2006, con su código de identificación.

ID	SAPASMA Nombre del Pozo
134	Pozo No. 6, Guadalupe
135	Pozo No. 11, Mexiquito II
136	Pozo San Luis Rey II
137	Pozo No. 3, San Antonio I
138	Pozo No. 4, Villa de los Frailes
139	Pozo No. 13, La Lejona
140	Pozo 7 Insurgentes I
141	Pozo Landeta II
142	Pozo La Luz
143	Pozo de Tirado

Métodos

La lista original de las 120 fuentes de agua potable rurales de las comunidades, fue modificada durante el transcurso del proyecto, basado en apremios logísticos y la adquisición de nueva

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

información, tal como múltiples comunidades que compartían un mismo pozo. Al final, 101 fuentes de agua potable rurales dentro del Municipio de San Miguel de Allende, fueron muestreados y analizados (véase Tabla 2). Finalmente, diez pozos urbanos de la ciudad de San Miguel de Allende fueron muestreados y analizados (véase Tabla 1). Debido a la desigualdad de necesidades tanto del sistema de pozos y técnicas de tratamiento existentes, en este documento las bases de datos rural y urbana, se muestran por separado.

Tabla 2. Registro de las 101 fuentes de agua potable rurales examinados en el Municipio de San Miguel de Allende.

ID	Sitio de la prueba; Comunidad	ID	Sitio de la prueba; Comunidad
1	La Cieneguita	72	Pinalillo
2	San Francisco	73	Tinaja de los Rodríguez
3	San Miguel Viejo	74	La Campana
4	Vergel de los Laureles	75	Doña Juana
5	Fraccionamiento El Nigromante	77	El Membrillo
6	Santa Elena de la Cruz	81	Bocas
7	Galvanes	82	Fajardo de Bocas
8	Trojes de Belén	83	Guadalupe de Tábula
9	San Martín de la Petaca	85	Santas Marías
10	Bachoco Pollo No. 34	86	Cañajo
11	Tierra Blanca de Arriba	88	Guadalupe de Canal
12	Santuario de Atotonilco	90	Puente del Carmen
14	Loma de Cocina (San Andrés)	93	Don Juan Xidó de Abajo (Cabras de Begoña)
15	La Medina	94	La Huerta
16	La Palmilla	95	San Marcos de Begoña
18	San Martín del Paredón	97	Cañada de García
21	San Miguelito	98	La Lobera
24	Tres Palmas	99	San José de Allende
25	Biznaga del Cerro Grande	100	El Embargo (Nuevo Cimatario)
26	Las Cañas	101	Las Vegas de Guadalupe
27	Marroquin de Abajo	102	Rancho Nuevo de la Rosa
28	Moral de Puerto de Sosa	103	La Angostura
29	Palo Colorado	104	Boca de la Cañada
30	La Talega	105	San Isidro de la Cañada
31	El Carmen	106	Xotolar
32	Peñón de los Baños	107	Los Toriles
34	Los Reyes (La Vivienda)	108	Los Tovares
35	Los Rodríguez	109	Agustín González
36	Las Cruces	110	Don Juan
38	Corralejo de Arriba	111	Los Martínez
41	San Julián de Landeta	112	Tlaxcalilla
42	San Agustín del Bordito	113	La Aurora
44	El Huizachal	114	Salitrillo
45	Laguna Escondida	115	Ciénega de Juana Ruiz
46	Moral de Puerto de Nieto	116	Don Francisco
47	San Antonio del Varal	117	Peña Blanca
48	San José de la Palma	118	Salitre
53	Cañada de San José	119	San Antonio de la Joya
55	San Isidro Capadero	121	La Palma
56	Guerrero	122	San José de Gracia
57	Juan González	123	Elvira
58	San Damián	124	Corral de piedras de Arriba
60	Rancho Nuevo Villa de Guadalupe	125	La Calera

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

62	Cruz del Palmar		126	Puerto de Nieto
63	La Cuadrilla		127	San José de la Amistad
64	El Lindero		128	Don Diego
65	Montecillo de la Milpa (Montecillo)		129	Estancia de San Antonio
66	Montecillo de Nieto		130	Castaño de Abajo
67	Los Torres		131	Tierra Blanca de Abajo
69	Jalpa		133	Loma de Magueyes
70	La Joyita			

Recopilación de Muestras y de Datos

Ciento un sistemas de agua potable rurales fueron examinados de septiembre de 2005 a febrero de 2006 (véase la Tabla 2). En general, dos técnicos de campo recopilaban tres muestras diariamente, tres veces por semana. Los trabajos en el campo eran dobles: descripción de la fuente de agua y de la comunidad, recolección y adquisición de la muestra. Primero, los técnicos de campo se reunían con el delegado y/o representante elegido y designaban a la persona de contacto con el gobierno para cada comunidad. Los técnicos solicitaban al Delegado, información elemental sobre la fuente de agua potable de la comunidad y llenaban el formulario de campo de dos páginas (Apéndice A) en cada sitio. La información detallada incluía el sistema de abastecimiento de agua, profundidad del pozo, tipo de sistema de distribución, datos sobre la comunidad, nombre de la persona de contacto, ubicación en GPS e información del sistema del pozo y descripción y existencia de método de tratamiento usado. En caso de que el Delegado no estuviera disponible en ese momento, los técnicos se dirigían a la escuela del lugar o entrevistaban a maestros de escuela par recopilar la información del pozo y de la comunidad. Fueron tomadas una o más de una fotografía digitales de pozo, con los nombres de los sitios respectivos. Las muestras fueron recogidas lo mas cerca del pozo como fue posible y el riesgo de contaminación fue reducido a mínimo, utilizando estrategias estándar de recolección de las muestras. Éstas, fueron mantenidas en botellas de polietileno limpias y bolsas de “Whirl-Pak” etiquetadas en una hielera con hielo para transportarlas al laboratorio.

Análisis de las Muestras en el Laboratorio

Las concentraciones de fluoruro fueron medidas colorimetricamente usando el método 4500-F de SPANDS AccuVac (APHS 1998a). Los niveles de arsénico fueron probados usando el Sistema de Equipo de prueba de Arsénico Reactivo (HACH 2000), y las muestras de coliforme experimentaron el Método Púrpura de Acidez de Presencia /Ausencia con MUG (APHS 1998b, HACH 2005b). Otros parámetros de calidad de agua como cloro total, cloro libre, dureza total, alcalinidad total y pH fueron evaluados usando las tiras de prueba AquaCheck 5 en 1 (HACH 2005a).

Debido a la longitud y detalles implicados en cada proceso de laboratorio, los protocolos específicos a cada parámetro y tarea se proporcionan en el Apéndice B. Las reglas fueron proporcionadas en inglés y español.

Transferencia y Análisis de Datos

Las hojas de datos fueron completadas a mano por los técnicos y entregadas al personal de la oficina del proyecto (situada en San Miguel de Allende) para registrarlos en una forma preparada con anticipación en Programa Adobe Acrobat. La forma fue configurada para enviar los datos en forma digital vía e-mail al personal del proyecto de los Estados Unidos en Boise, Idaho. El respaldo de las copias de las formas con los datos, según lo enterado por el personal, fue impreso y archivado en la oficina de San Miguel de Allende. Los datos digitales fueron señalados para referencia y archivados en una computadora de respaldo en la oficina de Boise hasta el término del proceso de muestreo.

Los datos de campo y de laboratorio fueron analizados por separado de varias maneras para identificar patrones en las características de la calidad del agua de los pozos. Fueron realizadas estadísticas simples, no paramétricas, con todas las medidas de calidad y características de los pozos para aproximar la diferenciación en cada serie de datos. Al final, se realizaron análisis y resumen de los datos cualitativos de la información de campo.

Aunque potencialmente mas allá del alcance de esta investigación de nivel de reconocimiento, fue realizada una evaluación estadística mas rigurosa (categorizada) en todos los parámetros de calidad del agua con la colección de las muestras y variación del ambiente. La categorización permite que los investigadores identifiquen patrones en los resultados, que se pueden ligar a variables y/o técnicas de muestreo ambientales. Los resultados de este trabajo podrían ayudar a orientar futuros esfuerzos con respecto a la selección de los sitios, diseño del proyecto y técnicas de muestreo.

Creación del Sistema para Agrupación de los Parámetros en Mapas

El sistema que representa la gama de niveles de agentes contaminantes en la calidad del agua a través del Municipio de San Miguel de Allende, fue creado en ArcGIS 9.1, usando la Extensión Espacial de Analista (ver figuras 6, 7, 9, 10 y 11). El sistema fue creado para las variables siguientes: Alcalinidad, Arsénico, Dureza, Fluoruro y pH. No fue creado un sistema parecido para coliforme ya que los resultados fueron categorizados en dos grupos: presencia y ausencia.

El sistema de agrupación fue interpolado usando la función de Distancia Cargada Inversa (IDW) en Analista Espacial. IDW es una técnica de sistema de interpolación que funciona bajo la hipótesis de que los puntos cerca de otros son más similares que aquellos que están más alejados. Para predecir un valor para cualquier localidad que no está medida, la IDW usa valores medidos aproximándose al lugar que no es evaluado. Esos valores medidos más cercanos a los lugares no medidos, tendrán mas influencia en los valores pronosticados a diferencia de aquellos que están mas lejos. Para cada agrupación de agentes contaminantes en la calidad de agua, las localidades que no fueron medidas, fueron calculadas usando las 6 medidas localizables más cercanas. Así, el IDW asume que cada punto medido tiene predominio local que disminuye con la distancia. El método destaca los puntos mas cercanos a la localidad que no fue medida, mejor que aquella mas alejada, es por eso se llama Distancia Cargada Inversa (ESRI 2006).

La latitud y longitud de cada sitio de la muestra fue reunido usando un receptor GPS. Estos datos coordinados fueron utilizados como la localización geográfica específica dentro del Municipio de San Miguel de Allende para cada punto de calidad de agua y agentes contaminadores. Fueron usados ciento un puntos de muestras de calidad de agua, como datos para interpolar en cada sistema.

La función de la creación del sistema de Analista Espacial ESRI's, produce un sistema de agrupación en el cual un grado aéreo es igual a un rectángulo que abarca los datos interpolados. Este sistema de agrupación producido, es más grande que el área del proyecto y pierde exactitud en las orillas. Consecuentemente, el sistema de agrupación final fue cortado, usando la figura del municipio de San Miguel de Allende para reflejar el área del proyecto actual y asegurar resultados correctos.

Resultados

La lista original de los 120 sitios fue corregida durante el curso del proyecto, a menudo porque más de una comunidad compartía el mismo pozo, que es su fuente de agua potable. Un total de ciento once muestras fueron llevadas y analizadas durante el transcurso del estudio, de septiembre

de 2005 hasta febrero del 2006. Diez de las muestras fueron tomadas de pozos urbanos de San Miguel de Allende (véase la tabla 1), mientras que 101 muestras fueron tomadas de sitios rurales (véase la tabla 2). Puesto que los pozos urbanos se tratan con cloro y son supervisados con frecuencia por SAPASMA (Agencia municipal responsable del abastecimiento y del saneamiento del agua), estas diez muestras se analizan aparte del resto y los resultados se presentan por separado de las muestras rurales.

Los resultados se presentan en dos secciones: la primera, resume los datos recogidos durante el proceso de muestre y son acerca del pozo, la fuente de agua, el sistema de almacenaje y distribución; la última sección presenta y resume los resultados de los datos de la calidad del agua.

Resultados: Sistemas de Agua

Durante la fase de compilación de los datos de estudio, los técnicos de campo hicieron contacto con Delegados de cada comunidad para obtener las muestras de agua de los pozos y para recoger datos sobre sus fuentes de agua, sistemas de distribución de agua, almacenaje de agua, métodos de tratamiento y disponibilidad de agua. Los datos de profundidad del pozo fueron incompletos; la mayoría de los Delegados no sabían la profundidad del pozo; de los 101 pozos examinados, 83 (el 63 %) no tenía datos de profundidad del pozo. De 44 datos de profundidad de pozos, el valor registrado con mas frecuencia era de 200 metros, la profundidad media era de 208 metros; el pozo con la mayor profundidad reportado fue de 350 metros y el mas superficial era de 50 centímetros, que indica un manantial. Las fuentes de agua de dieciséis comunidades eran manantiales y una era un charco.

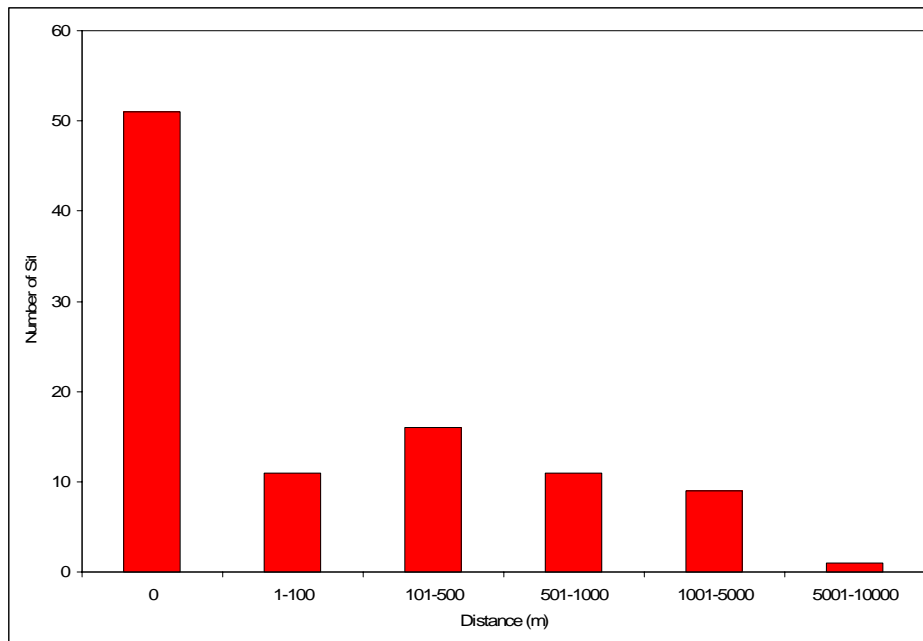


Figura 2. Distancia entre los sitios del muestreo y la ubicación de los pozos. Municipio de San Miguel de Allende.

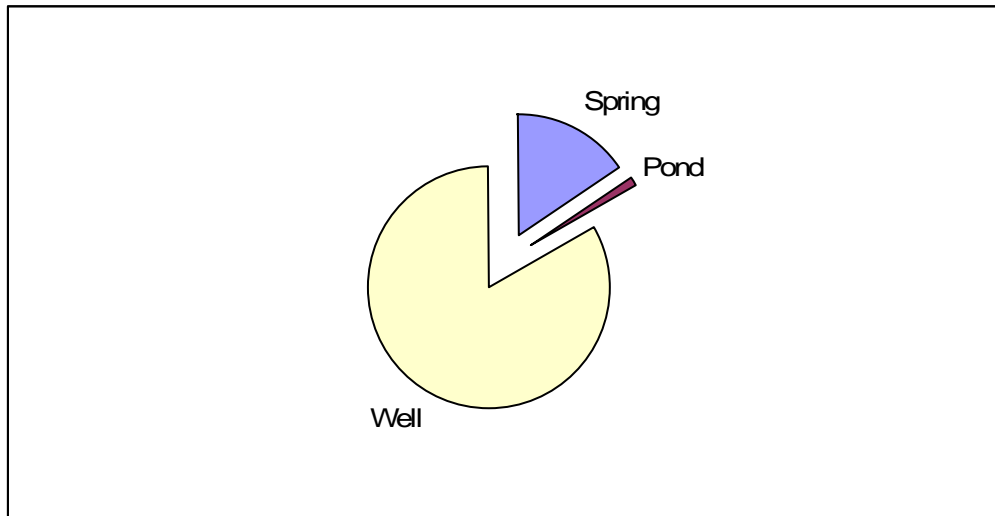


Figura 2.1 Distribución de fuentes de agua potable examinadas para los parámetros de calidad en el Municipio de San Miguel de Allende.

Para controlar la variación de las técnicas de muestreo, los técnicos registraron la distancia entre la localización del sitio de la muestra del pozo real que extrae agua del acuífero subterráneo. Según lo expuesto en la figura 2, aproximadamente la mitad de las muestras fueron tomadas directamente del pozo y el resto distribuido aproximadamente de manera uniforme a través de categorías de distancia.

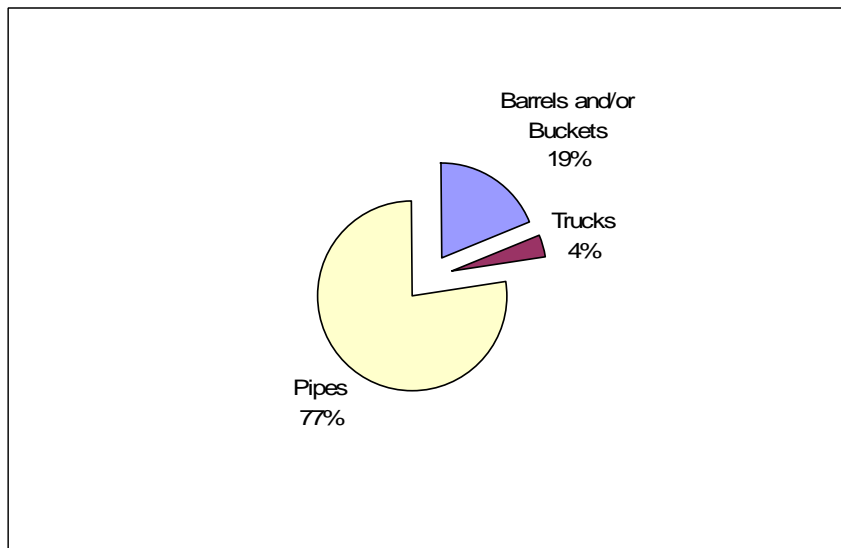


Figura 3. Distribución de tres maneras de transportar de agua entre los sistemas rurales registrados en el municipio de San Miguel de Allende.

Los técnicos investigaron en cada sitio de muestra, el método para transportar agua entre los pozos y la localización de la muestra. Según lo exhibido en el cuadro 3, la mayoría de sitios utilizó simplemente tubería cerrada para mover el agua desde el pozo hasta la llave. Las pipas fueron el 4% de los métodos de transporte de las muestras y el uso de barriles o tambos y cubetas para transportar agua, fueron el 19 % restante de los sistemas muestreados.

Los técnicos registraron cómo se almacena el agua potable entre el pozo y el sistema de distribución. El tipo más común de almacenaje (38%) era de “mampostería”, que es una estructura de albañilería cubierta. Las estructuras cerradas, como torres de agua elevadas, eran la segunda muestra más común (27%). Contenedores abiertos, incluyendo pozos sin cubierta, fueron el 19% de las muestras, mientras que los barriles y tinacos eran el 3% utilizado para almacenar agua (véase la figura 4).

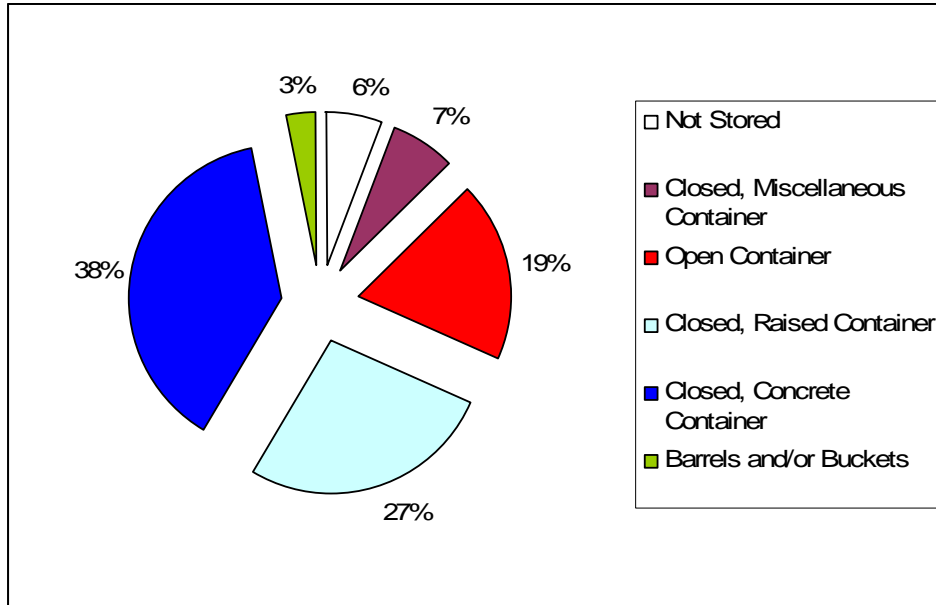


Figura 4. Distribución de tipos de almacenaje de agua potable en el Municipio de San Miguel de Allende.

Todos los diez pozos urbanos de San Miguel de Allende son tratados. También, usan bombas y tubería para transportar del pozo al sistema de distribución. Por último, los diez pozos urbanos son confiables a lo largo del año.

De los sistemas rurales de pozos de agua examinados, la mayoría de ellos (82%) no tenían funcionando ningún sistema de tratamiento. Mientras que la tercera parte de estos, no tenía infraestructura de tratamiento en el sitio, en los restantes, el equipo de purificación estaba en el lugar pero estaba descompuesto o desconectado (ver figura 5). De los sistemas muestreados, solo 17 comunidades utilizan equipo de tratamiento de aguas. Los métodos de tratamiento de aguas, incluyen aplicaciones de hipoclorito de sodio, de cloro, de gas de cloro y ácido acético (para ablandar agua). Varias razones fueron proporcionadas para no reparar y/o utilizar el equipo existente de tratamiento de aguas y en este tema es tratado en la discusión de esta sección.

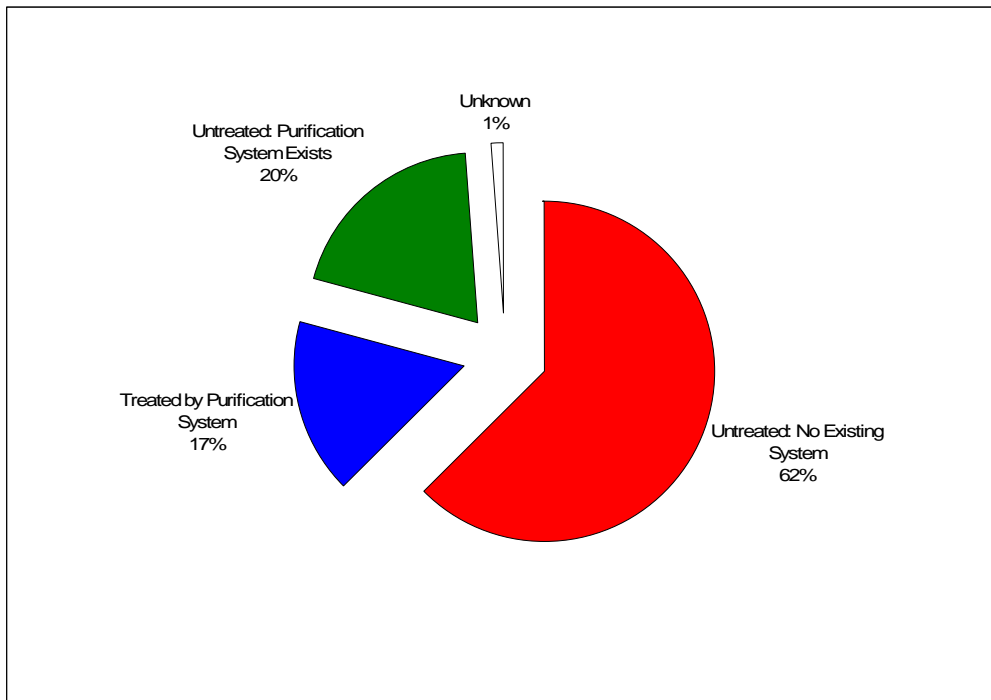


Figura 5. Existencia de sistemas de purificación de agua utilizables y no utilizables en pozos rurales examinados dentro del Municipio de San Miguel de Allende.

De los 101 sitios de muestra, 79 utilizan bombas para transportar agua desde el pozo. De éstos, por lo menos 15 son bombas sumergibles. En 21 sitios el agua no se bombea. El método más común para retirar agua, es con cubetas (cuando se especifica el método) en el caso diferente a una bomba. En uno de los sitios no se especificó el método de retiro.

Los técnicos investigaron en cuanto a la variedad de las temporadas, la disponibilidad del agua con respecto a los pozos muestreados. Delegados y representantes proporcionaron cierta información y las pocas respuestas obtenidas demuestran que el agua está disponible en la mayoría de los pozos a lo largo del año. La razón más común que dieron para la indisponibilidad del agua es falta de consistencia en cuanto al suministro de energía eléctrica para las bombas de agua. Siete pozos fueron reportados como secos durante un periodo del año. En tres de estos pozos, el nivel para acceder al agua vuelve después de horas de bombear pero otros tres se secan por lo menos tres veces al año, volviendo accesible el nivel, solamente cuando comienza la temporada de lluvia, en Julio. Un pozo se reportó como seco cada vez que un pozo agrícola cercano está en operación y solo vuelve al nivel accesible dos días después de que el pozo agrícola se apaga.

Resultados: Calidad del Agua

En total, los resultados indican que la calidad del agua en el municipio no plantea ningún peligro agudo inmediato a los habitantes. Sin embargo, varios pozos contuvieron niveles de contaminantes que exceden los estándares máximos permitidos de los gobiernos mexicanos (Norma Oficial Mexicana NOM – 1276 – SSA1 – 1994) y plantean peligros para la salud a corto y a largo plazo. Los resultados de las pruebas de calidad del agua revelan concentraciones de fluoruro en exceso de los límites permitidos del gobierno mexicano y la presencia de coliforme en casi tres cuartas partes de las muestras tomadas. Los resultados para cada contaminante se discuten abajo con más detalle, junto con resultados de otros parámetros de calidad del agua.

Debe ser observado otra vez, que las pruebas de calidad del agua fueron realizadas como un trabajo de reconocimiento y que los trabajos futuros deben incluir pruebas de la calidad del agua para confirmar resultados y para supervisar tendencias temporales.

Fluoruro

Los resultados muestran que de 101 muestras analizadas en comunidades, 20 tienen niveles de fluoruro arriba del estándar de agua potable del Gobierno Mexicano. Las concentraciones varían a partir de 0.0 mg/L a 4.0 mg/L con un promedio de .88 mg/L. Cualquier nivel arriba de 1.5 mg/L en agua potable, presenta un problema serio para la salud humana (WHO 2006). Las categorías de riesgo fueron establecidas para dar prioridad al tratamiento en la siguiente fase del proyecto; las comunidades que caen las categorías moderadas o de riesgo elevado deben adquirir una fuente alternativa de agua.

Las concentraciones en o sobre 2.2 mg/L, son consideradas de alto riesgo; 8 comunidades tienen niveles en esta categoría (véase la tabla 3). Dos de estos sitios situados en Guerrero y Agustín González tienen concentraciones de 4.0 mg/L, mas de dos veces el límite aceptable y sobre estándares de agua potable en el mundo. Doce comunidades tienen concentraciones de fluoruro en categoría moderada (1.5 – 2.2 mg/L). Diez sitios tienen niveles en categoría de bajo riesgo (1.0 – 1.4 mg/L), las cuales están actualmente debajo de los límites permitidos por el gobierno mexicano. Uno de los pozos urbanos de San Miguel de Allende, identificado como 143, “Pozo de Tirado”, se registró con una concentración de fluoruro de 1.9 mg/L, colocándolo en la categoría de riesgo moderado.

Tabla 3. Pozos examinados en comunidades rurales den el municipio de San Miguel de Allende con niveles de fluoruro en exceso según estándares del Gobierno Mexicano (1.5 mg/L), categorizadas en nivel de riesgo, con datos de población (SIGOET 2004).

ID	Nombre de la Comunidad	Concentraciones Fluoruro (mg/L)	Categoría de Riesgo	Población
56	Guerrero	4.0	Ata	190
109	Agustín González	4.0	Alta	515
113	La Aurora	3.2	Alta	24
66	Montecillo de Nieto	2.8	Ata	220
67	Los Torres	2.4	Alta	335
110	Don Juan	2.4	Alta	103
2	San Francisco	2.2	Alta	172
5	Fraccionamiento El Nigromante	2.2	Alta	1126
3	San Miguel Viejo	2.1	Moderada	471
104	Boca de la Cañada	2.1	Moderada	286
4	Vergel de los Laureles	2.0	Moderada	189
14	Loma de Cocina	2.0	Moderada	283
60	Rancho Nuevo Villa de Guadalupe	1.9	Moderada	114
114	Salitrillo	1.8	Moderada	276
118	Salitre	1.8	Moderada	119
119	San Antonio de la Joya	1.8	Moderada	208
12	Santuario de Atotonilco	1.8	Moderada	609
64	El Lindero	1.7	Moderada	171
1	La Cieneguita	1.7	Moderada	875
6	Santa Elena de la Cruz	1.6	Moderada	7
			Total	6293

La ubicación de las comunidades se exhibe en la figura 1. La figura 6, representa los niveles estimados de fluoruro en agua subterránea a través del municipio, según en los datos recopilados durante esta investigación. Los niveles de fluoruro fueron más altos en comunidades cercanas a la Presa Allende y a lo largo de la principal corriente y reserva del Río Laja.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

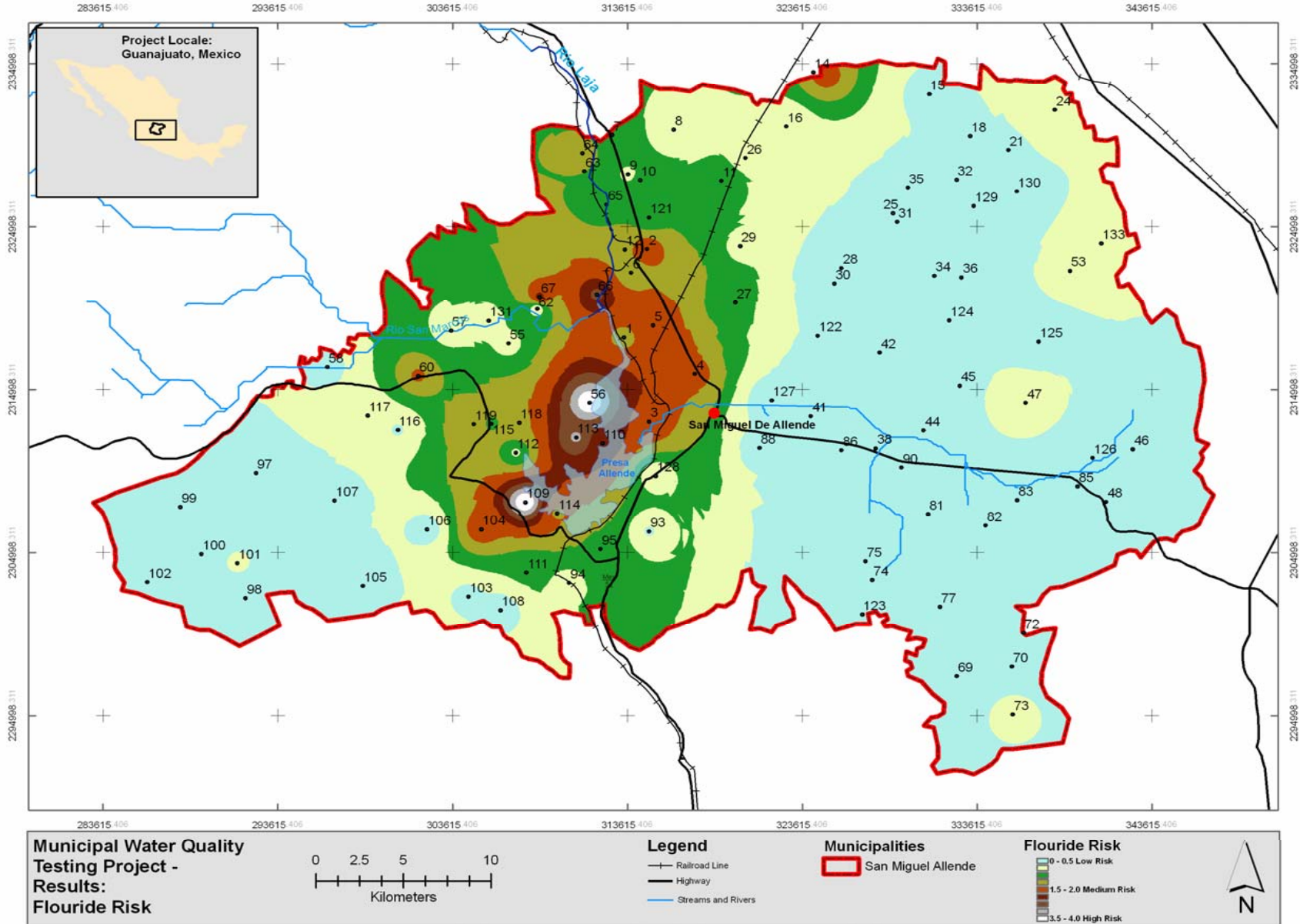


Figura 6. Mapa de concentraciones de fluoruro, interpoladas según el muestreo realizado en las pruebas de agua de pozos del Municipio de San Miguel de Allende.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

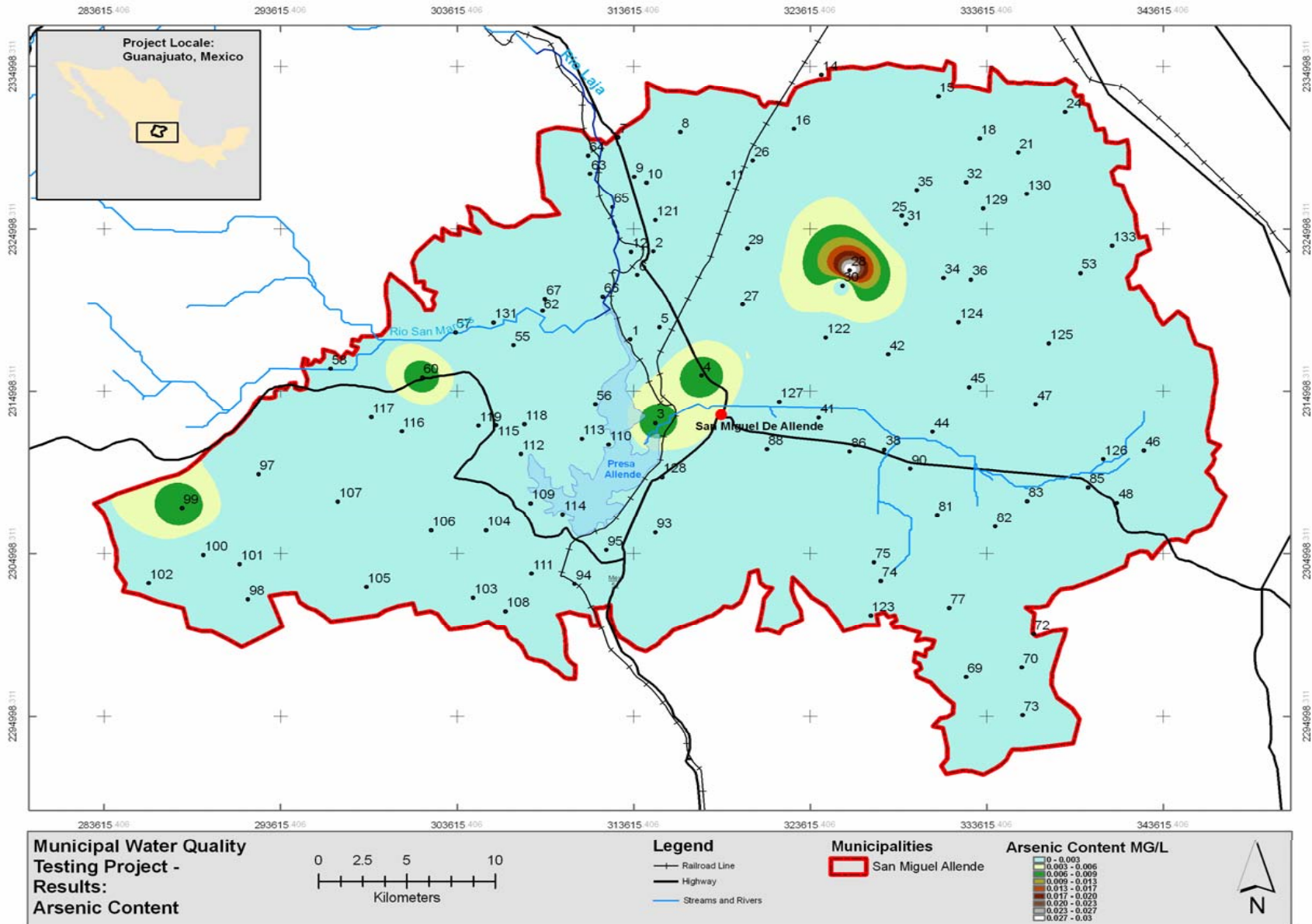


Figura 7. Mapa de concentraciones de arsénico, interpoladas, según el muestreo realizado en las pruebas de agua de pozos en el Municipio de San Miguel de Allende.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

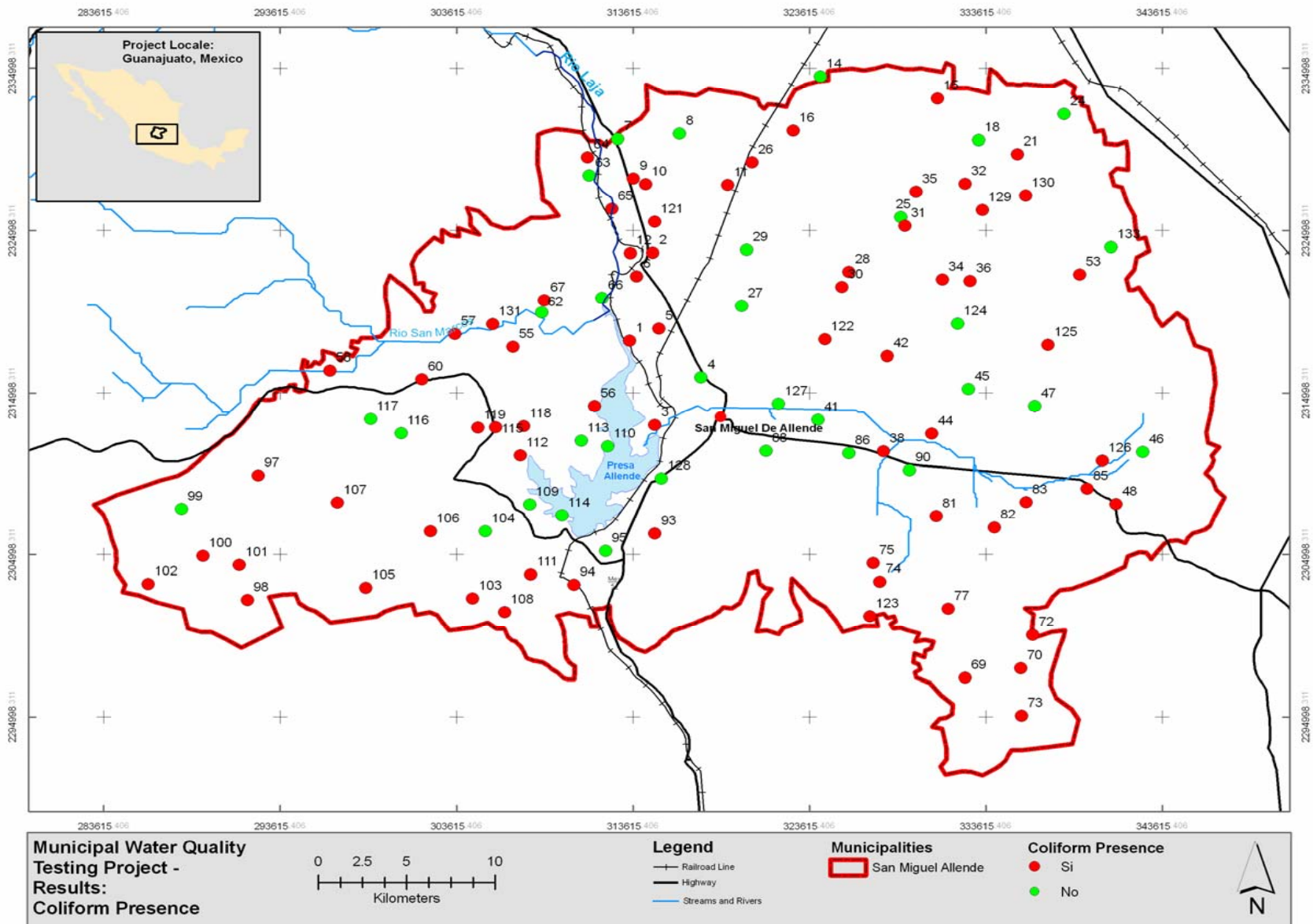


Figura 8. Mapa que muestra los sitios y resultados de pruebas de coliforme en los pozos de agua del municipio de San Miguel de Allende, según el muestreo realizado.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

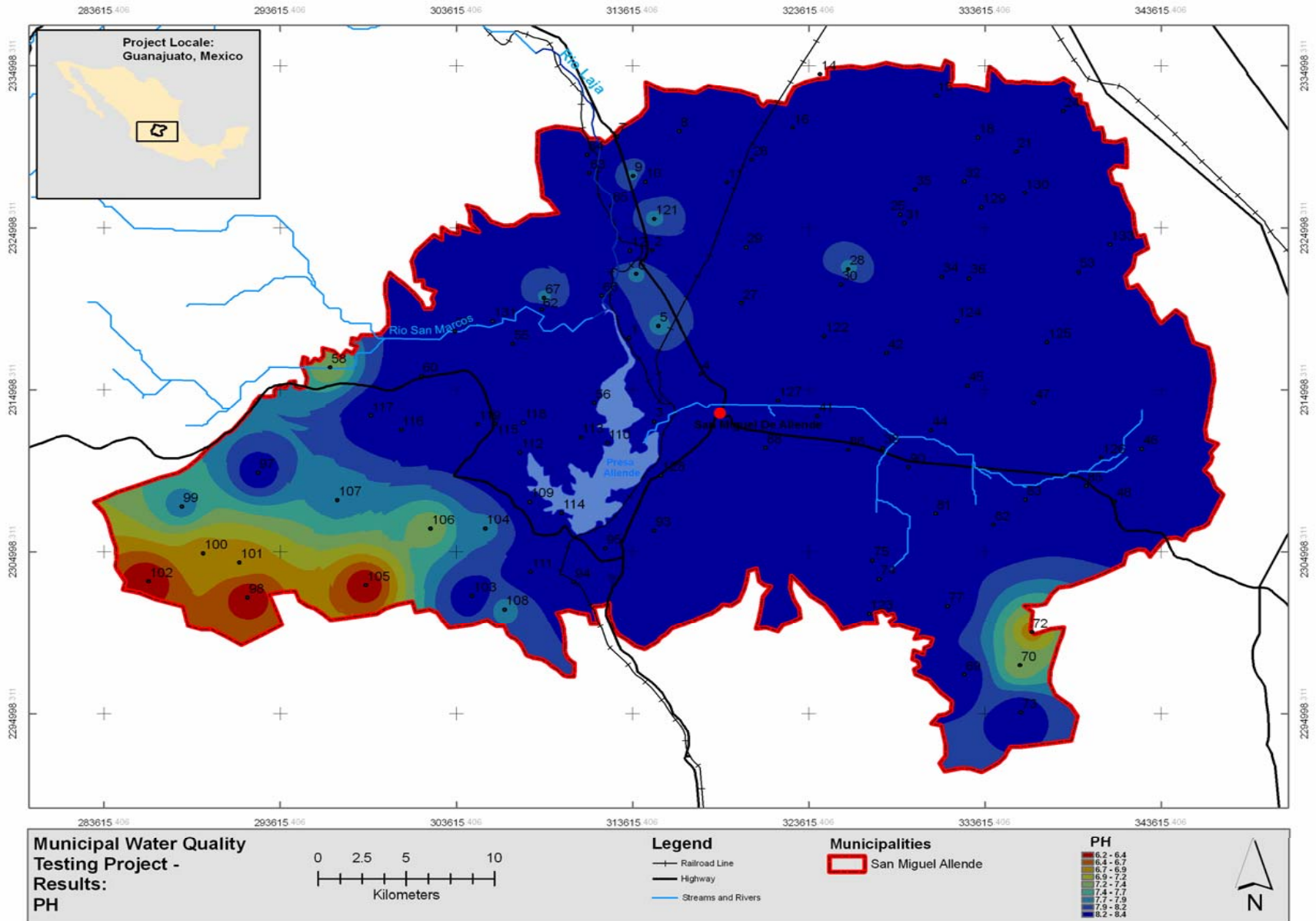


Figura 9. Mapa de valores de pH interpolados, según muestreos realizados en los pozos de agua del Municipio de San Miguel de Allende.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

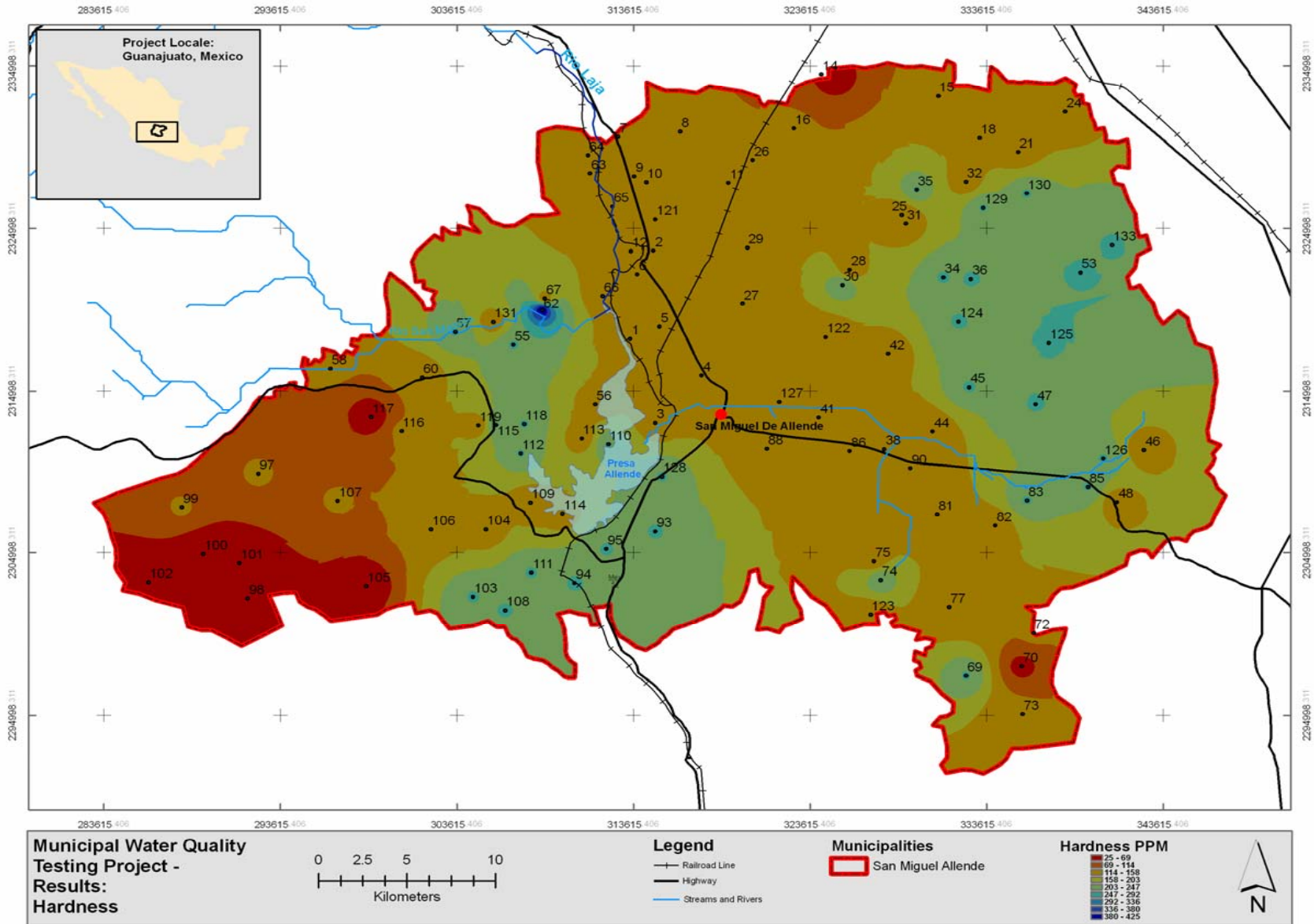


Figure 10. Mapa de concentraciones de dureza, interpoladas según muestreos realizados de las pruebas de agua en los pozos de San Miguel de Allende.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

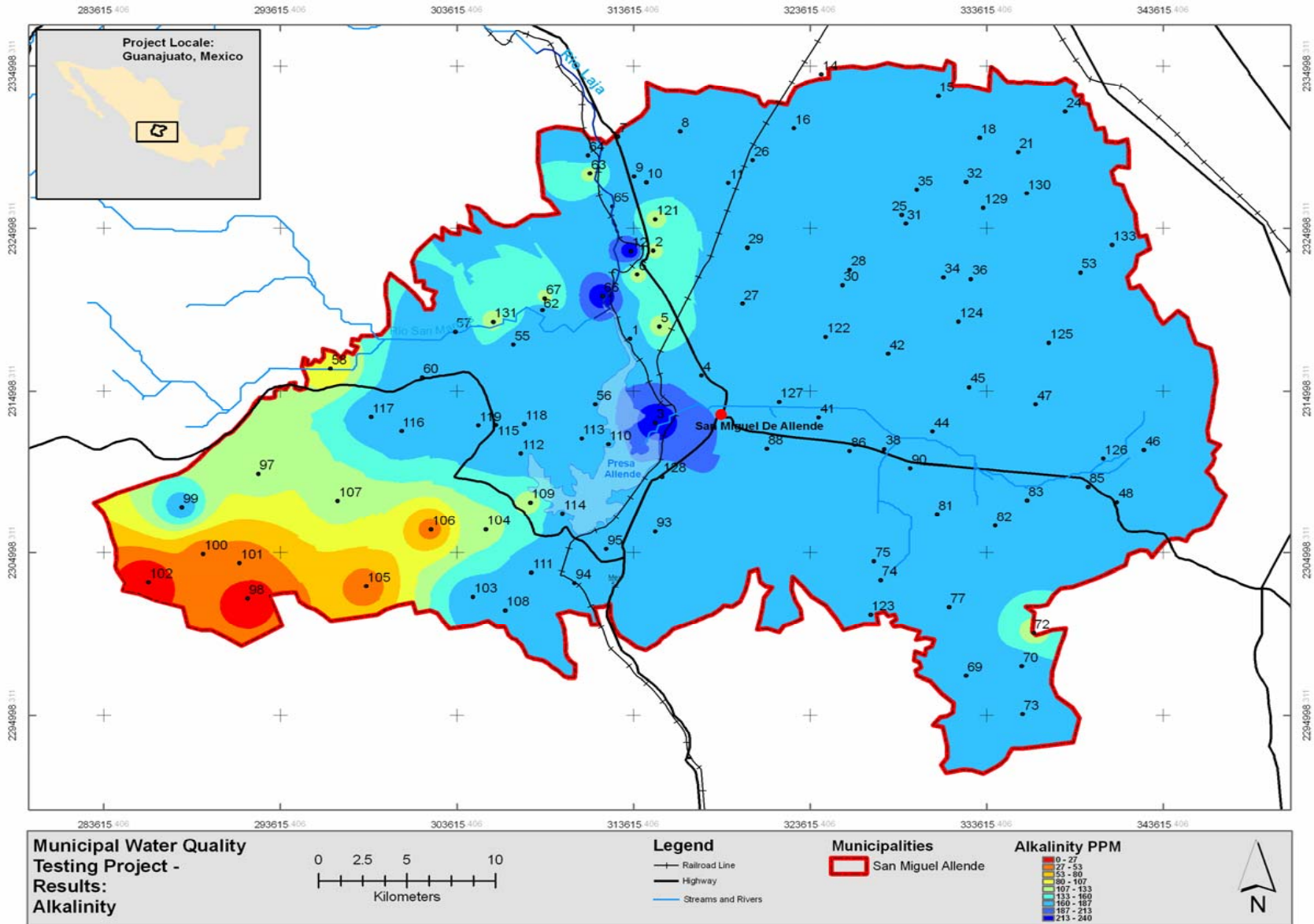


Figure 11. Mapa de concentraciones de alcalinidad, interpoladas según muestreos realizados las pruebas de agua en los pozos de San Miguel de Allende.

Arsenio

Las concentraciones de arsénico se encuentran bajas a través del municipio (ver la figura 7). El nivel de arsénico mas alto registrado (0.03 mg/L), estaba debajo del límite mexicano permitido en agua potable: 0.05mg/L y por lo tanto no se identifica como un caso de estudio adicional.

Coliforme

En general el coliforme y coliforme fecal fue examinado para su presencia /ausencia para medir la calidad microbiológica de agua potable. Es perdida de tiempo, difícil y costoso, examinar patógenos específicos, y es la razón por la que se examinan y se usan coliforme y coliforme fecales como organismos indicadores. Sesenta y nueve de las 101 muestras analizadas para coliforme (véase la tabla 4 para la lista de comunidades y la tabla 8 para referencia). Ninguna de las muestras dio positivo para coliforme fecal. Dos pozos urbanos examinados en San Miguel de Allende, dieron positivo para coliforme; debe tomado en cuenta, que esas muestras fueron transportadas correctamente del pozo, antes del tratamiento.

pH (potencial de Hidrogeno)

Los resultados de pH en los exámenes de calidad de agua, se extendieron a partir del 6.2 a 8.4 mg/L. El pH promedio era aproximadamente 8.3 mg/L, indicando si el agua es alcalina y si tiene un pH promedio o alto. Estos resultados indicaron que los pozos examinados están dentro de la gama normal para los sistemas de agua subterránea (6-8.5 mg/L) y generalmente concuerdan con los límites permisibles para los estándares mexicanos de agua potable, los cuales están entre 6.5 y 8.5 mg/L. Los resultados se presentan gráficamente en la figura 9.

Dureza

El agua de los pozos examinados, generalmente fue dura, extendiéndose a partir de 25 a 425 mg/L, con un promedio de 155 mg/L. Varias muestras mostraron el agua muy dura (250 mg/L) en la comunidad de La Talega y 425 mg/L en Cruz del Palmar). Estos valores están todos dentro de los límites aceptables. Los resultados de la dureza se presentan gráficamente en la figura 10.

Alcalinidad

En general, la alcalinidad estuvo dentro de los límites aceptables. De 101 valores registrados para alcalinidad total, 180 mg/L fue el valor con mas frecuencia registrado; el promedio fue de 165 mg/L. Dos muestras tienen un valor de 0.0 mg/L. Estos resultados indicaron altos niveles de alcalinidad, todo dentro de los niveles medios de alcalinidad (20-200 mg/L) para el agua dulce (USGS 2006a). Los resultados se presentan geográficamente en la figura 11.

Debate

El caso de Fluoruro

Los resultados indican que los niveles de fluoruro en aproximadamente 20% de las muestras tomadas, exceden los estándares mexicanos de agua potable establecidos por la Comisión Nacional de Agua en 1995. Las veinte comunidades que tuvieron resultados de alto riesgo a moderado, representan un total de población de 6,293 personas (SIGOET 2004). Este es un tema de inquietud dados los efectos en la salud que se asocian con la exposición a largo plazo a altas concentraciones de fluoruro. Puesto que el fluoruro se acumula en el cuerpo humano, estos niveles presentan un riesgo alto especialmente a los niños. El ingerir agua contaminada debe ser limitado por los niños, y se deben tomar medidas para tener fuentes alternativas de agua, incluso si es solo para complementar su alimentación.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions

La exposición a cantidades excesivas de fluoruro puede causar ciertos cánceres, enfermedades de los huesos y fluorosis (desorden en los dientes). Se ha demostrado también que el consumo elevado de fluoruro durante la niñez, causa daños al riñón y afecta la inteligencia (Conté 2005, JISFR 2006). Los niveles de fluoruro arriba de 1.5 mg/L pueden causar fluorosis y depósitos en los huesos mientras que niveles sobre 10 mg/L pueden causar fluorosis y dañar todos los huesos. El agua potable contribuye más que ningún otro elemento al consumo diario de fluoruro; sin embargo, el fluoruro también se encuentra en frutas, verduras, te y otros productos.

Tabla 4. Fuentes de agua potable de comunidades rurales que resultaron positivas para la coliforme en la prueba indicativa en el Municipio de San Miguel de Allende.

ID	Sitio de la prueba; Comunidad	ID	Sitio de la prueba; Comunidad
1	La Cieneguita	72	Pinalillo
2	San Francisco	73	Tinaja de los Rodríguez
3	San Miguel Viejo	74	La Campana
5	Fraccionamiento El Nigromante	75	Doña Juana
6	Santa Elena de la Cruz	77	El Membrillo
9	San Martín de la Petaca	81	Bocas
10	Bachoco Pollo No. 34	82	Fajardo de Bocas
11	Tierra Blanca de Arriba	83	Guadalupe de Tábula
12	Santuario de Atotonilco	85	Santas Marías
15	La Medina	93	Don Juan Xidó de Abajo (Cabras de Begoña)
16	La Palmilla	94	La Huerta
21	San Miguelito	97	Cañada de García
26	Las Cañas	98	La Lobera
28	Moral de Puerto de Sosa	100	El Embargo (Nuevo Cimatarío)
30	La Talega	101	Las Vegas de Guadalupe
31	El Carmen	102	Rancho Nuevo de la Rosa
32	Peñón de los Baños	103	La Angostura
34	Los Reyes (La Vivienda)	105	San Isidro de la Cañada
35	Los Rodríguez	106	Xotolar
36	Las Cruces	107	Los Toriles
38	Corralejo de Arriba	108	Los Tovares
42	San Agustín del Bordito	111	Los Martínez
44	El Huizachal	112	Tlaxcalilla
48	San José de la Palma	115	Ciénega de Juana Ruiz
53	Cañada de San José	118	Salitre
55	San Isidro Capadero	119	San Antonio de la Joya
56	Guerrero	121	La Palma
57	Juan González	122	San José de Gracia
58	San Damián	123	Elvira
60	Rancho Nuevo Villa de Guadalupe	125	La Calera
64	El Lindero	126	Puerto de Nieto
65	Montecillo de la Milpa (Montecillo)	129	Estancia de San Antonio
67	Los Torres	130	Castaño de Abajo
69	Jalpa	131	Tierra Blanca de Abajo
70	La Joyita		

El fluoruro se presenta naturalmente en el agua subterránea y es afectado por las características geológicas, químicas y físicas del acuífero; sin embargo, en el Acuífero de la Independencia las concentraciones de fluoruro aumentan al mismo tiempo que el agua disminuye (Ortega – Guerrero 2004). Los niveles de fluoruro también son afectados por procesos industriales tales

como aluminio, acero y la fabricación de fertilizantes, centrales eléctricas de carbón quemado, producción de vidrio y cemento.

La figura 6 presenta la muestra de las concentraciones de fluoruro, basadas sobre los resultados interpolados a través del municipio. Las concentraciones de fluoruro más altas, son cerca de la Presa Allende y las menores concentraciones, son más lejos. Se debe plantear más investigación para poner en claro esta distribución en espacio y en cómo se puede tratar el retiro de agua subterránea de pozos para limitar el consumo humano de altas concentraciones de fluoruro. Al igual, se debe dirigir más investigación para descubrir las variaciones verticales en concentraciones de fluoruro a través del acuífero.

La defluoración para quitar el exceso de fluoruro del agua subterránea es difícil y costosa aunque se están desarrollando nuevas técnicas, por ejemplo, la técnica de Nalgonda (floculación de aplicaciones para quitar fluoruro) y la adsorción (filtración usando alúmina, carbón o intercambio de resinas de ion. Una solución sostenible a los niveles de fluoruro que controlan el agua subterránea es un manejo hidrológico a largo plazo para permitir la recarga y por lo tanto la disolución de altas concentraciones de fluoruro en el sistema del agua subterránea. Los temas con respecto al manejo a largo plazo de los recursos de agua subterránea, no se pueden ignorar dada la población en aumento y las necesidades crecientes de agua.

Los resultados también sugieren que el enfoque de los futuros trabajos debe implicar nuevas pruebas de agua en los sitios en los que se indican categorías de riesgo alto a medias en fluoruro así como proporcionar las fuentes de agua alternativas para llevar agua: pipas y sistemas de acopio de agua de lluvia. El tratamiento de los niveles de fluoruro en agua subterránea es difícil y costoso (ESF 2005, WHO 2006), es por eso que se recomienda por encima de otros tratamientos, una fuente alternativa de agua con niveles mas bajos de fluoruro. El WHO recomienda que si no hay otra fuente de agua, que se emplee un tratamiento usando carbón, la técnica de Nalgonda o el alúmina activado. La precipitación en esta región de México se debe evaluar con respecto al potencial para cosecha de agua de lluvia como una alternativa viable. No hay desechos tóxicos relacionados con la captación de agua de lluvia.

El caso de Arsénico

La concentración de arsénico fue identificado como un parámetro digno de prueba (ESF 2005) porque se han identificado niveles de arsénico en agua subterránea en otros estudios en áreas adyacentes al municipio. No fueron encontradas concentraciones excesivas de arsénico en ninguna muestra de este estudio. En el Acuífero de la Independencia, probablemente aumenten concentraciones de Arsénico, a la vez que el nivel de agua disminuya. Aunque actualmente las concentraciones de Arsénico no presentan una amenaza para la salud en los sitios que se examinaron, el creciente retiro de agua del Acuífero de la Independencia, presenta un peligro futuro para esas comunidades. Debido a resultados previos de altas concentraciones de Arsénico en otras partes del Acuífero de la Independencia, debe continuarse verificando las altas concentraciones de arsénico en el municipio de San Miguel de Allende.

El caso de Coliforme

Las bacterias de coliforme se presentan por naturaleza en el ambiente y se encuentran en los suelos, plantas y en el intestino de los seres humanos, de ganado y otros animales. Aunque concretamente no es dañino a los humanos, la presencia de estas bacterias en agua potable es en general el resultado de problemas con el pozo, el tratamiento y/o sistemas de distribución e indica que el agua se puede contaminar con bacterias, virus y protozoo (Tchobanoglous y Schroeder 1897). La presencia de Coliforme fecal indica que el sistema del pozo está contaminado con

heces de pájaros o de mamíferos. Los efectos en salud, relacionados con el contacto de coliforme fecal incluyen diarrea, calambres, náusea y dolores de cabeza.

Según el estándar mexicano del agua potable, el límite permitido para el coliforme total es 2 (el número más probable) por 100 ml. Para el coliforme fecal, no hay cantidad perceptible permitida por 100 ml. de agua (NOM 1996). Aunque el proyecto no investigó concentraciones de coliforme, la presencia de coliforme fecal indica que el agua se podría contaminar con patógenos. Dado que no se descubrió ningún coliforme fecal, el riesgo inmediato en la salud no es serio. Es difícil, caro y una pérdida en tiempo examinar patógenos específicos y por esta razón solo se examinan coliforme fecales y se utilizan como organismos indicadores. La mayoría de las muestras de agua que se tomaron, no vinieron directamente de los pozos sino que eran distribuidas a través de sistema de tuberías, que es probablemente donde se origina la contaminación. Muchas de las comunidades tienen instalaciones para almacenar agua, y es posible que ahí también se origine la contaminación.

La presencia de bacterias coliforme en la mayoría de las muestras, indica problemas de contaminación en agua subterránea y/o en los sistemas de distribución de agua en las comunidades del municipio de San Miguel de Allende. Los sistemas de tratamiento de agua apropiados, deben ser capaces de desinfectar el agua infectada con coliforme en los pozos que no tienen purificación; el 65% dieron resultados positivos para coliforme. La contaminación de la parte baja del agua subterránea es un problema que debe ser remediado ahora o de lo contrario el agua de los pozos continuará en deterioro y el costo para el tratamiento será más alto. De los pozos que fueron tratados, el 71% dieron resultados positivos para coliforme, indicando que la contaminación está ocurriendo probablemente en el sistema de distribución de los pozos, después de haber sido purificada el agua. La contaminación en el sistema de distribución de agua es menos severa y se recomienda darle mantenimiento y reemplazar el sistema de distribución para solucionar este tipo de contaminación.

Es interesante notar que numerosas comunidades rurales en San Miguel de Allende tienen equipo para tratamiento de agua pero no lo usan. De los pozos que tienen sistemas de purificación pero no los están utilizando, el 75% dio resultado positivo para la prueba de coliforme. Las razones para no usar el equipo iban desde rechazo al cloro por sus efectos de sabor o decoloración de ropa hasta el que el equipo estaba en malas condiciones y estaba desconectado para no interrumpir el abastecimiento de agua. Se recomienda que se implemente programas educativos en el área rural de San Miguel de Allende para informar a la gente los beneficios en el tratamiento de agua y para encontrar un método apropiado para los habitantes.

El caso de pH

El pH es la concentración de iones de hidrógeno en agua y este valor determina la solubilidad (cantidad de una sustancia que se puede disolver en agua) y la disponibilidad biológica (cantidad que usada para la vida acuática) de componentes químicos tales como alimentos (fósforo, nitrógeno y carbón) y metales pesados (plomo, cobre, cadmio, etc.). Los niveles de pH se extienden desde 1 al 14; la gama 1 – 7 es considerada ácida, mientras que los resultados en la gama 1-14 son básicos o alcalinos (jabonoso al tacto): 7 es neutral. En general, el agua con un pH bajo (6.5) es ácida, suave y corrosiva y podría no contener iones de metal tales como hierro, manganeso, cobre, plomo y zinc; los metales son más solubles en niveles bajos de pH y como resultado, más tóxicos. Los niveles elevados de metales tóxicos pueden causar daños tuberías de metal, tener sabor a metal, manchar el lavadero, y causar problemas de salud.

Los resultados indican que los sistemas de pozos examinados tienen de medio a alto pH (un alto pH es mayor a 8.5), el cual disminuye la capacidad del agua para contener iones de metal y por lo tanto, no plantea ningún riesgo para la salud, sin embargo, el agua dura forma depósitos y es difícil que haga espuma. Un alto nivel de pH puede afectar también la capacidad de absorción del agua; un estudio demostró que al aumentar el pH en el agua, el porcentaje de fluoruro absorbido disminuye (Latha *et. al.* 1998).

Es importante supervisar los niveles de pH del agua subterránea para determinar la gama normal para poder identificar desviaciones. El pH determina muchas características importantes de agua subterránea, incluyendo la adecuación de agua para uso doméstico y comercial y la capacidad del agua para transportar productos químicos potencialmente dañinos (Fisher 2003). Los valores de pH en agua subterránea son afectados por la geología de las rocas del subsuelo, la fisiogeografía de la región y los contaminantes industriales y agrícolas.

El caso de la Dureza

La dureza del agua es el reflejo de la cantidad de iones (calcio y magnesio) en agua; al aumentar la cantidad, la dureza disminuye. El agua es considerada suave si contiene de 0 a 60 mg/L de dureza; suficientemente moderada de 61 a 120 mg/L; dura, entre 121 a 189 mg/L y muy dura si tiene más de 180 mg/L.

En general, la dureza del agua subterránea es relativamente estable y no cambia a cierto tiempo (USGS 2006b). La dureza del agua no plantea riesgos para la salud; sin embargo, los minerales en el agua dura, pueden dejar depósitos dentro de la tubería, calentadores y tanques, mientras que el agua suave puede corroer metales. El carbonato de calcio se deriva de la piedra caliza disuelta o de las descargas de actividades en minas.

El caso de la Alcalinidad

La alcalinidad ayuda a regular el pH y el contenido de metal en el agua. Mide la capacidad del agua para resistir cambios en los niveles de pH o la capacidad del agua básica para neutralizar ácidos. El agua con baja alcalinidad son muy susceptibles a cambios en el pH, mientras que las aguas con alta alcalinidad pueden resistir cambios importantes en ella. Los estándares de calidad de agua potable en México no incluyen límites permitidos para alcalinidad, pero tienen límites establecidos para pH (ver el caso de pH). Los niveles entre 100 y 200 mg/L indican que el agua es altamente susceptible a cambios en el pH de las fuentes naturales y humanas (USGS 2006b).

La alcalinidad es afectada por la geología y los suelos; piedras calizas, rocas sedimentarias y suelos ricos en carbón, producen alta alcalinidad en el agua mientras que las rocas volcánicas y los suelos pobres en carbonato dan lugar a agua baja en alcalinidad. Existen otros factores que afectan la alcalinidad como la introducción de aguas residuales en cuerpos de agua y los cambios en el pH. Ya que la alcalinidad varía grandemente debido a las diferencias en la geología, no hay estándares generales para ello.

Conclusiones

La calidad del agua de los pozos, refleja la calidad del agua de la parte baja del acuífero, así como nos proporciona información sobre la calidad de agua consumida por los habitantes de las comunidades rurales. Este estudio es un trabajo de reconocimiento para describir con aproximación la condición del Acuífero de la Independencia y mostrar los pozos rurales que tienen problemas de contaminación en agua potable. Los resultados de este estudio señalan que se debe dar prioridad a acciones futuras, incluyendo estudios y acciones. La investigación anterior

en el acuífero de la independencia ha demostrado un aumento en varias concentraciones de sales y metales disueltos (Ortega-Guerrero 2002; Ortega-Guerrero *et. al.* 2002). Los resultados de este estudio, describen el efecto en esta tendencia dentro del Municipio de San Miguel de Allende.

La investigación acerca de las concentraciones de fluoruro en pozos de agua de comunidades rurales del municipio de San Miguel de Allende, alcanzó resultados que indican que es necesaria más investigación, debe ponerse en marcha supervisión a futuro. Los demás parámetros investigados, la concentración de arsénico, pH, la dureza y la alcalinidad, se encontraron dentro de los rangos aceptados, por lo tanto, no necesariamente hacen falta una investigación significativa. Las tendencias deben extenderse si es posible, aunque se debe trabajar en el futuro para continuar supervisando estos parámetros.

La cultura con respecto a la purificación y adiestramiento en la aplicación del agua es necesaria hacerla por medio del municipio, para tratar la incidencia de coliforme en el agua potable de las comunidades rurales. Tal plan de estudios, combinados con un programa para establecer, reparar y mantener sistemas de purificación de agua potable en áreas rurales del municipio de San Miguel de Allende, ayudaría a reducir casos de disentería y otras enfermedades causadas por organismos transportados por agua. Todos los pozos que dieron positivo para la prueba de coliforme total, deben continuar siendo supervisados hasta que se alcancen resultados negativos. La presencia de coliforme indica un potencial de contaminación de organismos más perjudiciales, incluyendo el coliforme fecal. Los exámenes futuros deben incluir prueba para densidades de coliforme y no solo la presencia de la bacteria.

Se deben tomar acciones inmediatas para reducir el consumo de agua contaminada con fluoruro en alto riesgo en las áreas identificadas en este documento. Reemplazando el agua contaminada de fluoruro con agua no contaminada, como el agua adquirida de lluvias, tendría un efecto positivo en los niños. Debe instituirse la supervisión de concentraciones de fluoruro para pozos identificados como moderados y de alto riesgo, al igual que para pozos vecinos. Se debe diseñar un control para capturar variaciones temporales en el año. Debido a los resultados en este proyecto así como las tendencias publicadas, el municipio de San Miguel de Allende así como otros intereses locales, deben tomar medidas para apoyar una investigación mas profunda que pueda aclarar futuros retos.

La falta de técnicas razonables para el tratamiento de toxicidad de fluoruro es una razón para tener una fuente alternativa de agua, tal como cosecha de agua de lluvia, misma que debe ser practicada. Cualquier consumo extra de agua potable ayudaría a reducir los efectos de toxicidad del fluoruro entre los habitantes de las comunidades que tienen riesgo moderado y alto. El sistema de cosecha de agua de lluvia en comunidades con problemas de contaminación de agua, proporciona no solo una fuente alternativa de agua más limpia, sino atiende el serio problema de abastecimiento de agua en esta región. Las concentraciones de fluoruro podrían estabilizarse e incluso reducirse en los lugares si se retira menor cantidad de agua del Acuífero de la Independencia. En un cierto plazo y si mas comunidades instalan tales sistemas, el cosechar agua de lluvia podría contribuir a la recarga de agua subterránea y a diluir las concentraciones de sal y de metal. Dado los apremios de recursos financieros y naturales en esta región, la instalación de sistemas de cosecha de agua de lluvia es la alternativa más práctica para asegurar una fuente de agua sostenible para el Municipio de San Miguel de Allende.

La restauración de la cuenca debe ser ejercida para atender los retos del agua superficial y subterránea tales como la toxicidad del agua de los pozos. La restauración de la vegetación, de la estabilidad de la rivera, de la vegetación de la altiplanicie, por ejemplo, tiene efectos benéficos en

la calidad del agua superficial que alternadamente afecta al acuífero que es de donde adquirimos el agua potable. Aunque este proyecto se centró en el municipio de San Miguel de Allende, los problemas investigados y las soluciones recomendadas, se aplican a todas las comunidades dentro de la cuenca de la independencia. ESF impulsa a los estados de Guanajuato y de San Luis Potosí al igual que al gobierno federal, a cooperar con cada uno de los municipios a investigar más la calidad del agua potable en la región y a tomar medidas para manejar los recursos de agua con más responsabilidad.

Limitaciones del Estudio

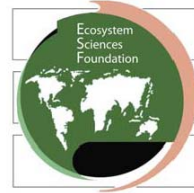
El análisis de la Fase 1, es una investigación a nivel de reconocimiento y los resultados no deben interpretarse en su totalidad como representativos de la calidad del agua de los pozos del municipio de San Miguel de Allende. No es lógico, dada cronología, logística y contrastes físicos del estudio. Tales variables como temporalidad, exactitud del equipo de pruebas, el profesionalismo y experiencia del personal, son componentes importantes que merecen mejorarse para futuros trabajos. Los siguientes trabajos deben tratar de incluir la variación del temporal que pueda existir, así como la distribución geográfica dentro del municipio y los alrededores.

Referencias

- American Public Health Association (APHS). 1998a. 4500-F Fluoride. In *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 20th Edition*. American Public Health Association. Washington, DC, USA.
- American Public Health Association (APHS). 1998b. 9221 D. Presence-Absence (P-A) Coliform Test. In *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 20th Edition*. American Public Health Association. Washington, DC, USA.
- Castellanos, J.Z., Ortega-Guerrero, M.A., Grajeda, A., Vazquez-Alarcon, S/ Villalobos, J.J., Munoz-Ramos, B., Zamudio, J.G., Martinez, B., Hurtado, P., Vargas, C., and S.A. Enriquez. 2002. Changes in the Quality of Groundwater for Agricultural Use in Guanajuato. *Terra Volumen* 20:2.
- Connett, E. and Paul Connett. 2001. Fluoride: The Hidden Poisons in the National Organic Standards. Available at: . Accessed 2/21/06.
- Connett, Michael. 2005. Fluoride and Kidney Damage in Children. Fluoride Action Network Science Watch Newsletter #25 (August 26, 2005). Available at: <http://www.fluoridealert.org/health/news/25.html>. Accessed 11/10/05.
- Ecosystem Sciences Foundation (ESF). 2005. Proposal to Cooperate with San Miguel de Allende Municipal Government Drinking Water Quality Testing. Idaho, USA.
- ESRI. 2006. ArcGIS Desktop Help accessed on 2/28/06:
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?ID=2329&TopicName=How%20Inverse%20Distance%20Weighted%20%28IDW%29%20interpolation%20works&rand=669&pid=2327>
- Fisher, Steve. 2003. "Groundwater Quality in Kentucky: pH". Available at: http://www.uky.edu/PR/News/Archives/2003/Jan2003/ph_groundwater.htm. Accessed 2/15/06.
- HACH. 2000. Method 28000-88—Arsenic Test Kit. HACH Company; Colorado, USA.
- HACH. 2005a. Method 27552-50—5 in 1 Water Quality Test Strips (Free Chlorine, Total Chlorine, Total Hardness, Total Alkalinity). HACH Company; Colorado, USA.
- HACH. 2005b. Method 8364—P/A Bromocresol Purple Broth with MUG. HACH Company; Colorado, USA.
- Journal of the International Society for Fluoride Research (JISFR). 2006. Effects of fluoride in drinking water. www.fluoride-journal.com. Accessed February 2006.
- Kennedy, D.C. 2001. Fluoride Fact Sheet. Available at <http://www.apfn.org/apfn/fluoride.htm>. Accessed 2/21/05.

- Latha, S.S, Ambika, S.R., and S.J. Prasad. 1998. Fluoride Contamination Status of Groundwater in Karnataka. Available at: www.ias.ac.in/currsci/mar25/articles13.htm. Accessed 2/21/05.
- NORMA Oficial Mexicana (NOM). 1996. NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano -- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización ('Environmental Health, water for human use and consumption – permissible limits of quality and treatments to which water must be submitted for its drinkability'). Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Salud.
- Ortega-Guerrero, M. A., Castellanos, J.Z, Aguilar, G., Vazquez-Alarcon, E., Alanis, R., C. Vargas, C., and F. Urrutia E. 2002. A Conceptual Model for Increases of Sodium, SAR, Alkalinity and pH at the Independence Aquifer in Guanajuato. *Terra Volumen* 20:2.
- Ortega-Guerrero, M. Adrian. 2004. Groundwater Quality at the Independence Basin in Central Mexico: Implications for Regional Development. Another World is Possible, Workshop on AlterGlobalizations, August 5-12, 2004, San Miguel de Allende, Mexico.
- Tchobanoglous, G. and E. D. Schroeder. 1987. *Water Quality*. Addison-Wesley Publishing Company, Mexico City.
- United States Environmental Protection Agency. 2003. National Primary Drinking Water Standards. Office of Water (4066M). EPA 816-F-03-016. Available at: www.epa.gov/safewater. Accessed 8/11/2005 to 8/15/2005.
- United States Environmental Protection Agency. 2005. Ground Water and Drinking Water: E. coli in Drinking Water. Available at: <http://www.epa.gov/safewater/ecoli.html>. Accessed 8/25/05.
- United States Geologic Survey (USGS). 2006a. City of Boulder- USGS water quality monitoring. Available at: <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/NUTRIENTS/info/Alk.html>. Accessed 2/17/05.
- United States Geologic Survey (USGS). 2006b. Quality of Groundwater. Available at: http://capp.water.usgs.gov/GIP/gw_gip/quality.html. Accessed 2/15/06.
- World Health Organization (WHO). 2005a. Arsenic in Drinking Water. Fact sheet No. 210. Revised 2001. Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/index.html>. Accessed 8/10/2005 to 8/15/2005.
- WHO. 2005b. 12 Chemical Fact Sheets. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/gdwq3_12.pdf. Accessed 8/15/2005.
- WHO. 2006. Water, Sanitation, and Health: Fluoride effects. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/naturalhazards/en/index2.html. Accessed 2/21/06.

Apéndice A. Formatos de Campo y de Laboratorio



Ciencias del Ecosistema, A.C.
San Miguel de Allende
Guanajuato, Mexico
www.ecosystemsciences.com

Examen de calidad del agua de los pozos: Forma del Laboratorio:
(para llenar por empleados de la Dirección de Medio Ambiente y Ecología)

Fecha:

Tiempo:

Muestra # (del día)

Nombre de Pueblo (de donde viene la muestra):

Fluoruro, Metodo de "AccuVac"

mg/L FLORURO

Otras notas:

Arsenico

ppb ARSENICO

"AquaChek 5-in-1" Exámen (Cloro Total, Cloro Libre, Dureza Total, Alcalinidad Total, y pH)

ppm DUREZA TOTAL (3° o almohadilla central)

ppm ALCALINIDAD TOTAL (4°almohadilla)

pH (5° almohadilla)

ppm CLORO TOTAL (1° almohadilla)

ppm CLORO LIBRE (2° almohadilla)

Exámen de Coliforme Presente/Ausente

Resultados despues de 24 horas de incubación:

Resultados despues de 48 horas de incubación:

Resultados cuando se expuso a luz UV; flourescencia?:

Por favor llenar esta forma y imprimirla por el botón debajo. Por el otro botón, enviarla por email a dvarner@ecosystemsciences.com. Si no puede enviarla por email, entonces mandarla por telefax a Ciencias del Ecosistema, A.C. (número 001-208-368-0184) cuando sea lo más pronto posible. Finalmente, por favor archivarla con Don Patterson.

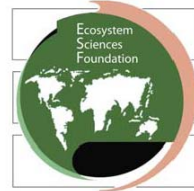
Imprimirla

Inviarla por Email

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions: Appendix A

Imprimirla

Inviarla por Email



Ciencias del Ecosistema
San Miguel de Allende
Guanajuato, México
www.ecosystemsciences.com

Procedimientos y Formato para Examinar la Calidad de Agua en el Campo

Fecha: Tiempo:

Nombre de la persona que lo elaboro:

Código de la zona del sitio de muestra: y código cluster:

Muestra # (del día)

El procedimiento del sitio de colecta debe ser el mismo pozo o lo más cercano a este. Preséntate con el Delegado de la comunidad con la carta de introducción o con alguna autoridad y pídele a esta persona que te ayude responder el cuestionario. Considera tomar fotos con el Delegado para documentar la experiencia. Cualquier otra foto que pueda ayudar mejor a describir el lugar.

Nombre de la localidad:

Nombre del Delegado:

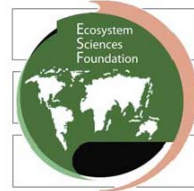
Selecciona el mejor sitio de colecta de la muestra, directamente del pozo o lo más cercano a este. Si estos sitios no están disponibles entonces utiliza una toma de agua pública o la escuela u otro sitio publico.

Nota/describe los sitios de colecta lo más detallado posible:

a) ¿Cual es el nombre del edificio o de la dirección del sitio?

b) ¿Cual es la distancia entre el pozo y el otro sitio de toma?

c) ¿Cuál es el método para llevar el agua de la fuente al sitio?



Estando en el sitio de colecta, es importante marcar el punto con el GPS y considera que la señal sea buena. Mantén oprimido el botón "ENTER MARK" y ve la pagina "MARK WAYPOINT".

d) Anota el nombre o numero en la parte arriba de la pagina y registra lo aquí:

e) Anota los números de la posición en la parte baja de la pagina:

UTM

f) Después de registrar esta información, presión el botón "Enter" y entonces apaga el GPS con el botón rojo.

Anota/Describe de forma muy detallada el sitio de colecta:

g) ¿El agua viene de pozo o de otra fuente?

h) ¿Cuál es la profundidad del pozo?

i) ¿La fuente del agua esta almacenada en algún tipo de depósito como un bordo o tanque (si es, descríballo)?

j) ¿Se utiliza bomba para sacar el agua?

k) ¿La muestra de agua viene directamente de pozo o de una llave?

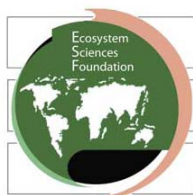
l) ¿La fuente de agua esta tratado (para dureza, alcalinidad, o con cloro), si es, descríballo?

m) ¿Anota si la fuente del agua es un pozo, el pozo se seca de vez en cuando (anota cuando se seca y por cuanto tiempo)?

Anota aquí otras observaciones importantes:

Otras notas:

Apéndice B. Procedimiento de Laboratorio (versiones en Inglés)



Ecosystem Sciences Foundation
San Miguel de Allende
GTO, Mexico
www.ecosystemsciences.com

Well Water Quality Testing Procedures: Laboratory

(to be completed by SMA employee)

Turn on Incubator 2-3 hours (or more) prior to processing of samples. Set temperature to 35°C.

When coolers and samples arrive at office after the sampling effort is complete, remove sample Bottles (not bags) from coolers and allow to warm to room temperature (approximately 1 hour) before processing. The samples should be approximately the same temperature as the distilled water (in glass bottles).

Wash hands and use rubber gloves provided.

Fluoride, AccuVac Method

1. Turn on "Pocket Colorimeter II" by pressing bottom, center button. The arrow should indicate channel 2 (see page 2-4 to change channel, if needed).
2. Fill one 50-mL beaker with at least 40 mL distilled water (from glass bottles provided). Fill other 50-mL beakers (or plastic cups with 40 mL mark) with samples (from glass bottle provided).
3. Remove one SPADNS Fluoride AccuVac Ampuls from blue styrofoam container. Wipe Ampul with soft, dry brown cloth (provided in plastic bag).
4. Holding Ampul in one hand and the beaker with the distilled water in the other hand, turn the Ampul upside down and submerge tip into distilled water. Press the Ampul against the inside of the beaker so that the tip breaks off and distilled water is drawn into Ampul. Withdraw the Ampul and invert several times to mix. Wipe off any liquid or fingerprints with cloth and set aside. Since this Ampul contains distilled water, it is the "Blank."
5. Repeat Steps 3-4 using the beakers (or plastic cups) with the samples (instead of with distilled water). Place Ampul containers in orderly manner near sample Bottles so as not to confuse samples.
6. Wait 1 minute.
7. Place the Blank Ampul container in the cell holder of instrument "Pocket Colorimeter II." Cover the Blank with the instrument cap.
8. Press the left-side, blue button on instrument. The display will show "----" then "0.0." Remove the Blank from the cell holder.
9. Repeat Step 7 using one of the samples instead of the Blank. After covering the sample cell with the instrument cap, press the right-side, green, "check" button. The display will show "----", followed by results in mg/L fluoride.
10. Disposal of Ampul; rinse beakers (and/or cups).

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions: Appendix B

Arsenic

1. Lift the flap on the black cap and *slide* a test strip into the groove so that the reactive pad faces the small opening and completely covers it; secure by pressing the flap back in place.
2. Fill the reaction vessel with sample water to the fill line (50mL).
3. Add the contents of one Reagent #1 powder pillow to the sample and swirl to dissolve.
4. Add the contents of one Reagent #2 powder pillow to the sample and swirl to dissolve (note: solution may be cloudy).
5. Wait at least 3 minutes.
6. Add the contents of one Reagent #3 powder pillow to the sample and swirl to mix (not all of the powder will dissolve).
7. Wait at least 2 minutes and swirl again to mix.
8. Using the plastic scoop, add one level scoop of Reagent #4 to the sample and swirl to mix (most of the powder will dissolve).
9. Add the contents of one Reagent #5 powder pillow to the sample.
10. Immediately attach the black cap, with the test strip inserted, to the reaction vessel. Do not shake or invert! Swirl to mix, but do not allow sample to contact the test strip pad.
11. Allow vessel to react for 30 minutes, but no more than 35 minutes; swirl twice during the reaction period.
12. Remove the test strip and immediately compare the developed color to the chart on the test strip bottle. Do not expose the test strip to direct sunlight.

AquaChek 5-in-1 Test (Total Chlorine, Free Chlorine, Total Hardness, Total Alkalinity, and pH)

After the necessary quantities of water have been removed from the sample Bottles for use in the Arsenic and Fluoride tests, perform the following steps for each sample:

1. Pour approximately 50 mL (or remaining sample) into 50-mL beaker.
2. Open "AquaChek" Water Quality Test Strips (5-in-1) canister and remove one test strip; replace cap to canister.
3. Dip test strip into sample in beaker and then remove. Do not shake excess water from test strip. Hold the test strip level for 30 seconds.
4. Compare TOTAL HARDNESS (3rd or center pad), TOTAL ALKALINITY (4th pad), and pH (5th pad) pads to color chart on canister. Record values for each on data sheet.
5. Dip the strip into sample in beaker again and stir sample for 30 seconds and then remove.
6. Compare TOTAL (1st pad) and FREE CHLORINE (2nd pad) to color chart on canister. Record values for each on data sheet.
7. Discard test strip. Pour remaining sample down drain. Rinse beaker with distilled water for reuse or set to dry.
8. Wash hands if needed.

Rinse Bottles with distilled water and place upside down in dish rack to dry. During the following day, after drying, replace caps on Bottles so that airborne particles do not contaminate bottles.

WELL WATER QUALITY IN SAN MIGUEL DE ALLENDE
Phase I Results and Conclusions: Appendix B

Coliform Presence/Absence Procedures

1. Collect and organize samples for analysis.
2. Open sample bag and add sample to the 100-mL fill-to line on the P/A Broth Disposable Bottle. Replace cap.
3. Incubate sample at 35°C for 24 hours.
4. Note the reaction after 24 hours of incubation and evaluate based upon the Coliform P/A Interpretation Table below. Record results on appropriate data sheet. If sample is positive, then discontinue incubation and proceed to step 6. If sample is negative, continue incubating for another 24 hours.

Coliform P/A Interpretation Table

Reaction	Comments	Report as:
Color change from reddish purple to yellow or yellow brown.		Positive for total coliform.
No color change after 24 hours.	Incubate for an additional 24 hours and recheck the sample for color change.	
No color change after 48 (+- 3 hours).		Negative for total coliform.
Flourescence under long-wave UV light (if using P/A Broth with MUG).		Positive for E.coli.

5. After 48 (+- 3 hours), recheck sample and reevaluate based upon the Coliform P/A Interpretation Table above.
6. Take samples that test positive to dark room and expose to the long-wave ultraviolet (UV) light. Evaluate based upon the Coliform P/A Interpretation Table above, and record results.
7. Dispose of samples in sewer and destroy sample containers.