

**Caracterización físico-química y
bacteriológica del agua de consumo de las
comunidades de Jicarito y San Antonio de
Oriente, Honduras**

Ana Lucía Murillo Guerrón

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Caracterización físico-química y bacteriológica del agua de consumo de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, Honduras

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Ana Lucía Murillo Guerrón

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2008

Caracterización físico-química y bacteriológica del agua de consumo de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, Honduras

Presentado por:

Ana Lucía Murillo Guerrón

Aprobado:

Erika Tenorio, M.Sc.
Asesora Principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera de Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente

Carlos Quiroz, M.Sc.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Murillo, A. 2008. Caracterización físico-química y bacteriológica del agua de consumo de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniero en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Valle de Yeguaré, Honduras. 60p.

El presente estudio se realizó con el fin de evaluar la calidad de las fuentes de agua de consumo en las comunidades de San Antonio de Oriente y Jicarito en Honduras, como respuesta a estudios pasados que indicaron concentraciones de plomo y aluminio sobre el valor máximo permisible establecido en la Norma Técnica Nacional de Calidad de Agua (NTNCAP). La realización de un nuevo estudio, tuvo como objetivo identificar y determinar a detalle el comportamiento y la presencia de agentes contaminantes en las fuentes. Dos fuentes de abastecimiento de Jicarito y una de San Antonio de Oriente se midieron con una frecuencia de dos veces por mes entre los meses de abril y agosto del 2008. El estudio se realizó en tres partes: físicoquímicos generales, bacteriológicos y metales. Los físico-químicos generales se midieron *in situ* mediante un sensor multiparámetros HACH. Metales disueltos y totales se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica, aluminio total mediante colorimetría HACH, y aluminio total por espectrofotometría de anaranjado de xilenol. El cloro se midió mediante dietil-p-difenildiamina y se realizó conteos de bacterias coliformes por el método Placas Petrifilm™ 3M™. Todos los muestreos fueron acompañados de aforos de caudal. En resultados el pH de las fuentes, indicó un valor entre 3 a 5 indicando una relación inversamente proporcional con la disponibilidad de metales en el medio. La fuente de San Antonio de Oriente presentó valores de aluminio, hierro, plomo y cadmio, sobre su máximo permisible, el aluminio presentó un valor máximo de 1.47 mg/L, 7 veces por encima de su máximo permisible. En la naciente la Cuevita, el aluminio se mantuvo por encima del máximo permisible en todos los muestreos, el máximo valor presentado fue de 1.08 mg/L que estuvo 5 veces por encima del máximo permisible establecido en la norma, mientras que el Manzanal, presentó resultados dentro de la NTNCAP. Se determinó el comportamiento de la fuente y se propuso opciones de manejo para las Juntas de Agua, al igual que recomendaciones en el sistema de abastecimiento, para evitar futuros problemas en la salud de los moradores de la zona.

Palabras Clave: Calidad de agua de consumo, contaminación, metales en agua, máximo permisible, máximo recomendado, Norma Técnica Nacional de Calidad de Agua Potable, análisis físico-químico, análisis bacteriológico, especiación de metales.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3 MATERIALES Y MÉTODOS	14
4 RESULTADOS	24
5 DISCUSIÓN	42
6 CONCLUSIONES	45
7 RECOMENDACIONES.....	46
8 BIBLIOGRAFÍA	48
9 ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Categorización por niveles de especiación de Metales	13
2. Localización de puntos de muestreo para la recolección de muestras en San Antonio de Oriente y Jicarito.....	14
3. Grupos Geológicos Predominantes del Departamento Francisco Morazán	16
4. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en San Antonio de Oriente	24
5. Registro metales en toma de agua para consumo San Antonio de Oriente	25
6. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en Jicarito1	30
7. Registro de metales en Jicarito1.....	30
8. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en Jicarito 2	35
9. Registro de metales en Jicarito2.....	36
10. Resultados de oferta diaria por muestreo San Antonio de Oriente	40
11. Resultados de oferta diaria por muestreo San Antonio de Oriente	40

Figura	Página
1. Fluido que circula por un tubo de área conocida.....	7
2. Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestreo en las microcuencas El Gallo y La Salada..	15
3. Funcionamiento Equipo de Medición (Perkin-Elmes Corporation, 1996).....	19
4. Concentraciones de aluminio y caudal. fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente.	25
5. Relación aluminio-pH de fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente	26
6. Concentraciones de cadmio y caudal fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente.	26

7. Relación cadmio-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca San Antonio de Oriente.....	27
8. Concentraciones de hierro y caudal, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente	27
9. Relación hierro-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente,.....	28
10. Concentraciones de plomo y caudal, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente	28
11. Relación plomo-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente	29
12. Concentraciones de aluminio y caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	30
13. Relación aluminio-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	31
14. Concentraciones de cadmio y caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	32
15. Relación cadmio-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito.....	32
16. Comparación hierro con caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito.....	33
17. Relación hierro-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	33
18. Concentraciones de plomo y caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	34
19. Relación plomo-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito	34
20. Concentraciones de aluminio y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito	36
21. Concentraciones de cadmio y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito	37
22. Concentraciones de hierro y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito	37
23. Concentración de plomo y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito	38

Anexo

Página

1. Parámetros de calidad de agua según la Norma Técnica Hondureña.....	52
2. Resultados Encuesta Junta de Agua San Antonio de Oriente y Jicarito.....	53
3. Parámetros Bacteriológicos Según la NTNCAP, Honduras.....	54
4. Correlaciones	54
5. Diagramas de Flujo.....	57

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un componente de vital importancia para el ser humano, su disponibilidad y calidad, garantizan el óptimo desenvolvimiento de diversas actividades en ámbitos económicos, sociales y ambientales. Entre los usos de mayor importancia se encuentra el consumo de agua, necesidad que se presenta de forma intrínseca en todos los seres vivos. Esta agua destinada a consumo, también conocida como agua salubre o potable, debe cumplir con una serie de estándares de calidad, de forma que se garantice el beneficio y el buen estado de salud del consumidor. El agua de consumo es regida por normas que establecen máximos permisibles estipulados a nivel mundial, no obstante, cada país se ve en la obligación de formular su propia norma a nivel nacional, ajustándose a la realidad del territorio.

En el caso de la República de Honduras, en el año 1995, la Secretaría de Salud Pública, emitió la Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable (NTNCAP), la cual tiene por objetivo proteger la salud pública por medio del establecimiento de niveles adecuados o máximos de agentes que pueden poner en riesgo la salud de la comunidad e inconvenientes en la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

La situación actual del agua para consumo en el sistema Hondureño ha presentado mejoras en las últimas décadas, aún así, la cobertura del servicio es deficiente, no toda la población satisface sus necesidades, ni se da un aval certero de óptimas condiciones del recurso para el consumo humano. Según el Censo de Población y Vivienda del 2000 el 47.7% de la población vive en zonas urbanas y el 52.3%, en zonas rurales, de los cuales en el sector urbano el servicio de potable tiene una cobertura del 82% a través de conexiones domiciliarias, mientras que el sector rural es de tan sólo 44%.

El acceso al agua en zonas rurales en su mayoría es limitado. Las Juntas Administradoras de Sistemas de Agua, son las organizaciones de participación social dentro de la comunidad, que están en vista de la adquisición, distribución, conservación y calidad del recurso hídrico, siempre sujetas a la normativa del Estado; sin embargo, es en esta área del país donde se presentan los mayores problemas de manejo y contaminación de agua. Según CEPIS (2000) En Honduras las enfermedades de origen hídrico representan el primer lugar de morbilidad y el segundo en tasas de mortalidad infantil, con un fuerte impacto en los niños menores de un año. Esto se debe principalmente al ineficiente al desconocimiento generalizado del estado de las fuentes, a la carencia de sistemas eficientes de tratamiento y al mal manejo doméstico del agua.

En vista de lo anterior, el presente estudio busca implementar un monitoreo del agua de consumo en las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente ubicadas en el Valle del

Yeguaré a 40 Km de Tegucigalpa, en el Departamento de Francisco Morazán, Honduras. Estas comunidades se encuentran dentro de la microcuenca el Gallo y la microcuenca La Salada, donde viven alrededor de 5000 habitantes en Jicarito y 360 habitantes en San Antonio de Oriente. A pesar de la cercanía con la capital, el sistema de abastecimiento de agua potable es bajo y se han observado problemas en la salud por el consumo de agua contaminada.

Según el Programa de Manejo Integrado de Recursos Ambientales USAID/MIRA (2005), un monitoreo de calidad de agua se debe desarrollar bajo una línea base, que incluye, la perspectiva general de la sociedad al recurso, la revisión de estudios anteriores, diagnósticos pertinentes y muestreos, que a su vez se apoyan en la Norma Técnica de Calidad de Agua para el análisis de parámetros microbiológicos, organolépticos, físico-químicos, sustancias no deseadas y compuestos tóxicos orgánicos-inorgánicos. Existen limitaciones económicas y técnicas para la realización de monitoreos apropiados, los cuales idealmente deberían comenzar antes de definir una fuente para consumo, que por el contrario, se llevan a cabo cuando se asume la existencia de agentes en las fuentes que amenazan con la salud de la población.

La presente investigación busca realizar un monitoreo adecuado a las fuentes de captación de agua de las comunidades de San Antonio de Oriente y Jicarito, con el fin de generar un panorama claro del estado actual de las mismas, y consecuentemente, esclarecer las dudas existentes sobre la garantía de la calidad, el manejo del recurso y las posibles remediaciones en caso de ser necesarias, por parte de los usuarios de la zona.

1.1 ANTECEDENTES

En el año 2007 la empresa Clean Filtration Technologies, creadora de productos y servicios de purificación y saneamiento de agua, se dispuso a hacer una investigación sobre la calidad del agua ingerida en ciertas zonas rurales del territorio Hondureño. Esta investigación tuvo el apoyo del Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados SANAA, entidad que realizó muestreos en varias fuentes de agua para consumo, incluyendo las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente.

Según Álvarez (2008), los resultados del muestreo para Jicarito y San Antonio de Oriente, revelaron concentraciones altas de aluminio y plomo en el agua de consumo. La propuesta por parte de la empresa Clean Filtration Technologies, fue la instalación de una planta de tratamiento de metales, cuyo costo estaba alrededor de los US 100,000.00, la población desistió de inmediato la oferta, pero decidió realizar un segundo muestreo, esta vez apoyados por el laboratorio UNILAB de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). En esta segunda ocasión se encontraron concentraciones elevadas de Aluminio en una de las dos principales fuentes de abastecimiento para dicha comunidad. (Tenorio, 2008)

En el pasado San Antonio de Oriente presencié actividad minera, lo cual ha dejado incertidumbre del efecto ambiental ocurrido y la posible existencia de contaminación por parte de metales pesados en las fuentes de agua. Debido a esto y a los resultados

anteriores de los análisis de muestreos aleatorios de las distintas fuentes de captación, la preocupación comunal sobre la calidad del recurso es significativa.

1.2 JUSTIFICACION

Los metales, sobre su máximo permisible, son considerados elementos no deseables en el agua de consumo humano. Según Segura *et al* (2003) Los metales se caracterizan por tener un efecto bioacumulativo en el cuerpo humano, siendo en concentraciones superiores a las recomendadas responsables de causar daños en el sistema nervioso central y periférico, renal, hematopoyético y esquelético, algunos también presentan efectos cancerígenos. Dependiendo de grado y tiempo de exposición, las consecuencias a la salud varían.

Debido a la situación de la incierta calidad del agua de consumo en las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, y a la preocupación existente entre los líderes comunitarios, se requiere una caracterización total y periódica de agentes contaminantes del recurso en uso, de esta forma se legitimará el nivel real de contaminación de las fuentes y consecuentemente sus posibles soluciones.

1.3 LÍMITES DEL ESTUDIO

El monitoreo de las fuentes se enfocó en las fuentes de abastecimiento, de las que parte el sistema de abastecimiento de agua para consumo de Jicarito y San Antonio de Oriente. Se realizaron seis muestreos entre los meses de abril a agosto, en todas las fuentes se siguieron los mismos parámetros de medición y protocolos de muestreo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Caracterizar cuantitativamente y mediante protocolos internacionales, la calidad del agua destinada a consumo en las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente con el fin de identificar potenciales amenazas a la salud y proporcionar alternativas de tratamiento de para las mismas.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Monitorear las concentraciones de metales pesados e indicadores de contaminación fecal en el agua de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente.
2. Monitorear el caudal de entrada a los tanques de abastecimiento en las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente.
3. Indagar sobre las posibles causas de contaminación o tratamiento inadecuado en estas fuentes de agua.

4. Evaluar los mecanismos de desinfección del agua para consumo en ambas comunidades.
5. Proponer una alternativa de manejo para reducir o eliminar, los contaminantes que fuesen identificados

1.5 LIMITANTES

Las principales limitantes presentadas durante el estudio fueron:

1. Toma de Caudal.-Debido a la variación climática y al cambio de temporada de seca a húmeda, los datos de caudal poseen picos muy altos o bajos, sin mostrar una secuencia clara del comportamiento del cuerpo de agua.
2. Equipo de Toma de Datos.-La toma de datos no siempre se la realizó con el mismo sensor en algunos parámetros, por lo que la toma de datos de Oxígeno Disuelto fue variable y sin resultados finales congruentes.
3. Cloro residual.-Cabe recalcar que el día de muestreo de Cloro Residual dentro de la comunidad, el Cloro presento un nivel por arriba de su máximo permisible, lo cual mostró que la cloración se la hizo el propio día del muestreo, opacando el verdadero resultado de cloro residual.

1.6 ALCANCE

El estudio realizado servirá a futuro para la toma de decisiones de la comunidad en cuanto al manejo del recurso hídrico. Se podrá usar para justificar propuestas de construcción de plantas de tratamiento comunitario, o la implementación de procesos de tratamientos comunitarios para mejorar la calidad del agua que es abastecida.

1.7 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas generales del agua destinada a consumo en las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente en el periodo Marzo-Octubre 2008?
2. ¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados e indicadores de contaminación fecal en estas fuentes de agua? Representan estas concentraciones una amenaza para la salud humana con base en las recomendaciones de la OPS?
3. ¿Cuál es la situación actual de las fuentes de agua que abastecen estas comunidades?
4. ¿Cuál es la oferta de agua para estas poblaciones?

En caso de encontrar niveles significativos de los contaminantes estudiados:

5. ¿Cuáles son las alternativas de tratamiento para bajar los niveles de concentración de los metales pesados presentes en las fuentes y qué hacer con la carga bacteriológica para mismos?

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CALIDAD DE AGUA

El concepto de calidad de agua guarda una estrecha relación con el uso que se le pretende dar. Las civilizaciones modernas utilizan el agua para distintos propósitos, entre los principales tenemos: uso doméstico, industrial, hidroeléctrico, navegación, irrigación crianza de ganado y aves de corral, vida acuática y recreación. Cada uno de ellos tiene requerimientos específicos de calidad y a su vez origina cambios en el agua utilizada (Kirchmer, 2006).

La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas, adquiridas a través de procesos naturales y antropogénicos que limitan o perjudican su uso. Esta es evaluada al comparar los valores que asumen los parámetros indicadores con estándares y criterios establecidos. La variación espacio temporal de la calidad se modifica por el influjo de múltiples actividades socioeconómicas y naturales, y la intensidad de ésta variación es determinada por las características propias de éstas dinámicas (CORTOLINA, 2006).

Según la NTNCAP (1995), define que un agua potable es toda agua, que empleada para ingesta humana, no causa daños a la salud y cumple con las disposiciones de valores guías estéticos, organolépticos, químicos, físicos, biológicos y microbiológicos.

2.1.1 Características de agua subterránea

Según Cherry y Freeze (1979) el término agua subterránea es usado para describir el agua retenida bajo la superficie de la tierra o formaciones geológicas del suelo que se encuentran saturados.

El agua subterránea se produce en varias formaciones geológicas. Casi todas las piedras en la parte superior de la corteza terrestre, sin importar su tipo, origen o edad, poseen pequeñas aberturas llamados poros, En material granular no consolidado, los poros son los espacios entre los gránulos, los cuales pueden ser reducidos por la compactación. En rocas consolidadas, los únicos poros posibles son las fracturas o fisuras, que son generalmente restringidos. El volumen de agua contenida en la roca depende del porcentaje de poros existentes en un determinado volumen, lo que se denomina la porosidad de la roca, mientras más espacios porosos existan va a ser mayor la cantidad de agua almacenada (Chapman, 1996).

La existencia de metales traza en agua subterránea ha tomado gran interés en los últimos años, en especial por los estándares que determinan los máximos permisibles y límites recomendados para el agua potable. Los metales traza por lo general, a excepción del hierro, se encuentran en el agua a una concentración por debajo de 1 mg/L. Una característica de los metales en agua subterránea es la disponibilidad condicionada por la reacción redox, aún así es difícil predecir el comportamiento de los metales en los sistemas de flujo. En muchos ambientes subterráneos la adsorción y la precipitación causan reacciones en los metales del medio, que los impulsan a moverse hacia las fuentes subterráneas, acción que puede generar serias consecuencias en el comportamiento de la fuente (Cherry y Freeze 1979).

La calidad natural del agua subterránea es controlada por las características geoquímicas de la litosfera, la porción sólida de la tierra y las relaciones hidro-químicas de la hidrosfera con la porción acuosa de la tierra. Las reacciones físico-químicas entre suelo y agua son de considerable importancia al momento de predecir o evaluar la naturaleza de impactos antropogénicos en la calidad del agua subterránea, la mayoría de procesos geológicos influyen en los recursos de agua subterránea. Existe una estrecha interrelación entre el sistema flujo de agua subterránea y las formas geomorfológicas desarrolladas en la corteza terrestre por los procesos fluviales y glaciales, o la naturaleza de las pendientes (Chapman, 1996).

2.1.2 Caracterización de calidad de agua

La caracterización de calidad de agua es un proceso de evaluación física, química y biológica de las condiciones naturales del agua. La razón principal de una caracterización, tradicionalmente, es verificar y observar si la calidad de agua es la adecuada para su destino y uso actual.

Para lograr una efectiva caracterización es necesario implementar de un programa enfocado en la distribución espacial (número de lugares de muestreo), la tendencia (frecuencia de muestreos) y los contaminantes (la profundidad del inventario) de la fuente (Chapman, 1992). Asimismo, Chapman (1996) plantea que es necesario identificar los objetivos para definir los pasos que aseguran un buen diseño de los programas de caracterización, siendo estos pasos:

1. Selección de un lugar apropiado de muestreo
2. Determinación de las variantes en la calidad del agua según información preliminar
3. Integración de un monitoreo hidrológico y de calidad de agua
4. Una periódica revisión y modificación del diseño del programa

En cuanto al monitoreo hidrológico y de calidad de agua existen dos diferentes tipos que se usan para la caracterización de fuentes. El primero se refiere al monitoreo de un objetivo, que se caracteriza por determinar un sólo problema en el área. Éste envuelve variables simples, como pH, alcalinidad, lluvia ácida, nutrientes, eutrofización, niveles de nitratos, concentraciones de sodio, calcio, cloro y otros elementos. El otro programa es el monitoreo multi-objetivos, que se caracteriza por cubrir varios aspectos del uso de agua y provee varia información sobre actividades como la oferta de agua para consumo, la

industria manufacturera, la vida acuática, en las cuales se tienen varias variables en estudio.

Un monitoreo debe contar con una base de datos que establezca los regímenes hídricos acontecidos en la zona en estudio. Esto ayuda a determinar y a generar una combinación evaluativa que define el comportamiento de las fuentes de estudio a través del tiempo y el espacio y a comprender la variabilidad de la fuente (Chapman, 1996).

2.1.3 Parámetros de calidad de agua

Los parámetros de calidad de agua para consumo son estándares que determinan el estado físico, químico y biológico del agua; la implementación de parámetros es regulada por la Organización Mundial de Salud (OMS) que es la institución encargada de verificar si esos estándares cumplen su misión principal de proteger la salud pública. La OMS se encarga de concentrar y establecer pautas, las cuales son adoptadas e impuestas por algunos países voluntariamente. Cada país es libre de establecer sus propias normas, las cuales pueden ser menores, iguales o más estrictas que las recomendadas por la OMS (Truque, 2007).

2.1.3.1 Parámetros físico-químicos.

Las características físico-químicas del agua son proporcionadas por la interacción del agua con el medio, en Honduras estos parámetros están regulados por NTNCAP que señala máximos permisibles y recomendables para cada aspecto de la calidad de agua.

Según Hilleboe (2006), caudal se define como el volumen de agua que pasa a través de una sección dada, sea esta un conducto natural o artificial, en un tiempo determinado. Las unidades más usadas son: galones por minuto (gal/min), galones por hora (gal/hr), litros por minuto (L/min), metros cúbicos por hora (m^3/hr), litros por segundo (L/s), entre otras.

El caudal sirve para brindar información acerca del volumen o gasto total del agua que fluye durante todo un día, de esta forma se puede determinar las ofertas que las fuentes presentan y también establecer la cantidad de extracción permitida, si dicha actividad existiese en la fuente.

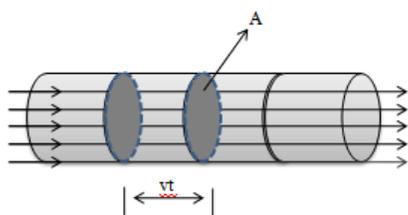


Figura 1. Fluido que circula por un tubo de área conocida.

Donde:

Q=caudal, volumen por unidad de tiempo

A=área a través de la cual fluye el agua, medida perpendicularmente a la dirección del flujo (usualmente en cm^2 o m^2)

V=velocidad media de flujo, o distancia por unidad de tiempo

Para la medición de caudal se uso el método de velocidad por tiempo, las unidades utilizadas son ml/s.

$$Q = \frac{V}{T} \quad [1]$$

Donde:

Q=es el caudal

V=volumen conocido que través del flujo del agua, se llena

T= tiempo que demora el agua en llenar el vaso (Hilleboe, 2006)

Otro parámetro físico es la temperatura, medida que refleja la intensidad o cantidad de calor que posee un cuerpo y determina la dirección en la cual fluye el calor. (Cárdenas *et al.* 2001). Las características físicas, biológicas y químicas del agua dependen directamente de la temperatura. Los cambios leves de temperatura no causan trastornos en los seres humanos, pero pueden causar disturbios en los ecosistemas acuáticos. El incremento en la temperatura del agua aumenta la actividad biológica de los organismos acuáticos, al igual que el crecimiento de microorganismos como las bacterias, acelera las reacciones químicas y además afecta la disponibilidad de oxígeno (McKinney, 2008).

La turbidez es un parámetro físico que se refiere a la claridad del agua en cuanto el contenido de material en suspensión que se encuentra en el medio; es la cantidad de luz que puede ser difundida o absorbida por un fluido debido a la presencia de partículas suspendidas como arcilla, limo, arena, algas, plancton, microorganismos y otras sustancias. La turbidez es medida en unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

La calidad del agua puede verse afectada por la turbidez, en temperatura por ejemplo, se presenta un aumento debido a que las partículas en suspensión absorben más calor. A su vez, se reduce la concentración de oxígeno disuelto. Los factores que pueden incrementar la turbidez en el medio son, la erosión del suelo, la escorrentía urbana, el movimiento de sedimento y el excesivo crecimiento de algas (EPA, 1997). Según los parámetros establecidos por la Organización Panamericana de Salud (OPS) los parámetros organolépticos tienen un valor máximo permisible de 5 UNT y óptimo de 1 UNT. La NTNCAP en turbiedad coincide con los valores de máximos permisibles y recomendados por la OPS.

La conductividad eléctrica, es una medida de capacidad del agua en pasar corriente eléctrica que se ve afectada por la presencia de aniones inorgánicos disueltos (carga negativa), como el cloro, nitratos, sulfatos, fosfatos y cationes (carga positiva) como el sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio. Los compuestos orgánicos no son buenos conductores de electricidad, por ello su contribución a la conductividad es muy baja en el cuerpo de agua. La conductividad eléctrica también se ve afectada por la temperatura, se presenta una relación directamente proporcional; a mayor temperatura, mayor conductividad. Por esta razón, todos los valores de conductividad son reportados a una temperatura de 25 °C (Boman, *et al.* 2002).

La medición de la conductividad eléctrica es tomada por electrodos de platino y se representa en unidades de conductancia. La caída de tensión causada por la resistencia del agua se utiliza para calcular la conductividad por centímetro. Boman, *et al.* (2002) plantea que la medición en términos de conductancia (milli-mho/cm o mmho/cm) es igual a la medición en siemens por metro (dS/m), establecida por el Sistema Internacional de Medidas.

Entre los parámetros químicos está el pH, término usado para indicar la acidez o alcalinidad de una sustancia, la escala de medición va de 1 a 14, la cual mide la concentración logarítmica negativa de hidrogeniones en un medio, siendo su ecuación:

$$pH = -\log [(H^+)] \quad [3]$$

A medida que el pH baja indica que la sustancia tiene un grado de acidez alto y cuando sube indica grado de alcalinidad o básico alto. Según Cech (2005), este parámetro es considerado como de uno de los principales indicadores en calidad de agua. El pH afecta a muchos procesos químicos y biológicos en el agua. Los cambios de pH en forma natural pueden ser causados por la deposición atmosférica (lluvia ácida), la roca circundante, y algunas descargas de aguas residuales (EPA, 1997).

La OPS ha establecido un rango de pH de 5.0-9.0 como valor permisible para agua de uso doméstico y para agua de consumo directo el pH debe estar en un rango de 6.5–8.5 (WHO, 2007).

2.1.3.2 Parámetros bacteriológicos.

Estos parámetros se refieren a la carga bacteriológica de un cuerpo de agua potencialmente relacionada con patógenos que por medio de contaminación puntual o no puntual de la fuente, trae graves consecuencias a la salud humana si esta es ingerida. La NTNCAP establece máximos permisibles en la cantidad de coliformes totales y coliformes termotolerantes, que son indicadores directos de contaminación.

Las bacterias coliformes o coliformes totales se han utilizado durante muchas décadas como un indicador de calidad en agua potable. La mayoría de estas bacterias están ampliamente distribuidas en el ambiente (Perry, *et al.* 1999). La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas residuales u otro tipo de desechos en descomposición. Las guías de la OMS establecen un parámetro de 0 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) en 100 ml para bacterias coliformes totales (Truque, 2007).

Los coliformes termotolerantes, también conocidos como fecales, son microorganismos que tienen las mismas propiedades de los coliformes totales pero a temperatura de 44 a 45.5°C, siendo *Escherichia coli*: el indicador más preciso de contaminación fecal. Las bacterias coliformes termotolerantes tienen la propiedad de fermentar lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol y también producen indol a partir del triptófano. La cantidad de coliformes termotolerantes recomendada por las Guías de la OMS es de 0 UFC. La mayoría de los países se ajustan a este estándar y lo adoptan dentro de sus normas nacionales (Truque, 2007).

2.1.3.3 Metales en agua para consumo.

Los metales son elementos que se encuentran de forma natural en minerales de la corteza terrestre. Algunos metales, como el calcio, zinc, hierro son recomendados en la dieta humana en ciertas proporciones; por otro lado, los metales tales como: plomo, cadmio, mercurio, cromo y arsénico, pueden ser tóxicos sin importar su cantidad en la ingesta humana. La minería, excavación y otras actividades de construcción pueden hacer que los metales que se encuentren en el suelo sean expuestos al ciclo hidrológico. La escorrentía, percolación o la extracción de agua por bombeo pueden crear reacciones químicas que pueden ser peligrosas para la vida humana y animal. Actividades que dispersen sedimentos de las profundidades de lagos o arroyos, pueden ocasionar que los metales permanezcan en suspensión por un largo período de tiempo (Cech, 2005).

El agua puede ser contaminada por metales de manera natural o a través de diferentes procesos de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, afectando su calidad en el punto final de consumo (Segura, *et al.* 2003).

El aluminio se presenta de forma natural en casi todos los alimentos, la ingesta alimentaria está alrededor de 20 mg/día de consumo. Las sales de aluminio son usadas ampliamente en antitranspirantes, jabones, cosméticos y aditivos alimenticios. El aluminio es común en agua tratada, especialmente en las tratadas con alumbre. Se estima que en el agua potable normalmente existe una fracción del aluminio que se consume por tratamientos de depuración (Reiber, *et al.* 1995). El aluminio muestra un bajo nivel de toxicidad en agua, experimentos en el pasado demuestran que este elemento es neurotóxico (Ganrot, 1986). La exposición a aluminio en mayores cantidades afecta a la absorción de fósforo resultando en debilitamiento, dolor de huesos y anorexia. Según Perry, *et al.* (1999), el aluminio presenta una relación negativa en la incidencia de cáncer, mutagenicidad y teratogenicidad, además provoca dos desordenes neurológicos, Alzheimer y demencia asociada con diálisis renal.

Kopeloff *et al.* (1942) y Klatzo *et al.* (1965) realizaron estudios en animales expuestos a aluminio bajo condiciones controladas, demostrando una correlación entre los trastornos neuropatológicos y aluminio ingestado (Srinivasan, *et al.* 1999). El 68.42% de los países se rige por la recomendación de la OMS de permitir como máximo 0.2 mg/L de aluminio en agua de consumo, la NTNCAP, también establece el máximo permisible del valor recomendado por la OMS (Truque, 2007).

El cadmio entra en el medio ambiente por la aplicabilidad en actividades industriales, como lo son la minería, fundición, galvanoplastia, baterías, pintura, y la producción de plásticos. El cadmio se produce por la explotación de zinc y puede entrar en contacto con el consumidor, cuando existe corrosión de tubos galvanizados en grifos de abastecimiento de agua. En el corto plazo se ha encontrado que el cadmio puede causar efectos en la salud, cuando las personas están expuestas a éste por encima del límite máximo permisible; pudiendo ocasionar: náuseas, vómitos, diarrea, calambres musculares, salivación, alteraciones sensoriales, daño hepático, convulsiones, shock y problemas renales. Al largo plazo el cadmio tiene el potencial de causar efectos dañinos en la salud como afectar los riñones, el hígado, los huesos y la sangre (USEPA, 2006).

Investigaciones de laboratorio han demostrado que el cadmio induce a tumores en los testículos y a la próstata, (ASTRE, 1993) la incidencia del tumor en el pulmón se incrementa en las personas expuestas al cadmio por inhalación (Perry, *et al.* 1999). La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (USEPA) no considera al cadmio como cancerígeno en lo que respecta agua de consumo, debido a que la observada incidencia de cáncer en los seres humanos se produce por inhalación. La regulación se encuentra sobre la base de su toxicidad renal en los seres humanos (Perry, *et al.*: 1999) El valor máximo permisible establecido por la OMS es de 0.003 mg/L, valor que la NTNCAP también toma a consideración.

Según USEPA (2008), el cobre es un elemento que se encuentra comúnmente en el agua potable. El origen del cobre puede derivarse de meteorización de rocas, y algunos contaminantes industriales, pero las principales fuentes de abastecimiento de agua son la corrosión de tuberías de cobre y latón, como también la adición de sales de cobre durante el tratamiento de las aguas para el control de algas.

El cobre es un micronutriente esencial para la vida, la falta de cobre conduce a anemia, defectos en el sistema óseo, degeneración del sistema nervioso y anomalías en el sistema reproductor. La ingesta adecuada de cobre es de 1.5 a 3 mg/día. El exceso de esta dosis por lo general son excretados, pero a dosis altas, el cobre puede causar efectos agudos, como problemas gastrointestinales (GI), daños al hígado y al sistema renal (Perry, *et al.* 1999). El nivel recomendado de cobre por la OMS es de 2 mg/L, el cual es adoptado por el 26.31% de los países, entre los que se encuentran México, Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Venezuela (Truque, 2007).

El hierro es uno de los minerales más abundantes de la corteza de la tierra, muy frecuente en las aguas subterráneas. El hierro no es considerado peligroso para la salud. Cuando el nivel de hierro en el agua excede una concentración de 0.3 mg/L, el agua comienza a presentar sabor metálico y un olor ofensivo. Por esta razón, el 88.88% de los países del Continente Americano, entre ellos Honduras, establecen en sus Normas Nacionales de Calidad de Agua, un límite máximo permisible de hierro de 0.3 mg/L. (Truque, 2007).

Cabe recalcar que en individuos genéticamente susceptibles a la hemocromatosis, un exceso de hierro puede ser acumulado en el cuerpo, en órganos como el hígado, páncreas, creando riesgo a la salud a largo plazo (Motulsky, 1998).

El níquel es un metal que se encuentran de forma natural en minerales que contienen otros elementos. El mayor uso del níquel está en la producción de acero inoxidable y derivados. Es uno de los metales más móviles cuando se libera al agua, especialmente en aguas contaminadas (USEPA, 2007). Al largo plazo, el níquel puede causar efectos negativos a la salud cuando se encuentra a niveles por encima del máximo admisible; la disminución de peso corporal; problemas al sistema cardiovascular, problemas al hígado e irritación de la piel, son algunos de los problemas presentados en la salud humana por concentraciones de níquel sobre la su máximo permisible. (USEPA, 2007). La OMS recomienda una concentración máxima de 0.1 ppm, mientras que la NTNCAP establece un máximo permisible de 0.02 mg/L.

Según USEPA (2007), el plomo, es un metal que se encuentra en depósitos naturales, muy utilizado en la industria como material de fontanería. La presencia de este metal en agua potable se debe al efecto de corrosión en tuberías y grifos elaborados por soldaduras a base de plomo (Perry, *et al.* 1999). El plomo a niveles sobre los recomendados, causa efectos nocivos a la salud. En los niños, la exposición al plomo por encima del nivel de aceptación resulta en retrasos de desarrollo físico y mental. En adultos, causa un aumento en la presión arterial y son propensos a desarrollar problemas renales (USEPA, 2005).

Las altas concentraciones de plomo en el cuerpo humano, están relacionadas con una serie de efectos fisiopatológicos como: interferencias en la sangre para la formación de glóbulos rojos, incidencia de anemia, problemas renales, deterioro del sistema reproductivo, interferencia con el metabolismo de la vitamina D y problemas de rendimiento físico-neurológico (USEPA, 2005).

La concentración de plomo en agua para consumo máxima admitida por la OMS es de 0.01 mg/L, valor que se mantiene en el 63.15% de los países americanos, la NTNCAP también incluye un máximo permisible de 0.01mg/L para agua potable (Truque, 2007).

El zinc es un metal químicamente activo pero poco abundante en la corteza terrestre. El agua potable contiene cierta cantidad de zinc, la cual puede ser mayor cuando es almacenada en tanques de metal. Las fuentes industriales como es la minería, la combustión de carbón y residuos, y el procesado del acero o los emplazamientos para residuos tóxicos pueden ser la causa de este metal en el agua potable llegando a niveles que causan problemas. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con zinc en sus orillas, el cual puede incrementar la acidez de las aguas. La OMS recomienda una concentración máxima de 3 mg/L, la cual es adoptada solamente por el 21.05% de los países, como Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Perú (Truque, 2007).

La toxicidad de los metales en el agua depende del grado de oxidación dado por la forma (especies) del metal en el medio. La forma de ión intercambiable en un metal es la más contaminante; esto indica que los metales al estar en un estado oxidado no presenta anomalías, al contrario de presentar un pH ácido, que provoca la oxidación y convierte el metal en un elemento reducido, con su consecuentemente dilución en la fuente. (Chapman, 1992).

La distribución de los todos metales antes mencionados en un cuerpo de agua depende del rango de pH (efecto de especiación). Según Castañe *et al.* (2002), especiación se define como la distribución de un elemento químico particular entre las diferentes formas en las cuales puede existir un metal en un medio determinado. La especiación explica el comportamiento de los metales pesados en sistemas acuáticos, su movilidad y la manipulación del mismo, de ser necesario.

Las diferentes especies de metales tienen un comportamiento distinto con respecto a la removilización y la biodisponibilidad. La fracción de metal más móvil es la adsorbida como ión intercambiable, lo que representa un riesgo de contaminación debido a la

liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales (Rosas, 2001). Los esquemas de especiación de metales se separan en cinco categorías de distribución:

Cuadro 1. Categorización por niveles de especiación de Metales

Categoría 1	Metales en forma de iones intercambiables	Estos pueden ser fácilmente liberados de los sistemas acuáticos
Categoría 2	Metal ligado a carbonatos	Se considera que los metales unidos a esta fase se liberarán al descender el pH de los sedimentos, al disolverse los metales precipitados en forma de carbonatos.
Categoría 3	Metal asociado a óxidos de hierro y manganeso	Los metales presentes en esta fase pasarán al agua en aquellas zonas donde el sedimento se encuentre bajo condiciones reductoras. Estos óxidos son sustancias de alto poder de absorción y son termodinámicamente inestable en condiciones anóxicas (valores bajos del potencial redox). Estos metales representan la fracción que se liberaría al pasar a condiciones oxidantes.
Categoría 4	Metal ligado a la materia orgánica	Un caso típico es la disposición de los sedimentos anóxicos sobre superficie en contacto con la atmósfera. Son los metales ligados a los minerales, formando parte de las estructuras cristalinas.
Categoría 5	Fase residual o litogénica	La liberación de metales en esta fase, en un período razonable de tiempo es ciertamente improbable.

Fuente: Rosas 2001, adaptación de la autora.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo entre los meses de mayo a septiembre del 2008, en dos fuentes de agua pertenecientes a la microcuenca Quebrada El Gallo, destinadas para consumo humano en la comunidad de Jicarito y una fuente naciente de la microcuenca Salada que abastece a la Comunidad de San Antonio de Oriente. Ambas comunidades forman parte del Municipio de San Antonio de Oriente, departamento de San Francisco Morazán, Honduras.

Los análisis de las fuentes de agua monitoreadas se realizaron en Tierra Blanca (San Antonio de Oriente), La Cueva, (Jicarito 1), y El Manzanal (Jicarito 2), Según Torres (1999), estas fuentes tienen origen en manantiales los cuales son sitios de afloramiento del agua subterránea proveniente de la montaña. Se llevaron a cabo seis muestreos en cada sitio. En cada muestreo se recolectaron 2.6 L de cada fuente. La periodicidad de muestreo fue de dos veces por mes.

Cuadro 2. Localización de puntos de muestreo para la recolección de muestras en San Antonio de Oriente y Jicarito. Honduras. 2008.

Lugar de Muestreo	Abreviatura	Ubicación Geográfica (UTM)
Toma de agua la Cueva Jicarito	J1	1550092, 495113
Tanque Cerro Jicarito	T1	1539632, 0496658
Toma de agua el Manzanal Jicarito	J2	15449851, 496658
Toma de agua tierra blanca San Antonio O.	SAO	1552776, 0497268
Tanque de San Antonio de O.	TSAO	1552765, 0497288

UTM: **Sistema Universal de Medida Transversal**

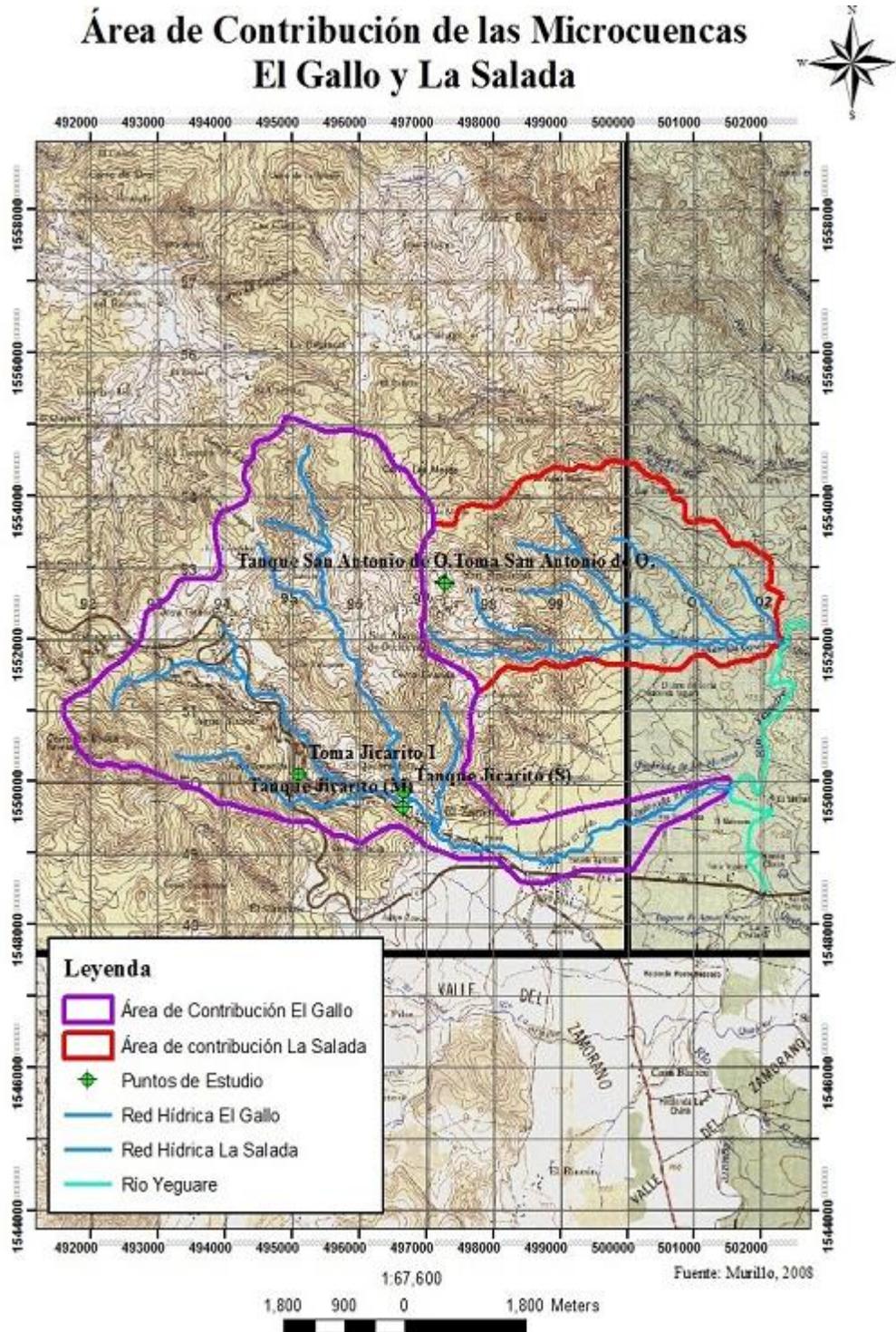


Figura 2. Mapa de ubicación geográfica de los puntos de muestreo en las microcuencas El Gallo y La Salada. 2008.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCAS ESTUDIADAS

Una cuenca hidrográfica es el área geográfica cuyas aguas superficiales vierten a un sistema de desagüe o red hidrológica común, confluyendo a su vez en un cauce mayor, que puede desembocar en un río principal, lago, pantano, marisma embalse o directamente en el mar. Está delimitada por la línea divisoria de aguas y puede constituir una unidad para la planificación integral del desarrollo socioeconómico y la utilización y conservación de los recursos agua, flora y fauna. (Rivera, 2001), Una cuenca está conformada por varias subcuencas o microcuencas, siendo la microcuenca el Gallo y la Salada parte de la cuenca del río Yeguaré.

La microcuenca Quebrada El Gallo tiene un área de 2, 440 ha de las cuales 108 ha se encuentran dentro de la Zona de Reserva del Cerro Uyuca, cuenta con un perímetro de 29.85 Km, una longitud de 8.3 Km y un ancho promedio de 2.93 Km. Tiene una elevación desde los 725 msnm hasta los 2, 008 msnm. (MIRA, 2005). La microcuenca La Salada tiene un área que atraviesa 1,6464 hectáreas, cuenta con un perímetro de 15.43ha.y un ancho promedio de 1.45ha. Su elevación va desde los 755.msnm hasta los 1528 msnm. Según Alvarez y Pérez (2007) la cobertura vegetal está caracterizada por vegetación latifoliada y se presentan actividades agrícolas y agropecuarias en la zona.

3.1.1 Características Geológicas

La geología de la zona según el cuadrángulo geológico de Tegucigalpa publicado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), citado por el Proyecto MIRA (2005), se reconocen tres grupos geológicos predominantes en la zona, los cuales son:

Cuadro 3. Grupos Geológicos Predominantes del Departamento Francisco Morazán, Honduras

Grupo Padre Miguel (TPM)	Riolíticas y andesíticas de colores blancos, rojos, rosados y verdes; critales de cuarzo, sanidinas, biotita y líticos de pómez y clástos de tocas lutitas, conglomerados, basaltos y andesítas. El grupo incluye las cenizas volcánicas no consolidadas de color rojizo, anaranjado y amarillento.
Basaltos del Cuaternario (Qb)	Se localiza principalmente en la parte alta y está constituido por coladas de basaltos de colores oscuros. Presentan pequeños cristales de olivino y plagioclasa y pocas escorias piroclasa con aspecto vesicular y vítrico. El contacto de éstos con las riolíticas, se nota por el cambio brusco a color y por la presencia de bloques de basaltos
Aluvión Cuaternario (QAL)	Se localiza en la parte baja de la microcuenca y está conformado por los depósitos aluviales recientes. Consisten de sedimentos del tamaño de grava, arena y guijarros de tobas, basaltos y otros materiales volcánicos

Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN), Adaptación Propia

3.1.2 Características del suelo

La distancia entre ambas microcuencas es reducida, por lo cual las características edáficas son similares. En tal sentido, se consideró como válida para ambas microcuencas la clasificación propuesta por Sánchez (1989), que dividió a los suelos en Milile, Salalica y Cocona.

Los suelos Milile son profundos de texturas moderadamente gruesas, medianas y finas, bien drenados, permeabilidad moderada, entre moderada a severamente erosionados, de topografía escarpada hasta montañosa, con pendientes mayores a 30%. Presentan, en algunos casos, contenidos de material orgánico, especialmente en aquellas áreas que no han sido intervenidas por el hombre. Son suelos desarrollados partir de cenizas volcánicas no consolidadas, en combinación con ignimbritas y andesitas, se hayan ocupados en la actualidad con bosque latifoliado y en parte con bosque de coníferas. Presentan vocación forestal e incluso de protección absoluta. Este tipo de suelo se localiza sobre los 1,400 msnm, es decir en la parte alta y media de las microcuencas.

Los suelos Salalica son suelos profundos moderadamente bien drenados, de texturas medianas y finas predominantemente, permeabilidad moderadamente lenta, moderadamente erosionados, con pendientes mayores al 30%, topografía escarpada a fuertemente escarpada, poco pedregoso y pocos afloramientos rocosos. Estos suelos se desarrollaron a partir de rocas extrusivas básicas constituidas principalmente por basaltos, andesitas e ignimbritas. En su mayoría son suelos de vocación forestal.

Los suelos Cocona se extienden desde el límite de la parte plana hasta la parte alta de las microcuencas. Son poco profundos, bien drenados, de texturas medianas y moderadamente gruesas, permeabilidad moderadamente rápida, moderadamente a severamente erosionados. Se localizan en pendientes mayores al 30% y en topografía escarpada hasta montañosa, son muy pedregosos superficialmente con presencia de afloramientos rocosos. En áreas más altas donde no hay intervención humana se presenta una pequeña capa de material orgánico.

Estos suelos se desarrollaron a partir de rocas extrusivas ácidas, constituidas principalmente por tobas riolíticas de grano grueso y en menor grado por ignimbritas de grano fino. Por sus características de poca profundidad, pendiente y pedregosidad, estos terrenos presentan vocación forestal.

3.1.3 Cobertura y Usos de las Fuentes

La cobertura vegetal está cubierta por bosques de especies de coníferas y hoja ancha en diferentes etapas de sucesión. *Pinus oocarpa* es quizás, la especie que mejor identifica este ecosistema. El recurso hídrico es exclusivamente para solventar la demanda para consumo humano, muy poca cantidad es utilizada para actividades agrícolas y la tendencia a futuro cercano es mantener su uso actual. Esto se debe a que las fuentes de agua están ubicadas dentro de la zona de reserva por lo que su uso está regulado exclusivamente para consumo humano (MIRA, 2005).

3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA

El análisis experimental se realizó en el Laboratorio de Calidad de Agua de Zamorano y se contó con el apoyo del Laboratorio UNILAB de UNITEC y el Centro de Estudio y Control de Contaminantes (CESCCO) de la SERNA.

La medición de los parámetros físico-químicos generales; pH, conductividad eléctrica y temperatura, se realizaron *in situ* a las fuentes con la ayuda de un Multisensor HACH® al momento de la toma de muestras. Para el aforo del caudal se utilizó el método de volumen por tiempo.

3.2.1 Muestreo

Previo al muestreo, los envases de polietileno de alta densidad son enjuagados tres veces con una porción del agua a muestrear, luego de esto se los llena completamente. El volumen por muestra receptada para los análisis físico-químicos fue de 2 L, el mismo que se dosificó en: 1 L para los análisis de metales utilizando el método de absorción atómica en el Laboratorio de CESCCO, 500 ml para análisis de aluminio por método colorimétrico en el Laboratorio de Calidad de Agua de Zamorano y 500 ml para análisis de Al por Espectrofotometría en UNILAB.

En lo que respecta a la examinación bacteriológica, se recolectó 100 ml de muestra, las cuales se tomaron de forma directa con bolsas de plástico estériles para muestreo y preservadas a temperatura de 7 °C hasta el momento de su análisis.

Las muestras recolectadas para los análisis de metales pesados fueron preservadas mediante un proceso de acidificación con Ácido Nítrico (HNO_3). La dosis utilizada fue de 1.5 ml de ácido por litro de muestra. Luego se las conservó a una temperatura promedio de 7 °C.

3.2.2 Análisis de metales por la metodología de espectrofotometría de absorción atómica

Los análisis de metales fueron realizados en el Laboratorio de CESCCO en la ciudad de Tegucigalpa. El método usado fue Espectrofotometría por Absorción Atómica, donde se analizó las concentraciones de cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc en las muestras de agua obtenidas.

Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) es un método interpretativo que explica la radiación lumínica absorbida y emitida por átomos de una solución que pasan de un estado estable a un estado de excitación, luego de ser expuestos a un espectro de luz. Es un análisis que se utiliza para obtener información cualitativa y cuantitativa acerca de la composición de un medio conocido (UBA, 2007).

El método funciona de la siguiente manera: el átomo al ser expuesto a energía lumínica, a una longitud de onda específica, absorbe energía pasando de un estado estable a un estado excitado. A medida que la intensidad lumínica incrementa, la luz absorbida por los

átomos también aumenta. Una vez determinada la cantidad total de luz absorbida, se puede realizar un análisis cuantitativo por medio de curvas que correlacionan la luz absorbida y la cantidad del elemento presente en la muestra (Perkin-Elmer Corporation, 1996).

Existen cinco componentes básicos en el equipo de medición: una fuente de luz que emita un espectro que pueda determinar la concentración del elemento de interés; una “célula de absorción”, donde los átomos de la muestra puedan ser expresados; un monocromador para la dispersión de la luz; un detector que mida la intensidad lumínica y amplifique la señal; y un dispositivo que muestre la lectura después de procesada la muestra.

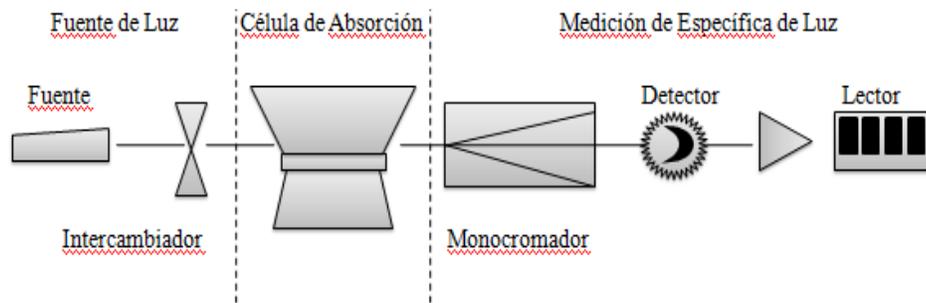


Figura 3. Funcionamiento Equipo de Medición (Perkin-Elmes Corporation, 1996)

El Monocromador dispersa luz a una determinada longitud de onda, previamente calculada, para caracterizar un elemento específico de la muestra a analizar. Por medio de procesos eléctricos se mide la absorbancia de luz en la muestra, lectura que luego es convertida a concentración del elemento en unidades de mg/L (Perkin-Elmer Corporation.1996). La EAA es un método muy usado para la determinación de elementos inorgánicos en el agua, que determinan la calidad y el uso respectivo del recurso.

3.2.3 Análisis de Metales por la metodología aluminio total mediante colorimetría

En el Laboratorio de Calidad de Agua de Zamorano se analizó Aluminio Total en las muestras de agua, mediante el método de Colorimetría de HACH ®. El Colorímetro de HACH ® es usado para determinar el contenido de varios elementos o compuestos presentes en el agua. El método usado es una comparación de color entre una muestra libre de elementos o compuestos (agua destilada), que se lo conoce como blanco y la muestra tomada, que en efecto, se quiere medir para encontrar si existe una presencia del elemento o contaminante y cuantificar la cantidad del mismo en el cuerpo de agua.

La metodología usada fue la de HACH ® DR/890, *Datalogging Colorimeter Handbook; The section: DR/890 Colorimeter Procedures manual*

3.2.3.1 Digestión.

Es un pretratamiento indicado por HACH ® que debe ser aplicado a las muestras previo su análisis de Aluminio Total. En el Manual de Procedimientos de Colorimetría HACH ®, se recomienda una Digestión a la muestra previo a la medición de aluminio. Este

procedimiento ajusta el pH muestra, lo que hará al aluminio presente en la muestra disponible al momento de su lectura. Para esto se necesita que el aluminio se encuentre disuelto en la muestra, lo que significa que dicho metal debe estar en estado reducido. El método constó de los siguientes pasos:

1. La muestra fue ambientada a una temperatura de 20 °C.
2. Se tomó 100 ml de muestra con una pipeta, y se vertió el contenido en un frasco Erlenmeyer de 200 ml.
3. Se le agregó 5 ml de Ácido Clorhídrico (HCl)
4. Se colocó la muestra en un plato térmico hasta alcanzar una temperatura de 100 °C, evitando que la muestra entre en estado de ebullición.
5. Se retiró la muestra del plato térmico, una vez reducido su volumen a 15 ml y se la dejó reposar a temperatura ambiente por 10 minutos
6. Se midió el pH de la muestra, y se lo ajustó, hasta llegar a un rango entre 3.5 a 4.5.
7. El contenido de la muestra fue vertido a un matraz 100 ml y se llevó el contenido a la capacidad el matraz, con agua destilada.

3.2.3.2 Análisis de aluminio total implementado por HACH®.

Este paso es un adaptación del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, que por medio de un análisis de intensidad de color, se determina la concentración de aluminio en la muestra de agua en unidades de mg/L, siendo el procedimiento:

1. Se programó el Colorímetro modelo DR/890 HACH® para el tratamiento de aluminio.
2. Se vertió 50 ml. de la muestra en una probeta graduada de la misma capacidad. La probeta previa a su utilización fue enjuagada en una solución de Ácido Clorhídrico (HCl) y agua desionizada para evitar errores en la medición por contaminantes
3. Una vez vertido el contenido en la probeta, se colocó una almohadilla. de Ácido Ascórbico® en polvo. Se cubrió la abertura de la probeta con una película de parafina y se invirtió el contenido varias veces hasta quedar completamente diluido.
4. Se añadió una almohadilla de reactivo para aluminio en polvo conocido como Alu Ver® 3. Por los siguientes tres minutos se invirtió repetidamente la muestra, cubriendo la abertura con la película de parafina. Luego, la mitad del contenido fue vertido en un frasco de 25 ml.
5. Se colocó una almohadilla de Reactivo Blanqueador 3 ® a los 25 ml restantes y se lo mezcló repetidamente por treinta segundos cubriendo la abertura con Parafilm, luego se vertió el contenido en un frasco de 25ml. igual al anterior. A este nuevo frasco se etiquetó como blanco.
6. Se dejó reposar la muestra y el blanco por 15 minutos.
7. Se colocó el blanco en la celda del colorímetro y se prosiguió a la medición.
8. Se espera un momento hasta que en la pantalla del colorímetro de cómo resultado 0.000 mg/L de Al. Si en caso la respuesta es LIMIT se debe repetir el experimento.
9. Inmediatamente después de la respuesta, se colocó la muestra. Se siguen las mismas instrucciones que el blanco sólo que en este caso en vez de poner ZERO, se presiona la tecla READ.
10. Se reportó el resultado

Una vez obtenido el resultado, se lo compara con la norma, la cual indica que en agua para consumo humano, la concentración de aluminio debe estar por debajo de 0.2 mg/L.

3.2.4 Análisis de metales por la metodología de aluminio total por espectrofotometría de anaranjado de xilenol

Antes de empezar la evaluación de aluminio en la muestra, se preparó una solución de ensayo con un contenido de 30 mg. de aluminio.

1. Se midió 50 cm³ de la muestra a evaluar un matraz.
2. Se agregó 10 cm³ de solución Buffer (dilución de Acetato de Sodio) a la muestra.
3. Se añadió 5 cm³ de xilenol naranja, reactivo que reacciona con cambio de color dependiendo si hay presencia de aluminio.
4. La muestra fue puesta a baño María a una temperatura de 40 °C durante una hora y treinta minutos.
5. Se añadió 2 cm³ de solución EDTA a la muestra e inmediatamente se dejó enfriar a temperatura ambiente (20 °C).
6. Se diluyó la muestra 50 cm³ y entró en reposo por 1 hora a temperatura ambiente durante
7. Una vez cumplido el periodo de reposo se pasa a la medición de aluminio por medio de espectrofotometría.

Para la medición de aluminio en la muestra mediante espectrofotometría se configuró la longitud de onda acorde con la curva de aluminio indicada en el manual de procedimientos.

El parámetro a medir fue la absorbancia, la cual mide el flujo de luz absorbida por un material, en función de la longitud de onda de dicha energía o flujo. La cantidad de luz absorbida por la muestra se midió en unidades de absorbancia que van de 0 a 1. Una vez obtenido el resultado de la absorbancia, se convirtió a concentración del elemento en mg/L mediante una gráfica de relación. (SIMET, 1997)

3.2.4.1 Medición.

1. Se colocó el blanco en el soporte de la celda
2. Se programó el lector con la opción blanco, escogiendo la longitud de onda para lectura de aluminio e inmediatamente fue retirado del compartimiento
3. Se colocó la muestra a medir en el soporte de la celda y se pasó a su respectiva lectura, la respuesta dada se la dio en unidades de absorción
4. Se convirtió las lecturas de absorbancia en lecturas de concentración mediante la función de factor de concentración
5. Se escogió las unidades pertinentes para la concentración (mg/L)
6. Se registró el dato inmediatamente

3.2.5 Bacteriológicos

Las muestras tomadas para ensayos bacteriológicos son sometidas a pruebas Placas Petrifilm™ 3M™ para el recuento de E.coli y coliformes totales, donde se colocó 1 ml de

la muestra en el cultivo, dejándose en incubación por 24 horas y pasado el tiempo provisto se procedió al conteo de las colonias formadas.

Un tinte indicador rojo provee un mejor contraste para facilitar el conteo de las colonias y la lámina superior atrapa el gas producido por los coliformes en forma de burbujas. Además un indicador de glucoronidasa forma un precipitado azul alrededor de todas las colonias de *E. coli*. Las colonias confirmadas de coliformes son rojas y se encuentran asociadas a burbujas de gas. Las colonias confirmadas de *E. coli* son rojo azuladas y/o azules asociadas a burbujas de gas. (3M, 2006)

3.3 EVALUACIÓN DE MECANISMOS DE TRATAMIENTO EN LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO

3.3.1 Sistemas de agua potable

Pese a la cercanía del municipio de San Antonio de Oriente a la ciudad capital, la cobertura de servicios de agua potable es aun baja. Solamente el 56% de la población cuenta con una conexión a un sistema de agua potable con tubería dentro de la vivienda y el 11% de la de la población no cuenta con conexión de ningún sistema de agua potable. De las comunidades ubicadas dentro de la microcuenca, cuatro de ellas cuentan con algún tipo de sistemas de agua potable, entre ellas se encuentra Jicarito y San Antonio de Oriente. La comunidad de San Antonio de Oriente, cuenta con un sistema de almacenamiento de agua, que según informan los pobladores fue diseñado durante la época colonial por lo que no cuenta con un dosificador de cloro, la comunidad el Jicarito cuenta con hipoclorador por goteo el cual aplica cloro al agua cada 12 días. (MIRA, 2006)

3.3.2 Juntas de Agua

Según el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua para la Microcuenca El Gallo (2006), Los sistemas de abastecimiento dentro de la microcuenca están siendo manejados por Juntas Administradoras de Agua (JJAA), dichas juntas son las encargadas de administrar el recurso, velar por el funcionamiento adecuado de los sistemas, la desinfección, los cobros tarifarios, información a la comunidad, mantenimiento del sistema, entre otros.

3.3.2.1 Entrevistas a miembros de Juntas de Agua

Las entrevistas realizadas a las Juntas de Agua se basaron en el formato de Evaluación de Servicios de Agua y Saneamiento- PAS-BM , elaboradas en el 2004 por Zamorano, The Water and Sanitation Program y COSUDE Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

3.3.3 Medición cloro libre *in situ*

Para el muestreo de cloro libre realizado dentro de las comunidades, se seleccionó llaves representativas del sistema de distribución de agua para consumo humano. Se practicó por dos métodos; Dietil-p-fenilendiamina (DPD) y Orto-tolidina.

El Dietil-p-fenilendiamina (DPD) es un reactivo que ante la presencia de cloro presenta un cambio de coloración a rosado siendo directamente proporcional a la concentración de cloro en el agua. Un comparador de color es utilizado para estimar la concentración en mg/L de cloro libre en el agua. Los resultados se registraron también en mg/L. Para el método DPD, el tubo de ensayo se enjuagó con parte del agua a muestrear, luego se lo llenó a 5 ml, se vació el contenido del reactivo DPD; la muestra dependiendo de la concentración de cloro cambia de intensidad en su coloración, comparándola aleatoriamente con un disco giratorio que tiene la intensidad de color graduada.

Para el método Ortotolidina se agregó 5 gotas del reactivo en 5ml de muestra de agua, dependiendo de la cantidad de cloro presente en el agua, la Ortotolidina reacciona con un cambio de coloración amarillo, el cual es directamente proporcional a la concentración de cloro de la muestra. El cambio del color de la muestra se comparó con la escala de intensidad colorimétrica y consiguientemente se registró el resultado. (Tenorio, 2007)

3.3.4 Alcalinización

La alcalinidad es la medición cuantitativa de los constituyentes alcalinos totales de un agua, tanto en el estado ionizado como en el no ionizado, Usualmente se expresa en mg/L de CaCO₃ equivalente. (Hilleboe, 2006)

Debido al bajo pH de la toma Jicarito 1, se optó por un ensayo de alcalinización.

1. Se tomó una muestra de agua de un galón.
2. Se realizó una solución madre con CaCO₃ de 1 g/L.
3. Se calculó las diferentes cantidades a probar el incremento del pH.
4. Se trabajó a diferentes concentraciones deseadas.
5. Se registró el dato.

La fórmula usada fue:

$$X_{ml} = \frac{C_d}{CSM} \times V \quad [2]$$

Donde:

X_{ml}= a la dosis del tratamiento.

C_d= es igual a concentración deseada en mg/ml.

CSM= es igual a concentración Solución Madre mg/ml.

V= es igual al volumen de recipiente a usar en ml.

4 RESULTADOS

Los metales evaluados fueron: aluminio, cobre, cadmio, níquel, plomo hierro y zinc, de los cuales cobre, níquel y zinc se mantuvieron por debajo de su valor máximo permisible en todos los muestreos realizados.

Se realizaron comparaciones de cada metal sobre la norma con todos los parámetros medidos, de los cuales el caudal y pH presentaron las relaciones más representativas en los tres monitoreos realizados.

4.1 SAN ANTONIO DE ORIENTE

4.1.1 Parámetros físico-químicos

La fuente de abastecimiento de San Antonio de Oriente, manifestó un aporte de caudal bajo, especialmente en la época seca del año. Una vez iniciadas las primeras lluvias, el caudal incrementó notablemente. El pH de la fuente presentó valores muy variables, los cuales oscilaron de pH ácidos a neutros. La mayoría de los datos señalaron pH fuera del valor recomendado en la NTNCAP. En cuanto a la turbidez, sólo una muestra presentó el valor aceptable, según los parámetros organolépticos. El resto de mediciones sobrepasó el valor máximo admisible establecido por la norma. Los parámetros de conductividad, temperatura y salinidad estuvieron siempre dentro de la norma y no presentaron ningún tipo de anomalía.

Cuadro 4. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en San Antonio de Oriente, Honduras, 2008.

Fecha	Caudal (mL/s)	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	pH	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (UNT)
30/4/2008	21.60	24.30	0.00	5.60 *	.	8.18 *
10/5/2008	23.60	21.90	0.00	7.80	41.20	11.90 *
03/6/2008	20.40	23.10	0.00	3.86 *	69.80	0.55
10/7/2008	62.03	19.90	0.00	6.67	68.20	15.40 *
28/7/2008	657.17	21.40	0.00	5.72 *	11.82	15.20 *

.: Datos no Tomados

*: Datos por encima del valor máximo permisible

Las metodologías aplicadas para definir la concentración de metales pesados, demostró que: el aluminio, cadmio, hierro y plomo, contienen valores por encima del valor máximo establecidos por NTNCAP (Cuadro 5).

Cuadro 5. Registro metales en toma de agua para consumo San Antonio de Oriente

Fecha	Aluminio (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Hierro (mg/L)	Plomo (mg/L)
30/4/2008	0.380*	0.009*	0.047	0.020
10/5/2008	0.155	0.004*	0.570*	<0.006
03/6/2008	0.587*	0.016*	<0.030	0.063
27/6/2008	0.373*	<0.003	0.630*	0.010
10/7/2008	<0.030	<0.003	<0.030	0.015
28/7/2008	1.434*	<0.003	4.480*	<0.006

*: Datos por encima del valor máximo permisible

4.1.1.1 Aluminio.

El aluminio (Al) con relación al caudal, presentó concentraciones por encima de la norma en época lluviosa en el mes de julio. La relación entre el metal y caudal, indicó un incremento de aluminio de 0.155 mg/L a 0.587 mg/L a inicios de la época lluviosa. Luego de este periodo, la concentración del metal bajó paulatinamente hasta finales de julio, donde se presentó un nuevo incremento de caudal, relacionado con el aumento de concentración de aluminio en la fuente (Figura 4).

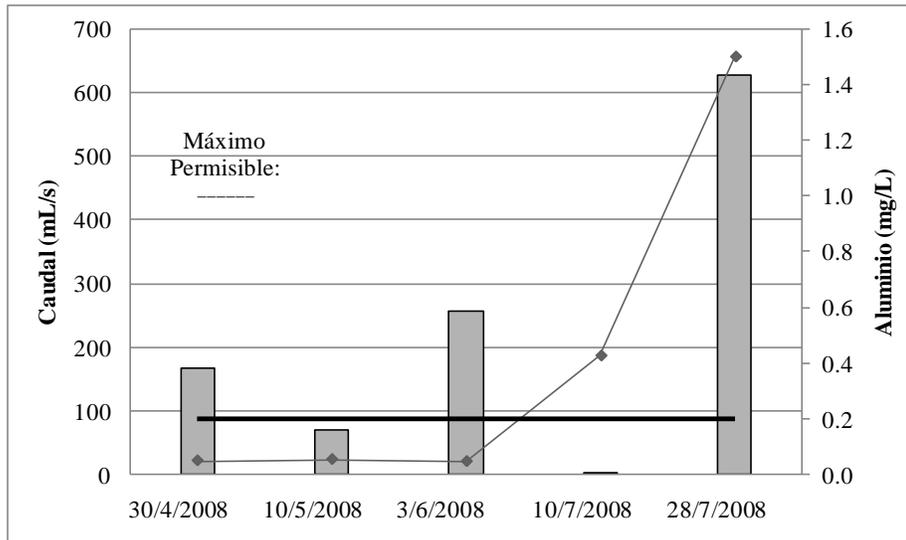


Figura 4. Concentraciones de aluminio y caudal. fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras, 2008.

Respecto al comportamiento del aluminio con el pH, se presentó una relación inversamente proporcional, a mayor concentración de aluminio en la muestra, menor pH en la fuente (Figura 5).

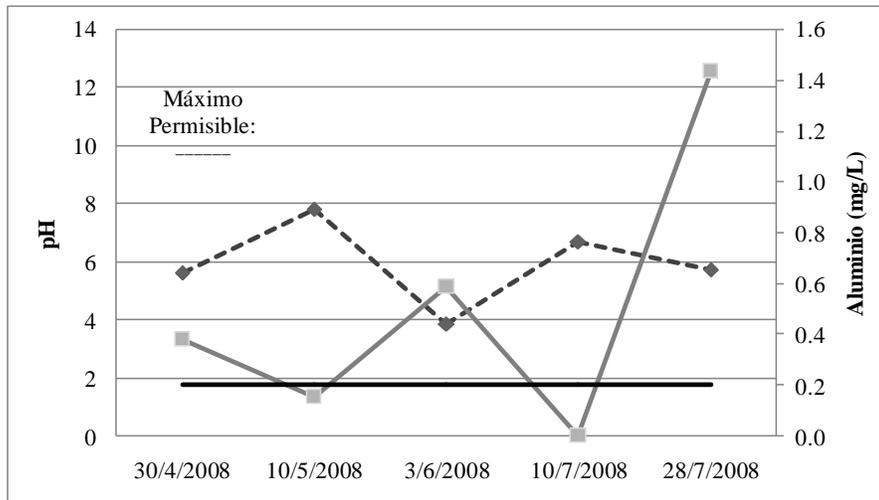


Figura 5. Relación aluminio-pH de fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras. 2008.

El aluminio presentó una media de 0.64 mg/L con un valor máximo registrado de 1.434 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 7 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.1.1.2 Cadmio.

El cadmio (Cd) en los muestreos realizados en época seca presentó concentraciones por encima de su máximo permisible de 0.009 y 0.004 mg/L, al igual que en el primer muestreo de época húmeda que se presentó un valor de 0.016 mg/L. Los siguientes muestreos, registraron resultados por debajo del límite de detección menores a 0.003 mg/L (Figura 6.)

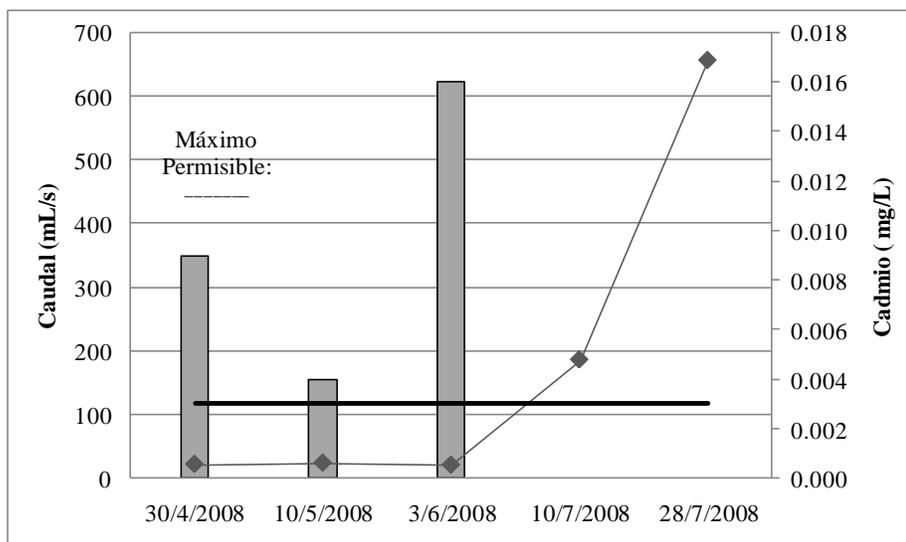


Figura 6. Concentraciones de cadmio y caudal fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras. 2008.

La relación pH-cadmio manifestó una fuerte relación con el metal, inversamente proporcional al igual que el Aluminio. (Figura 7)

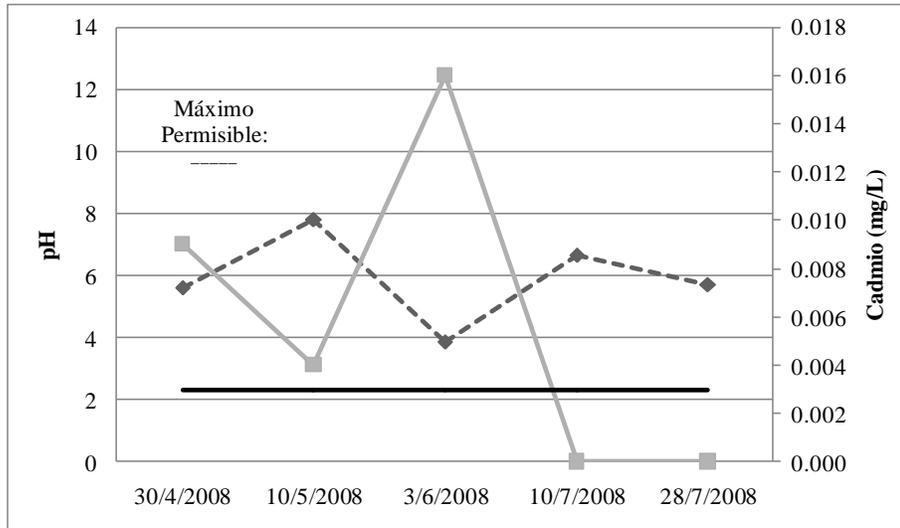


Figura 7. Relación cadmio-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca San Antonio de Oriente. Honduras. 2008

El cadmio presentó una media de 0.0097 mg/L con un valor máximo registrado de 0.016, y un mínimo por debajo de su límite de detección, <0.003. El valor máximo registrado estuvo 5.3 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.1.1.3 Hierro

El hierro (Fe) presentó un comportamiento variable. Se registraron valores sobre su máximo permisible y valores por debajo del límite de detección del instrumento utilizado para medir la concentración del metal en la fuente. (Figura 9). La relación hierro-caudal mantuvieron un comportamiento directamente proporcional, a mayor caudal, mayor concentración de hierro (Figura 8).

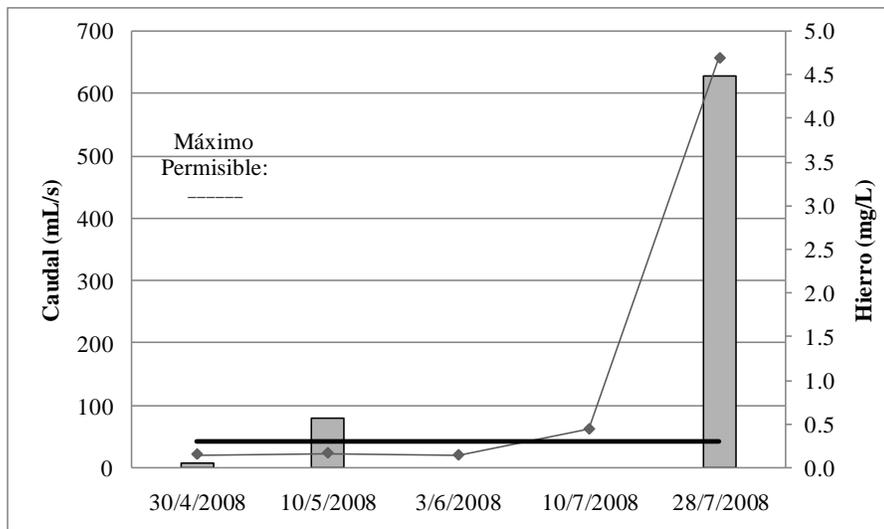


Figura 8. Concentraciones de hierro y caudal, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras, 2008.

El hierro presentó una relación directamente proporcional con el pH (Figura 9).

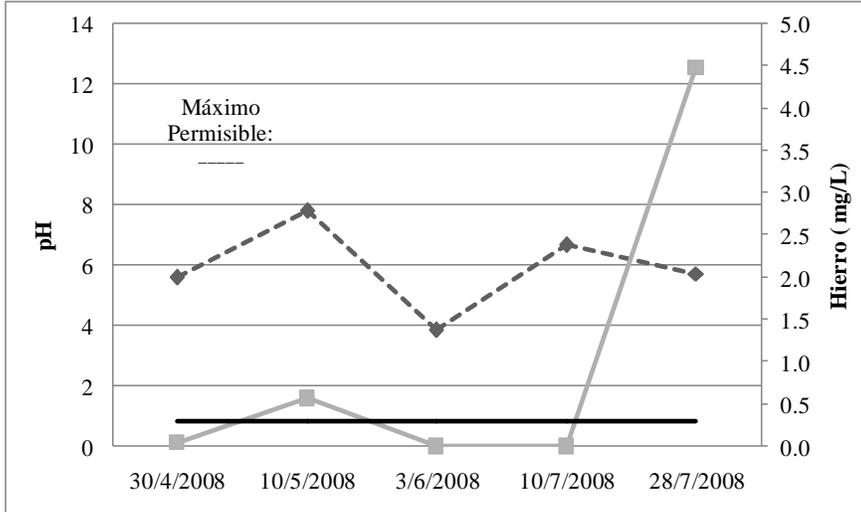


Figura 9. Relación hierro-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca San Antonio de Oriente, Honduras, 2008

El hierro presentó una media de 1.70 mg/L con un valor máximo registrado de 4.48 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 14.9 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.1.1.4 Plomo

El plomo (Pb) en la mayoría de los muestreos realizados presentó concentraciones fuera a norma. No se presentó una relación marcada del metal con el caudal (Figura 10).

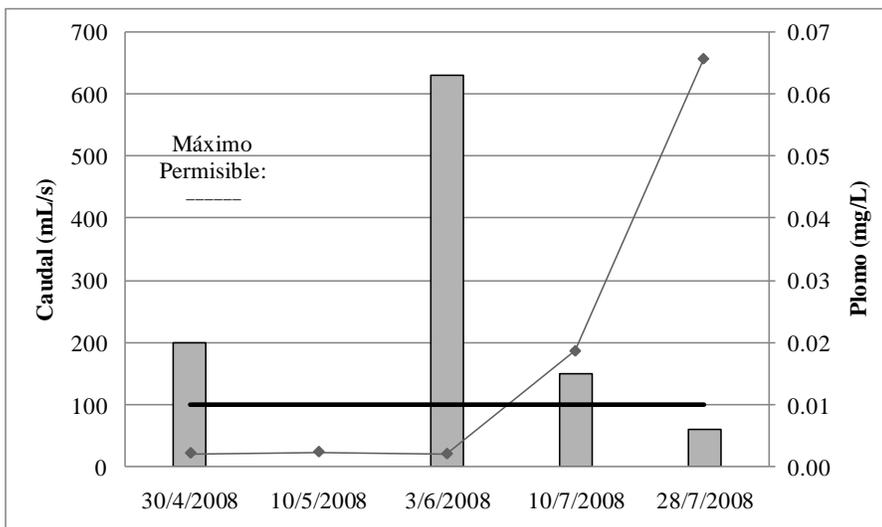


Figura 10. Concentraciones de plomo y caudal, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras, 2008

El plomo indicó una relación con el pH de la fuente, a pH ácidos, el metal obtuvo las concentraciones más altas y a pH neutros, el plomo se encontró por debajo el valor máximo permisible (Figura 11).

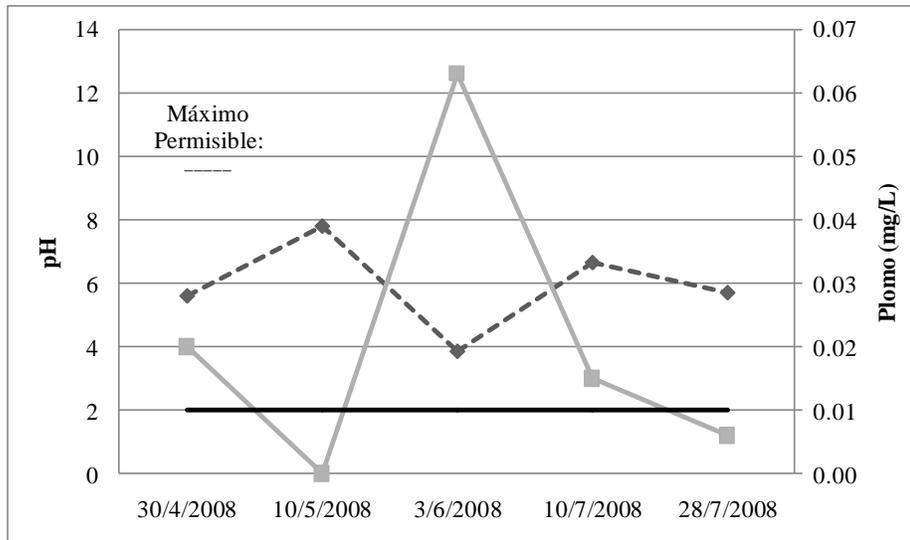


Figura 11. Relación plomo-pH, fuente de abastecimiento Tierra Blanca, San Antonio de Oriente, Honduras 2008

El plomo presentó una media de 0.026 mg/L con un valor máximo registrado de 0.063 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 6.3 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.1.2 Resultados Parámetros Bacteriológicos

En lo que respecta a parámetros bacteriológicos, el agua de San Antonio de Oriente presentó una carga de coliformes totales fuera del máximo permisible en los muestreos del 3 de junio y el 10 de julio, donde se encontró 60 UFC y 33 UFC respectivamente. En lo que respecta a coliformes termotolerantes no presentaron UFC que indiquen contaminación fecal en la fuente.

4.2 RESULTADOS JICARITO 1

4.2.1 Resultados fisicoquímicos

La fuente de abastecimiento Jicarito 1, presentó un caudal estable tanto en época seca, como en época húmeda (Figura). La fuente registró un pH muy ácido, con valores entre 3 a 4.5, cuando lo recomendable es un pH entre 6.5 a 8.5 para agua de consumo. Los parámetros de turbidez, conductividad, temperatura y salinidad presentaron valores dentro de la norma (Cuadro 6). La presencia de metales en la toma de agua Jicarito 1 mostró valores por encima del valor máximo admisible permitidos para consumo humano en aluminio, cadmio, hierro y plomo, contienen (Cuadro 7).

Cuadro 6. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en Jicarito1, Honduras, 2008.

Fecha	Caudal (mL/s)	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	pH	Conductividad (μS/cm)	Turbidez (UNT)
30/4/2008	1261.66	25.00	0.00	3.34*	.	.
10/5/2008	1542.61	22.00	0.00	4.55*	62.70	0.29
03/6/2008	1567.00	20.20	0.00	3.90*	103.70	0.22
27/6/2008	1578.95	.	.	.	.	.
10/7/2008	2142.70	20.50	0.00	3.94*	99.70	0.03
28/7/2008	2158.27	20.90	0.00	3.95*	70.60	0.10

.: Datos no Tomados

*: Datos sobre el máximo permisible

Cuadro 7. Registro de metales en Jicarito1, Honduras, 2008.

Fecha	Aluminio (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Hierro (mg/L)	Plomo (mg/L)
30/4/2008	0.090	0.005*	<0.030	0.014*
10/5/2008	0.490*	0.007*	<0.030	0.010
03/6/2008	1.028*	0.008*	0.407*	0.008
27/6/2008	0.598*	<0.003	0.066	<0.006
10/7/2008	0.240*	<0.003	0.370*	<0.006
28/7/2008	0.380*	<0.003	0.280	<0.006

*: Datos sobre el máximo permisible

4.2.1.1 Aluminio

El aluminio (Al) presentó una concentración elevada fuera del valor máximo admisible exigido en la NTNCA. El valor máximo fue de 1.028 mg/L y el menor de 0.090 mg/L (Figura 12).

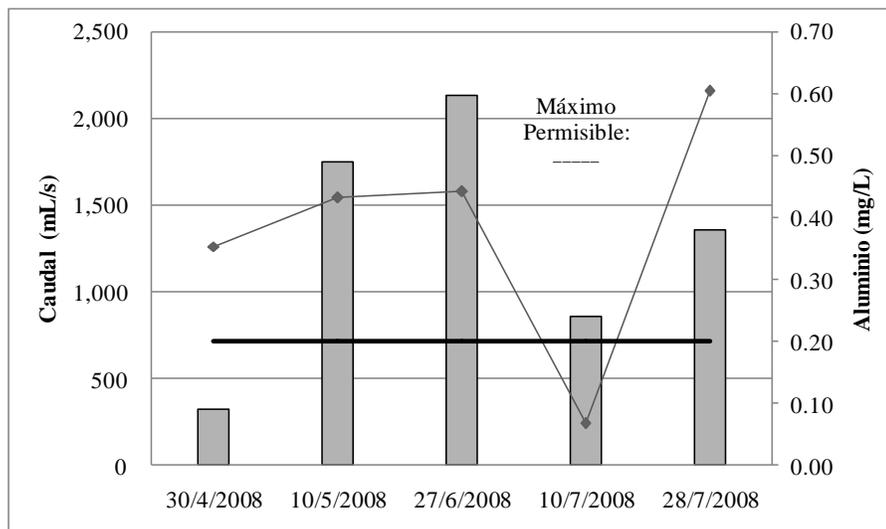


Figura 12. . Concentraciones de aluminio y caudal, fuente de abastecimiento

la Cuevita, Jicarito, Honduras, 2008

Todos los valores de pH registrados se encontraron bajo su valor recomendable, lo que a su vez demostró una relación inversamente proporcional con las altas concentraciones de aluminio en la fuente (Figura 14).

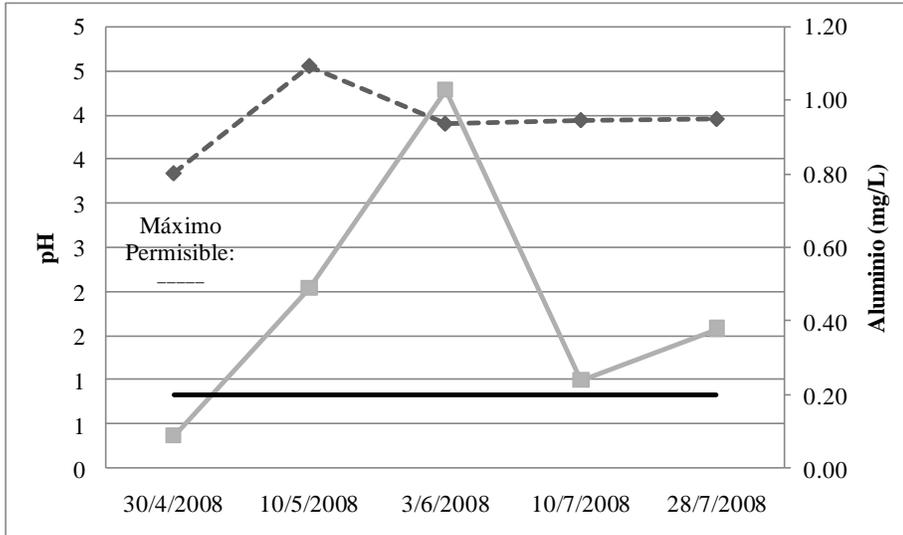


Figura 13. Relación aluminio-pH, fuente de abastecimiento la Cuevita, Jicarito, Honduras 2008

El valor máximo registrado estuvo 5 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.2.1.2 Cadmio.

El cadmio (Cd) presentó valores fuera de la norma en las muestras tomadas en época seca y la primera muestra de época húmeda. Una vez iniciada la temporada de lluvias, el cadmio llegó a registrar su valor máximo de concentración, que luego bajó paulatinamente hasta llegar a un valor por debajo del límite de detección (Figura 15).

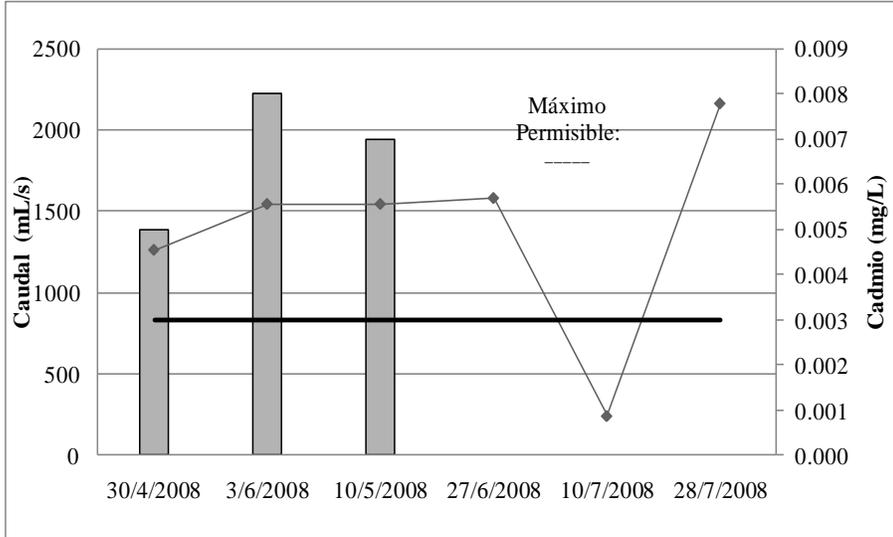


Figura 14. Concentraciones de cadmio y caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008

La relación que presentó el cadmio con el pH no es representativa (Figura 15).

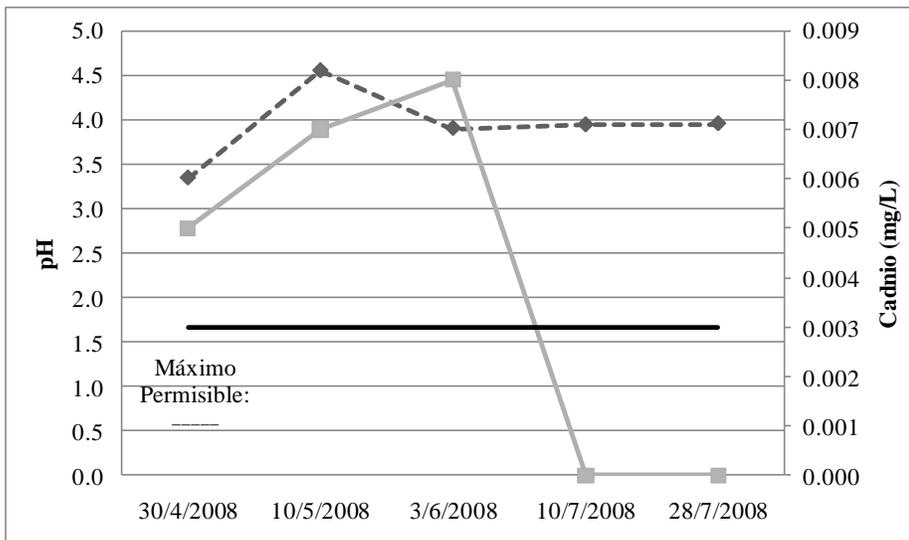


Figura 15. Relación cadmio-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008

El cadmio presentó una media de 0.0006 mg/L con un valor máximo registrado de 0.008 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El Valor Máximo registrado estuvo 2.6 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la Norma

4.2.1.3 Hierro.

El hierro (Fe) presentó concentraciones por encima de la norma una vez iniciada la época húmeda. En época seca, no se mostró ninguna variante y los valores estuvieron bajo el límite de detección (Figura 16).

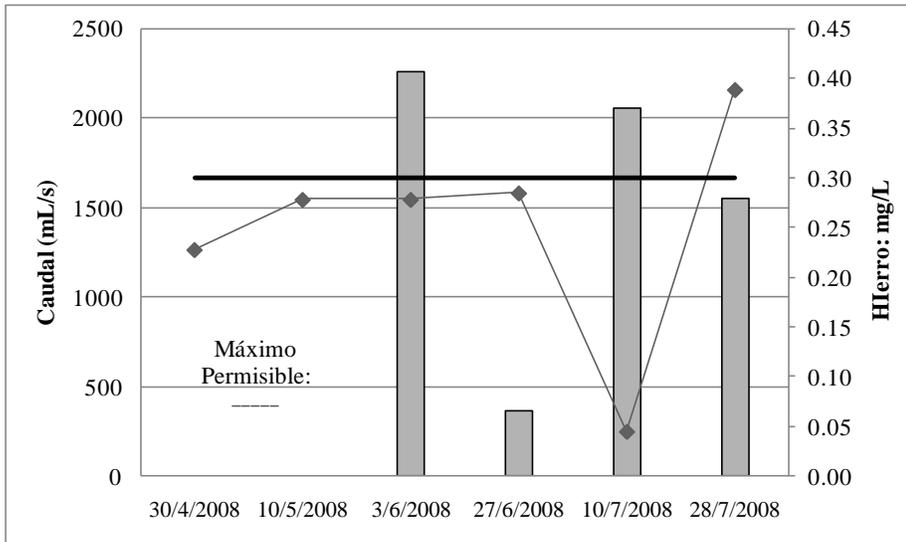


Figura 16. Comparación hierro con caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008

La relación pH y hierro no presentó una relación marcada (Figura 17).

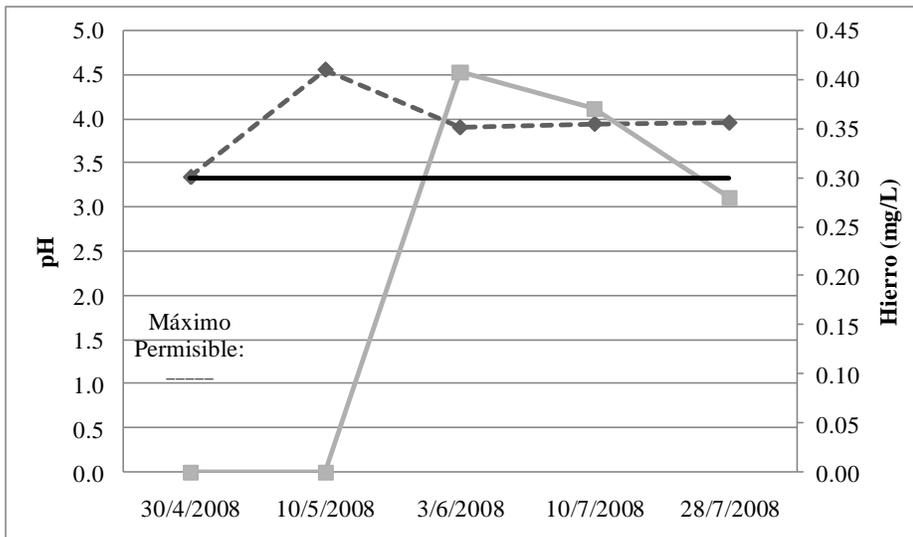


Figura 17. Relación hierro-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008

El hierro presentó una media de 0.028 mg/L. El valor máximo registrado fue de 0.407 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 1.35 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.2.1.4 Plomo

La concentración de plomo (Pb) sólo presentó un valor fuera de la norma, el cuál fue registrado al principio del estudio en época seca. A lo que respecta los otros datos, todos se encontraron bajo los parámetros estipulados en la norma (Figura 18).

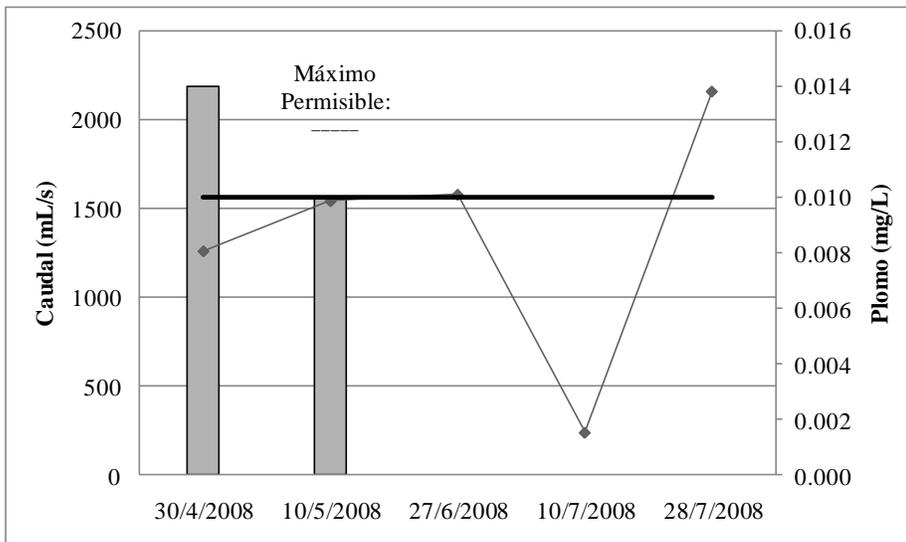


Figura 18. Concentraciones de plomo y caudal, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008.

La Relación que presentó el plomo-pH fue inversamente proporcional (Figura 19).

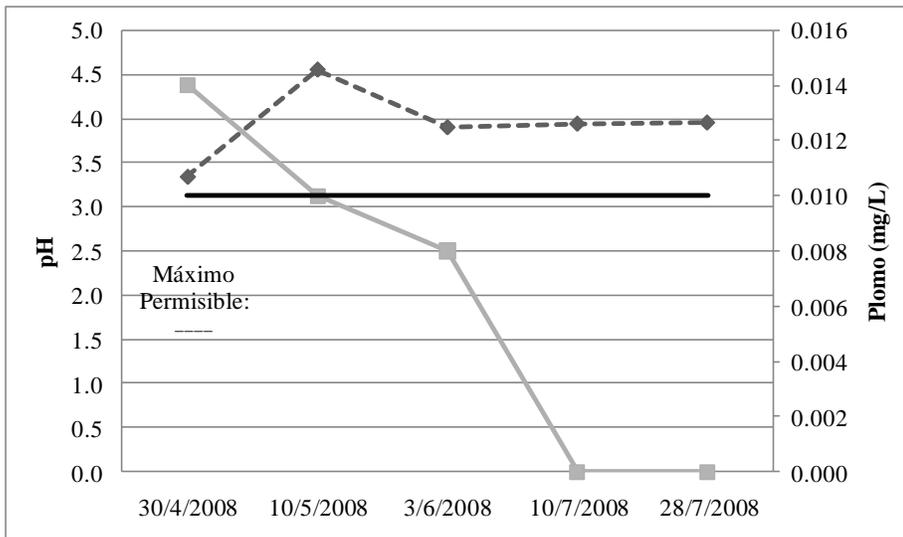


Figura 19. Relación plomo-pH, fuente de abastecimiento la Cueva, Jicarito, Honduras 2008

El plomo presentó una media de 0.028 mg/L con un valor máximo registrado de 0.014 mg/L, y un mínimo de 0.006 mg/L. El valor máximo registrado estuvo 1.3 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma

4.2.2 Resultados Bacteriológicos

La toma de agua Jicarito 1 no presentó problemas de carga bacteriológica en la fuente. La presencia de coliformes totales como de termotolerantes se encontró bajo los parámetros establecidos en la norma.

4.3 RESULTADOS JICARITO 2

4.3.1 Resultados fisicoquímicos

La fuente de abastecimiento de agua para consumo Jicarito 2, en época seca presentó un caudal bajo, fenómeno que cambió al empezar las primeras lluvias, duplicando su caudal inicial. Se manifestó un pH ácido con valores por debajo del valor recomendado en la NTNCAP. Los parámetros de turbidez, conductividad, temperatura y salinidad presentaron valores dentro de los parámetros indicados en la norma (Cuadro 8).

Cuadro 8. Registro de parámetros generales de monitoreo tomados en Jicarito 2, Honduras, 2008.

Fecha	Caudal (ml/s)	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	pH	Conductividad (μS/cm)	Turbidez (UNT)
30/4/2008	630.80	25.70	0.00	4.76*	.	0.83
10/5/2008	423.00	21.10	0.00	4.16*	73.50	3.08
03/6/2008	1242.24	21.60	0.00	4.40*	77.40	0.39
27/6/2008	1236.60	.	.	.	.	.
10/7/2008	1604.91	20.50	0.00	4.37*	74.50	0.71
28/7/2008	1788.38	20.80	0.00	4.13*	31.50	1.81

.: Datos no Tomados

*: Datos sobre el máximo permisible

Jicarito 2 presentó pocos valores por encima del valor máximo admisible en todos los metales analizados. El cadmio en época seca, se presentó dos muestreos con concentraciones sobre el máximo permisible. El hierro estuvo sobre la norma en un sólo muestreo y el plomo se presentó en época húmeda con un único dato sobre el máximo permisible. Jicarito 2 presentó las mejores condiciones a comparación de las fuentes de San Antonio de Oriente y Jicarito 1. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Registro de metales en Jicarito2, Honduras, 2008.

Fecha	Aluminio (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Hierro (mg/L)	Plomo (mg/L)
30/4/2008	<0.003	.	.	.
10/5/2008	0.036	0.007*	0.650*	<0.006
03/6/2008	0.089	0.008*	<0.030	<0.006
27/6/2008	0.133	<0.003	0.054	<0.006
10/7/2008	<0.003	<0.003	<0.030	0.095*
28/7/2008	0.087	<0.003	0.040	<0.006

.: Datos no Tomados

*: Datos sobre el máximo permisible

4.3.1.1 Aluminio

El aluminio (Al) se encontró por debajo valor máximo permisible a lo largo del periodo de monitoreo de la fuente (Figura 20).

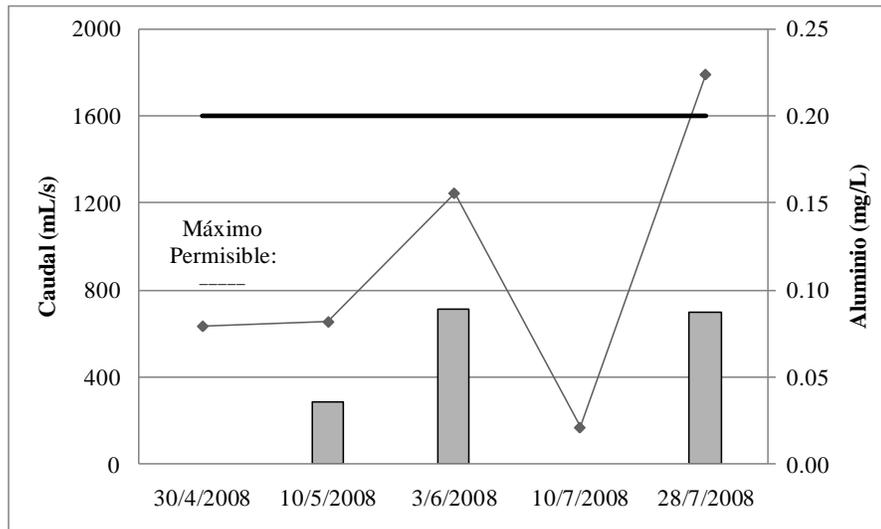


Figura 20. Concentraciones de aluminio y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito, Honduras 2008.

El aluminio presentó una media de 0.08 mg/L con un valor máximo registrado de 0.133 mg/L, y por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 0.6 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.3.1.2 Cadmio.

El cadmio (Cd) en los muestreos de época seca y en el primer muestreo de época lluviosa presentó concentraciones sobre la norma. En los siguientes muestreos, se registró concentraciones por debajo del límite de detección (Figura 21).

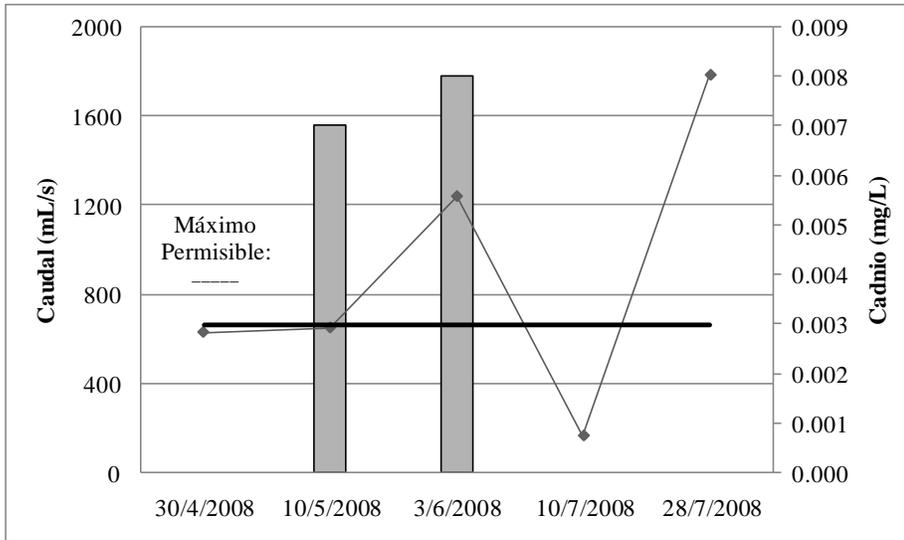


Figura 21. Concentraciones de cadmio y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito, Honduras 2008.

El cadmio presentó una media de 0.0075 mg/L con un valor máximo registrado de 0.008 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 2.66 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.3.1.3 Hierro.

El hierro (Fe) en época seca, registró un dato sobre el valor máximo permisible. El resto se mantuvieron con concentraciones bajas (Figura 22).

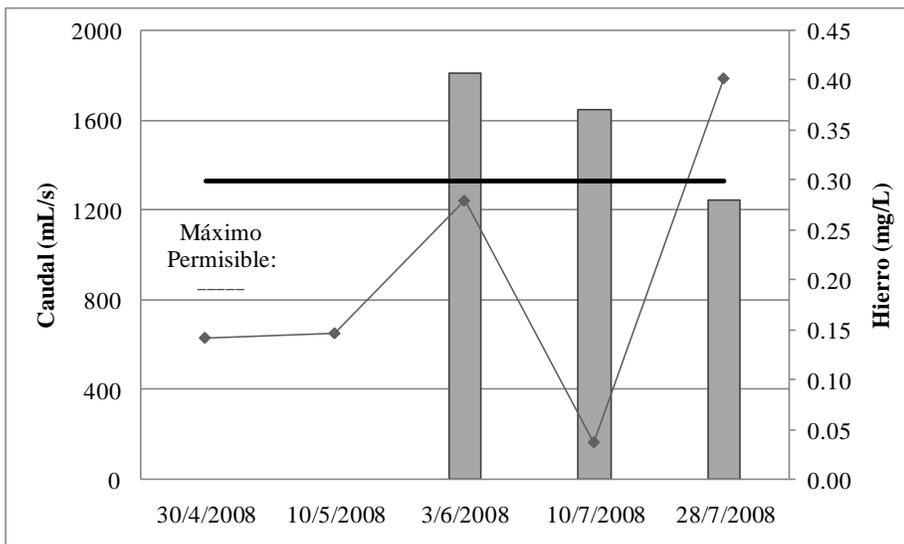


Figura 22. Concentraciones de hierro y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito, Honduras 2008.

El hierro presentó una media de 0.025 mg/L con un valor máximo registrado de 0.065 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 2.17 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.3.1.4 Plomo

El plomo (Pb) registró concentraciones por debajo del límite de detección. Únicamente un muestreo, presentó concentraciones por encima de su máximo permisible (Figura 23).

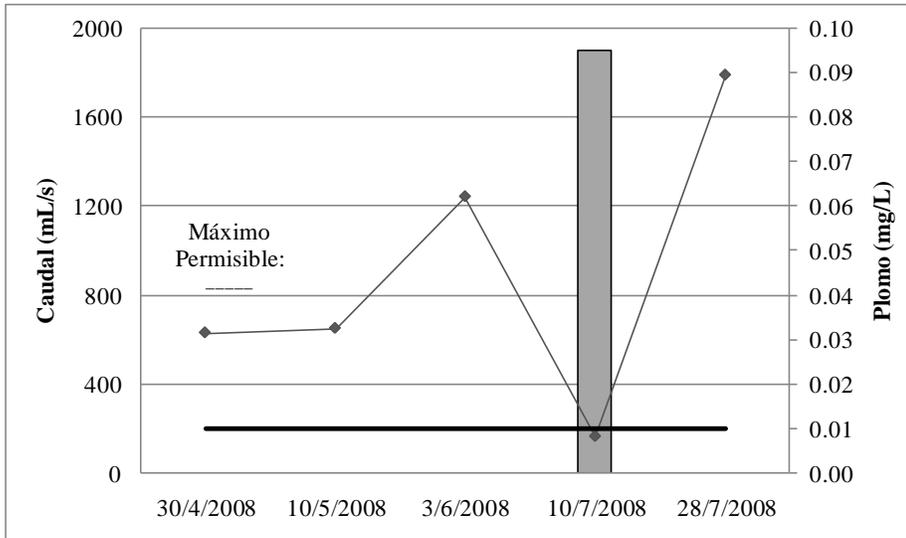


Figura 23. Concentración de plomo y caudal, fuente de abastecimiento el Manzanal, Jicarito, Honduras 2008.

El plomo presentó una media de 0.095mg/L con un valor máximo registrado de 0.095 mg/L, y un mínimo por debajo de su límite de detección. El valor máximo registrado estuvo 10 veces por encima del valor máximo permisible establecido por la norma.

4.3.2 Resultados bacteriológicos

La fuente Jicarito 2 en general, no presentó una carga bacteriológica de considerables consecuencias a la salud humana. Según la metodología usada para la determinación de coliformes totales y termotolerantes, la muestra del 6 de junio del 2008, que presentó 53 UFC totales, fue la única que registró un valor sobre la norma. Respecto a coliformes termotolerantes no se encontró UFC en las muestras.

4.4 ENCUESTA JUNTAS DE AGUA

Se realizó una encuesta a los diferentes miembros de las Juntas de Agua de las Comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, las cuales brindaron información de la calidad de servicio de agua potable y de su manejo.(Anexo 2)

En Jicarito el abastecimiento de agua de consumo está controlado por la Junta de Agua formada por 8 miembros de la comunidad. Es la entidad responsable de brindar servicio a 800 hogares por medio de una red de distribución. La Junta de Agua cuenta con un fontanero que recibe un salario mensual y está a cargo del mantenimiento y cuidado de los tanques de abastecimiento y del buen estado de la tubería. A más de proveer el recurso a

los moradores de la población, la Junta de Agua se encarga del saneamiento de las fuentes y tratamiento de las aguas residuales. Las personas abonadas al sistema pagan mensualmente 25 L. para cubrir costos del mantenimiento y funcionamiento del sistema.

La Junta de Agua de San Antonio de Oriente, brinda servicio a 40 hogares. La población posee dos tanques de abastecimiento, uno de ellos no se encuentra en condiciones óptimas ya que el tanque fue construido en el tiempo colonial y no se ha contado con el mantenimiento adecuado, mientras que el otro tanque, donado a la comunidad hace aproximadamente 4 años, no cuenta con hipoclorador para prácticas de saneamiento previo su consumo. El mantenimiento del sistema se lo hace de manera trimestral, no existe aportes monetarios de parte de los abonados, por lo que daños al sistema, tiene consecuencias de gran impacto. Los problemas identificados por la Junta es la escasez del recurso en época seca que es regulado fuertemente por servicio con hora.

4.5 OFERTA Y DEMANDA DE LA POBLACIÓN

La demanda de las Poblaciones fue realizada con base a un consumo de 150 L de agua por día.

$$DP = X \times Y \quad [3]$$

Donde,

DP: significa demanda total de la población por día

X: número total de habitantes

Y: litros por habitante consumidos al día

4.5.1 San Antonio de Oriente

San Antonio de Oriente presenta una demanda de 54000 litros diarios. En el monitoreo realizado en la fuente, solamente un muestreo indicó un porcentaje del recurso hídrico por encima de la demanda presentada (Cuadro 10) La época seca es la más crítica ya que el recurso se encuentra limitado, una vez entrada la época húmeda, el recurso da abasto a toda la población. Debido a los problemas presentados en época seca, la Junta de Agua de San Antonio de Oriente, al igual que la Junta de Jicarito, implementa un manejo racionado por redes de distribución, abasteciendo a diferentes barrios por horas hasta completar toda la población conectada a la red.

Cuadro 10. Resultados de oferta diaria por muestreo San Antonio de Oriente, Honduras, 2008.

Fecha	Caudal (L/día)	Población Satisfecha (%)
30/4/2008	1866.24	8.29
10/5/2008	2039.01	9.06
3/6/2008	1762.56	7.83
27/6/2008	.	.
10/7/2008	16079.40	71.46
28/7/2008	56779.83	252.35

.: Datos no Tomados

La cuantificación de la demanda de agua por día de la población de San Antonio de Oriente es:

$$X=360$$

$$Y=150$$

$$360 \times 150 = 54000 \text{ demanda total } L/\text{día}$$

4.5.2 Jicarito

La población presenta una demanda de 750000 litros diarios, ninguno de los días de muestreo presentó caudales que satisfagan a la población, ni siquiera se llega a abastecer al 50% de la misma (Cuadro 11). Esto explica la distribución racionada que lleva la Junta de Agua en la comunidad, en la cual ciertos barrios son suplidos en las mañanas y el resto de ellos en las tardes.

Cuadro 11. Resultados de oferta diaria por muestreo Jicarito, Honduras, 2008

Fecha	Caudal (L/día)	Población Satisfecha (%)
30/4/2008	163508.54	21.80
10/5/2008	133281.50	17.77
3/6/2008	107329.19	14.31
27/6/2008	136421.02	18.19
10/7/2008	199391.06	26.59
28/7/2008	340990.65	45.47

La cuantificación de la demanda de agua por día de la población de Jicarito es:

$$X=5000$$

$$Y=150$$

$$5000 \times 150 = 750000 \text{ demanda total } L/\text{día}$$

En cuanto al análisis de cloro se realizaron 20 muestreos en Jicarito. Todos los muestreos realizados en las distintas llaves de la población mostraron valores de cloro de 3ppm lo que indica un valor por encima del máximo recomendado en la NTNCAP (0.5 mg/L). Se muestrearon diferentes lugares conectados a la red de distribución que en ese momento se encontraban en funcionamiento. Se tomó muestras del barrio más cercano al tanque, hasta el más alejado al mismo.

4.5.2.1 Propuesta de tratamiento.

Debido al bajo pH presentado en la fuente Jicarito 1 y su visible relación con la disposición del Aluminio, se elaboró un ensayo recomendado por SANNA, para incrementar el valor de pH y así evitar la presencia de aluminio en la fuente. La muestra tomada presentó un pH inicial de 4.5, al final del ensayo se logró subir a 7.2, valor que se encuentra dentro de los establecido en la NTNCAP.

Cálculo Estimación de cantidad de CaCO₃ ensayo en Laboratorio:

$$X_{ml} = \frac{16 \text{ mg/L}}{1 \text{ g/L}} \times 500 \text{ gal}$$

$$X_{ml} = 8 \text{ mg/L}$$

Cálculo estimación de cantidad total para el aumento del pH de la fuente:

$$Q = \frac{5 \text{ gal}}{3 \text{ s}} = \frac{99 \text{ gal}}{\text{min}}$$

$$CaCO_3 = \frac{5 \text{ gal}}{3 \text{ s}} = \frac{99 \text{ gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Cantidad a Usar} = \frac{16 \text{ mg}}{L} \times 60 \times 24 = \frac{16}{1000} \times 545 \text{ m}^2$$

$$\text{Cantidad a Usar} = 8.72 \text{ Kg.de CaCO}_3 \times 2.2$$

$$19.184 \text{ lb.de CaCO}_3 \times \text{día}$$

4.5.2.2 Análisis de resultados.

El resultado indica que para elevar el pH del día 27 de septiembre del 2008, con un caudal de 99 galones por minuto, es necesario agregar 19.18 libras de CaCO₃ al día. Es recomendable repetir el cálculo periódicamente, los requerimientos de CaCO₃ difieren a través del tiempo, ya que, el caudal y el pH presentan variaciones, provocando alteraciones de concentración de aluminio en la fuente.

5 DISCUSIÓN

La caracterización del agua de consumo para las poblaciones de Jicarito y San Antonio de Oriente, manifestó una sobrecarga en la concentración de ciertos metales pesados por encima de los parámetros establecidos en la Norma Técnica de Calidad de Agua Potable del 1995.

Si bien la causa de este evento se debe a condiciones naturales de la zona, se puede determinar dos situaciones ambientales que explican el comportamiento del agua: las características geológicas del suelo y el efecto de las primeras precipitaciones en época húmeda.

Una de las razones por la que se atribuye a las características geológicas, es la similitud de comportamiento en los niveles presenciados de los metales pesados en el cuerpo de agua, a través del tiempo en diferentes puntos geográficos. No se identificó causas de contaminación puntual, como actividades humanas o problemas en la tubería.

San Antonio de Oriente presenció actividad minera en el tiempo de la colonia. Existen estudios que comprueban que la actividad minera tiene influencia negativa sobre el ambiente, tal como la contaminación a fuentes de agua con sustancias nocivas para la salud, como metales pesados. Según Chapman (1992), la naturaleza de estos contaminantes dependen del material que fue extraído y de los procesos de post extracción realizados. Otro factor que indica contaminación de las fuentes de agua por actividad minera, es la lixiviación de minerales expuestos al realizarse la extracción, causando un impacto indirecto al agua subterránea, donde se presenta una intrusión salina a la fuente. Según la entrevista realizada al ex presidente de la Junta de Agua de San Antonio de Oriente (2008), se ha tratado de encontrar otras fuentes de abastecimiento, pero todas presentan una concentración salina elevada, exceptuando la actual fuente que abastece a la comunidad. La toma de agua de San Antonio de Oriente no presenta relación con la actividad minera, como el resto de sus fuentes, pero las características de la zona, apuntan a que la elevada concentración de metales es por causas geológicas al igual que en Jicarito.

Los suelos de la zona son bastante ácidos. Según Dubón (2007), los suelos presentan un pH bajo, con valores que oscilan entre 4.5 a 5.8. Estos suelos son considerados fuertemente y ligeramente ácidos. La adhesión de metales pesados al suelo está determinado por el pH, al presentarse pH ácidos los metales pesados entran a un estado reducido y tienden a presentarse en estado disponible al medio.

Los suelos de las microcuencas manifiestan liberación de óxidos de hierro. Según Nanía (2003), esta característica está relacionada con una alta capacidad de fijación de metales pesados en el suelo. Estos compuestos se encuentran dispersos en el del suelo, por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de absorber metales divalentes, como el Cobre y el Plomo.

No existen estudios que determinen la composición química de los suelos en la zona de recarga de las microcuencas. Los suelos de la zona están formados por cenizas, basaltos e ignimbritas. Según Agudelo (2008) Uno de los comportamientos geológicos suscitados en la zona, se debe al hecho que los suelos de las microcuencas en época húmeda son muy lavados, los cuales se desgastan y eventualmente exponen el estado inicial del suelo, de presentarse metales pesados, estos se oxidarían al ser expuestos a condiciones ambientales y cambiaría las propiedades de los elementos.

La concentración elevada de metales en el agua, se debe a la interacción del recurso hídrico con el suelo. El comportamiento de los elementos muestran relación con las primeras lluvias del año, ya que en este periodo la mayoría de los metales presentaron su mayor grado de concentración, independientemente del sitio muestreado.

Este fenómeno se encuentra explicado por la especiación de Metales, Según FENG Lui (2000), metales como el aluminio se presenta en sus diferentes especies, dependiendo del pH del medio en el que se encuentre. Cuando el medio presenta un pH igual o mayor a 6, el aluminio se encuentra en su especie oxidada, que se traduce en una interacción nula al medio, diferente a encontrarse a un pH de igual o menor a tres, donde presenta una especie dominante de ión intercambiable, fácilmente soluble y disponible al medio en que se encuentra. Según Chapman (1996), el ión intercambiable es la especie de metal más contaminante al ambiente y la que resulta perjudicial a la salud humana.

Alvarez y Pérez (2007) mediante indicadores biológicos definieron problemas en el pH de las microcuencas El Gallo y La Salada. Torres (1999) encontró niveles de acidez en los manantiales donde la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y Comunidades Aledañas a la zona captan el recurso hídrico para consumo. El pH de las fuentes monitoreadas presentó valores bajos. La fuente Jicarito 1 (Cuadro 6) tuvo el pH más bajo seguido de Jicarito 2 (Cuadro7) y finalmente San Antonio de Oriente (Cuadro 5) que mostró un comportamiento irregular. El pH al condiciona la especiación de los metales, a pH bajos, el metal estará en su forma de ión intercambiable, por lo es fácilmente dispersado con el caudal, hasta llegar al consumidor final.

Jicarito 2 es la fuente que mejores condiciones presenta para consumo humano. Jicarito 1 y San Antonio de Oriente, por el contrario, presentaron resultados que indican a sus autoridades inmediatas tomar decisiones para tener un uso apropiado de la fuente. A lo que comprende parámetros bacteriológicos, ninguna de las fuentes presentó problemas de coliformes termotolerantes.

Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron comparados con los resultados del 2007 de UNILAB y SANNA. Al igual que el resultado de las dos instituciones, el monitoreo de este año corroboró un problema en la calidad del agua de las comunidades

de Jicarito y San Antonio de Oriente. Las acciones a tomar dependen de las decisiones que tengan los miembros de las Juntas de Agua

6 CONCLUSIONES

- El presente estudio confirmó la presencia de metales pesados sobre los límites estipulados en la Norma Técnica de Honduras para el agua para consumo en las poblaciones de Jicarito y San Antonio de Oriente.
- Los caudales de todas las fuentes estudiadas resultan insuficientes al no cubrir la demanda total de los usuarios. Se presenta una demanda diaria de las fuentes de 54,000 L en San Antonio de Oriente y 750,000 L en Jicarito, con base a un consumo diario 150 L por persona, según el SANAA y las fuentes alcanzan a suministrar tan solo el 17% de esta demanda para SAO y 8.4% para Jicarito durante la época seca.
- Los análisis físico-químicos determinaron que el pH registrado para los sitios, muestran valores muy bajos, propiciando la reducción de los metales pesados presentes en el suelo.
- El comportamiento de los metales a través del tiempo, demuestra que los elementos tienen una fuerte relación con la época del año, ya sea en incremento, decrecimiento, presencia o no detección del elemento, lo cual valida la importancia de la realización de muestreos continuos y no muestreos únicos para la toma de decisiones de las comunidades a futuro.
- Pruebas de tratabilidad del agua de la fuente de Jicarito mediante alcalinización con CaCO_3 resultan en una neutralización del agua y consecuente incremento del pH. Ésta constituye una alternativa de bajo costo de reducción del aluminio disponible en la fuente, lo que conlleva a garantizar la salud de los moradores.
- Durante el estudio no se encontraron indicadores de contaminación fecal en las muestras analizadas, que tengan significado negativo a la salud de la población, las tres fuentes presentaron valores dentro de los parámetros de la norma, no obstante, los resultados de coliformes totales resaltan la necesidad de continuar con procesos de desinfección en la fuente antes de distribuirse a la población.
- Muestreos en la red de conducción del sistema de agua dentro de la comunidad, mostraron altas concentraciones de cloro libre de más de 3 ppm, lo que indica una sobre cloración en los tanques, trayendo problemas a la comunidad por su poca aceptación al sabor del agua.

7 RECOMENDACIONES

- El agua de las comunidades del estudio debe ser tratada antes de su distribución para cumplir con la NTNCA. La opción más viable y económica es colocar un alcalinizador dentro del tanque de abastecimiento que suministre cantidades adecuadas de Cal hidratada o Carbonato de Calcio (CaCO_3) para elevar el pH del agua en el sistema de distribución y oxidar los metales presentes.
- San Antonio de Oriente debe buscar nuevas fuentes alternativas de agua para consumo debido a que la fuente actual no solo es insuficiente para cubrir las demandas de la población, sino que presentó las más altas concentraciones de metales del presente estudio. Asimismo se debe instalar un hipoclorador en el tanque de abastecimiento, para realizar un tratamiento de cloración en la fuente previa a su distribución a la población.
- San Antonio de Oriente debe dejar de utilizar la fuente para el consumo de los lactantes y la población inmuno-deprimida, ya que por su vulnerabilidad, los efectos en la salud, podrían ser más tangibles que en el resto de la población.
- La Junta de Agua de Jicarito debe prescindir de la fuente de La Cueva al inicio de la temporada lluviosa de cada año, debido a que en ese período se registraron las concentraciones más elevadas de aluminio.
- Debido a la relación entre el pH y la especiación de metales en su ión intercambiable, es pertinente realizar estudios sobre la composición química del suelo en la zona de recarga de las microcuencas, para definir si la procedencia de metales se debe a la interacción del suelo con el agua.
- En cuanto a cloración de las fuentes, se aconseja a la Junta de Agua de Jicarito monitorear el caudal de entrada a los tanques de abastecimiento y con base a este, calcular la cantidad de cloro que debe ser aplicada a la fuente, para obtener una concentración deseada dentro de la NTNCA; también se aconseja hacer muestreos de cloro residual después de la aplicación del cloro dentro de la comunidad, lo que indicará la eficiencia del sistema.
- Debido a la cercanía de la Escuela Agrícola Panamericana, a las fuentes de distribución y los tanques de abastecimiento, se propone realizar un monitoreo para observar si existe el mismo comportamiento de metales en la fuente de Zamorano.

- Hacer investigaciones en relación a efectos provocados por la ingesta de metales a concentraciones no recomendadas y evaluación de impacto a la salud en los pobladores de San Antonio de Oriente y Jicarito, por medio de la realización de estudios de metales en la sangre de los habitantes, la identificación de causas de morbilidad relacionada con consumo de metales en agua y la revisión del historial médico de la población identificando enfermedades y problemas en la salud relacionados a efectos en la salud por metales.

8 BIBLIOGRAFIA

Agudelo, N. 2008. Situación actual microcuencas aledañas a la Escuela Agrícola Panamericana. 2008. (entrevista). Zamorano, HN. Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.

Álvarez, A. 2008. Resultados de Muestreos Clean Filtration Technologies. (entrevista). Tegucigalpa, HN. Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

Álvarez, S., Pérez, L. 2007. Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras. Tesis Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 50p.

Boman, B., Wilson, C., Onterma, E. 2007. Water Quality Monitoring Programs for Environmental: assessment of citrus groves. 1 ed. Florida, US. UFL. 9p- 10p.

Boletín de la Red de Agua y Saneamiento de Honduras. 2005. Ley marco del sector agua y saneamiento de Honduras. Tegucigalpa, HN. Consultado 20 de agosto del 2008. Disponible en: <http://www.rashon.org.hn>

Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2 ed. London, UK. UNESCO. 626 p.

Cardenas F., y Gélvez, C. 1999. Química Ambiente. 2ed. Bogotá, CLM. Mc Graw-Hill 334p.

Castañé P., Topalián M., Cordero R., Salibián, A. 2002. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. 1 ed. Navarra, ES. Revista de Toxicología. 13-18p.

Cech, T. 2005. Principles of Water Resources: history development, management and policy. 2 ed. Wiley International. Edition. USA. 488p.

CEPIS. 2000. Evaluación de Servicios de Agua Potable y Saneamiento 2000 en las Américas: Honduras informe analítico. (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado 20 de Ago del 2008. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe>

Cherry, J., Freeze, A. 1979. Groundwater. Ed .rev. New Jersey, USA. Prentice-Hall. 604 p.

CORTOLINA. 2006. Calidad de Aguas: Proyecto plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Coello. Colombia. (en línea). Consultado 11 Jun 2008. Disponible en: <http://www.cortolima.gov.co>

Dubón, E. 2007. Estudio general de suelos de las áreas de montaña en la Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. Tesis Ing.Agr. Zamorano. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 63 p.

Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento.2005. Datos del sector agua potable y saneamiento. Tegucigalpa, HN. Consultado 20 de Ago del 2008. Disponible en: <http://www.ersaps.gob.hn/portal/sector/>.

Feng Lui, Shu Ping BI. 2000. Speciation of Aluminum in Acidic Natural Water Equilibria with Mineral Phase Kaolinite by Chemical Equilibrium Calculation Department of Chemistry, Nanjing University. Nanjing .CH 1-5p.

Ganrot, P. (1986). Metabolism and possible health effects of aluminum. USA. Environ Health Perspect. 65: 363-441p.

Hilleboe, H. 2006. Manual de Tratamiento de Aguas. Trad. R. Guerrero. New York, USA, Limusa. 203p.

Kirchmer, C. s.f. Criterios y Normas de Calidad de Aguas-Agua Potable. (en línea) Perú, CEPIS. Consultado 13 de Sep. del 2008.Disponible en: <http://bvsde.per.paho.org>

McJunKin, E.1982. Agua y Salud Humana. Trad. E. Cruz, 2 ed. Limusa, México D.F. MX. OMS. 231p.

McKinney, M., Schoch, R. 2008. Environmental Science: System and solution. 3 ed. Jones & Bartlett Publishers USA. 558p.

Motulsky, A. 1998. Hemochromatosis Iron Storage Disease: A cecil textbook of medicine. Philadelphia USA.WB Saunders 1-8p.

Nanía, L. 2003. La Cuenca y los Procesos Hidrológicos. Hidrología Superficial y Subterránea. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Granada. ES. Universidad de Granada. 1-7p.

Núñez, E. 2007. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural del agua destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana.49p.

ODYSSEY. 2001. Modelo DR/2500 Espectrofotómetro de Laboratorio HACH. (en línea).Consultado 03 de Sep del 2008. Disponible en: <https://www.hach.com>

Perry, C., Cox, M., Berger, P. 1999. Water Quality and Treatment: health and aesthetic aspects of water quality. 5 ed. USA. AWWA, 1129 p. (Chapter 2. p 2.1-2.27)

Perkin-Elmer Corporation. 1996. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. (en línea). United States of America. PEC. Consultado 18 de Sep del 2008. Disponible en: <http://faculty.sdmiramar.edu>

Reiber, S., Kukul, L. 1995. Drinking water aluminum and bioavailability. USA. AWWA. 86-100p.

Rivera, N. 2001. La Situación de Manejo de Cuencas en Costa Rica. (en línea) Costa Rica Consultado 19 de Sep del 2008. Disponible en: <http://www.cne.go.cr>

Rosas, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. PhD Ciencias del Ambiente, UPC. 145p.

Sánchez, M. 1989. Estudio de la Capacidad de Uso de las Tierras del Valle El Zamorano. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 30 p.

Secretaría del Estado de Salud Pública. 1995. NORMA TÉCNICA NACIONAL PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE. (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado 30 de Jun de 2008. Disponible en: <http://www.dlshonduras.org>

Segura-Muñoz, Susana I, Beltramini Trevilato, Tânia M, M. Takayanagui, Angela M. 2003. Metales pesados en agua de bebederos de presión. (en línea). Sao Paulo ATG. ALAN. Consultado 22 de Ago de 2008. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/>

SIMET (Sistema de Información Metrológica y Centro Nacional de Metrología). 1997. Reflectancia, transmitancia y absorbancia espectrales. (en línea) México. Consultado 3 de Sep del 2008. Disponible en: <http://www.simet.gob.mx/>.

Srinivasan, P., Viraraghavan, T., Subramanian, K. 1999. Aluminum in Drinking Water. Ottawa, CAN. EHC. 1-10p.

Tenorio, E. 2008. Antecedentes de Estudios de las Fuentes de Abastecimiento en Jicarito y San Antonio de Oriente 2008 (entrevista). Zamorano, HN. Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.

Tenorio, E. 2007. Guía práctica para la realización de muestreo de calidad de agua en Microcuencas. Zamorano, Honduras. DSEA 1-5p.

Torres, C. 1999. Evaluación del efecto del huracán Mitch en la cantidad y calidad de agua en los manantiales de la montaña Uyuca. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 38p.

Truque, P. 2007. Armonización de los estándares de agua potable en las Américas: OMS Honduras. (en línea) OAS. Consultado 17 de Jul de 2008. Disponible: <http://www.oas.org/>

UBA (Universidad de Buenos Aires). 2007. Espectroscopia de Absorción y Emisión Atómica. Consultado 22 de Ago.del 2008. Disponible en: <http://www.qi.fcen.uba.ar>

USAID/MIRA (Manejo Integrado de Recursos Ambientales).2005. Plan de Manejo de Recursos Naturales en la Microcuenca Quebrada El Gallo Municipio de San Antonio de Oriente. Departamento Francisco Morazán, Honduras. 9, 11-16p.

USAID/MIRA (Manejo Integrado de Recursos Ambientales). 2006. Programa de Monitorio de Calidad de agua: Microcuenca el Gallo Municipio de San Antonio de Oriente, Departamento del Paraíso. Honduras. 6-7p.

USEPA (United States Enviromental Protection Agency). 2006. Consumer Factsheet on: Cadmium (en línea). Ground Water and Drinking Water Consultado 17 de Jul del 2008. Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater/dwh/c-ioc/cadmium.html>

USEPA (United States Enviromental Protection Agency).2005.Lead in Drinking Water.(en línea) Office of Water. Consultado 24 de jun del 2008 Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater/lead/leadfactsheet.html>

USEPA (United States Enviromental Protection Agency).2007. Lead and Copper Rule. (en línea) Safewater. Consultado 24 de Jun del 2008 Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater>

USEPA (United States Enviromental Protection Agency). s.f. Consumer Factsheet on Lead in Drinking Water. (en línea) Office of Water. Consultado 24 de Jun del 2008. Disponible en: <http://www.epa.gov/safewater>

USEPA. (United States Enviromental Protection Agency). 1997. Monitoring Water Quality: Volunteer stream monitoring; a method. (en línea) Office of Water. Consultado 24 de Jun del 2008. Disponible en: <http://www.epa.gov/>

WHO(World Health Organization). 2007. Guidelines for Drinking Water Quality: pH in Drinking Water. United States of America. 8p.

3M Petrifilm 2006. Microbiología coliformes. (en línea).México. Consultado 08 de Ago del 2008. Disponible en: <http://www.3m.com>

9 ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de calidad de agua según la Norma Técnica Hondureña.

NORMA TÉCNICA HONDUREÑA 1995

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS			
Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Concentración Iones			
Hidrógeno	Valor pH	6.5 a 8.5(a)	
Cloro Residual	mg/L	0.5-1.0 (b)	5 mg/L(c)
Temperatura	°C	18 – 30	
Conductividad	µS/cm	400	
Aluminio	mg/L		0.2
Cobre	mg/L	1.0	2.0
Zinc	mg/L		3.0
PARÁMETROS PARA SUSTANCIAS NO DESEADAS			
Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Hierro	mg/L		0.3
PARÁMETROS PARA SUSTANCIAS INORGÁNICAS CON SIGNIFICADO PARA LA SALUD			
Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Cadmio	mg/L		0.003
Plomo	mg/L		0.01
PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS			
Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Turbiedad	UNT	1	5

Anexo 2. Resultados Encuesta Junta de Agua San Antonio de Oriente y Jicarito

Organización	Jicarito	San Antonio de Oriente
JJAA reconocida por el SANNA	Sí	No
Total Miembros Junta de Agua	9	10
Año de construcción del Proyecto de Agua	1978-1979 Inauguración Abril	Hace 2 años
Número de Abonados	800 familias	40 familias
Tipo de Fuente	Subterránea	Naciente de agua subterránea
Condiciones Zona de Recarga	Forestada	Deforestada
Fuente permanente	Sí	Sí, con problemas en verano servicio por hora
Tipo de propiedad de la Fuente de Agua	Privado (EAP)	Fuente vendida a la Ciénega
Tipos de Contaminantes Identificados	Aluminio Muestreo 2007, Tubería Oxidada	-----
Frecuencia de Mantenimiento del Sistema	Cada 2 meses	Trimestral
Estado de tuberías	En general bueno	Presenta mucho sedimento Tubería oxidada DHG
Salario del Fontanero	4 000 L.	No hay
Tipo de Hipoclorador	Goteo	No
Periodos de aplicación de Cloro	Cada semana	No
Precio del Cloro (lb)	25 L.	No
Periodos de análisis de Calidad de Agua	No especificó	No
Cambios en la Calidad del Agua	Se mantiene	Si, en época húmeda
Tratamiento Domiciliario	Cloración	No
Entidad que realiza los análisis	EAP y Centro de Salud	No existe
Lugar donde se realiza el análisis	en el tanque	-----
Sistema de Aguas Residuales	Sí	No
Casas Pegadas a este Sistema	800	40 familias
Almacenamiento de Tanques	20,000 gal/ 25,000gal / 50,000gal / 10,000gal	8000 gal
Numero de Tanques de Abastecimiento	4	1
Cuentan con Filtro	No	No
Tipo de Tubería	PVC y Hierro Galvanizado	PVC y HG pilas viejas
Material de los Tanques	Concreto	Ladrillo Arena Cemento Grava Varilla
Cloro disponible	Sí	No
Protección a la Fuente	Sí, tuberías de conducción y red cubiertas completamente	No
Estado Actual de la Fuente de Agua	Bueno	Bueno
Mantenimiento Zona de recarga	Trimestral	No
Mantenimiento Captación de Agua	Cada 2 meses	Sí
Mantenimiento Tanques	Mensual	Trimestral
Extracción de Madera	No	No
Acceso de Animales	No	En el tanque nuevo, Sí
Zona de captación de agua cercada	Sí	Si las pilas viejas falta el tanque nuevo

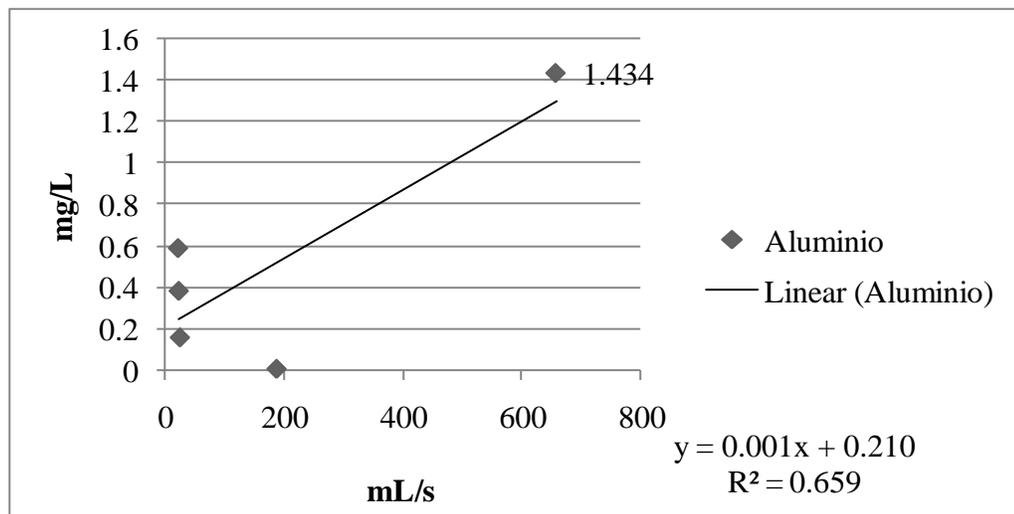
Fuente: Información Encuesta MIRA 2003, Adaptación por Autor, 2008.

Anexo 3. Parámetros Bacteriológicos Según la NTNCAP, Honduras, 1995

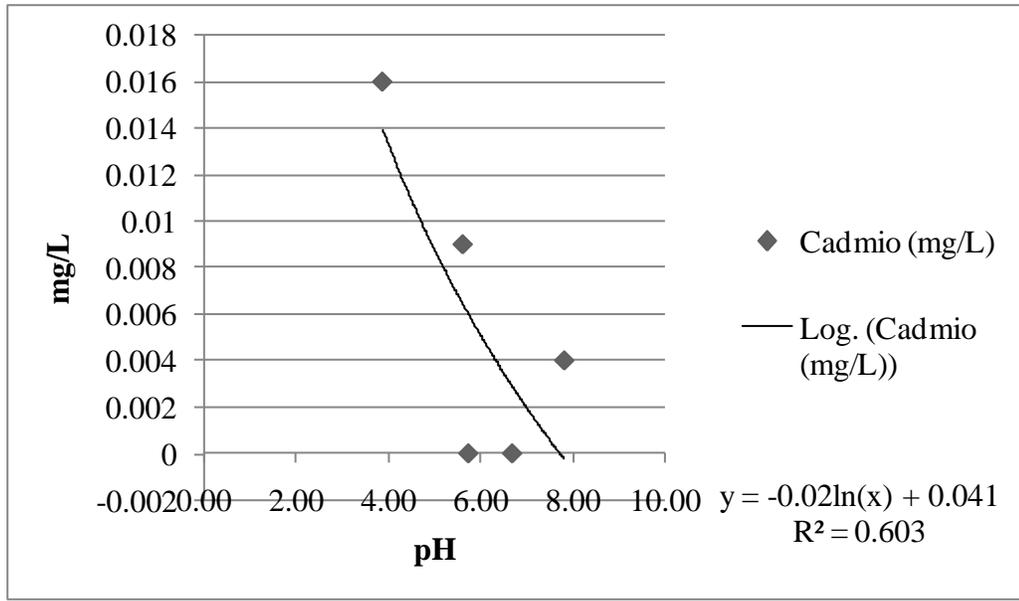
ORIGEN VALOR	PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	OBSERVACIONES
A. Abastecimiento con agua entubada	Coliformes Fecales	0	0	En una muestra ocasional, pero no en muestras consecutivas.
	Coliformes Totales	0	3	
A.1 Agua no tratada que entra en el sistema de distribución	Coliformes Fecales	0	0	
	Coliformes Totales	0	0	

Fuente: NTNCAP, adaptada por autor.

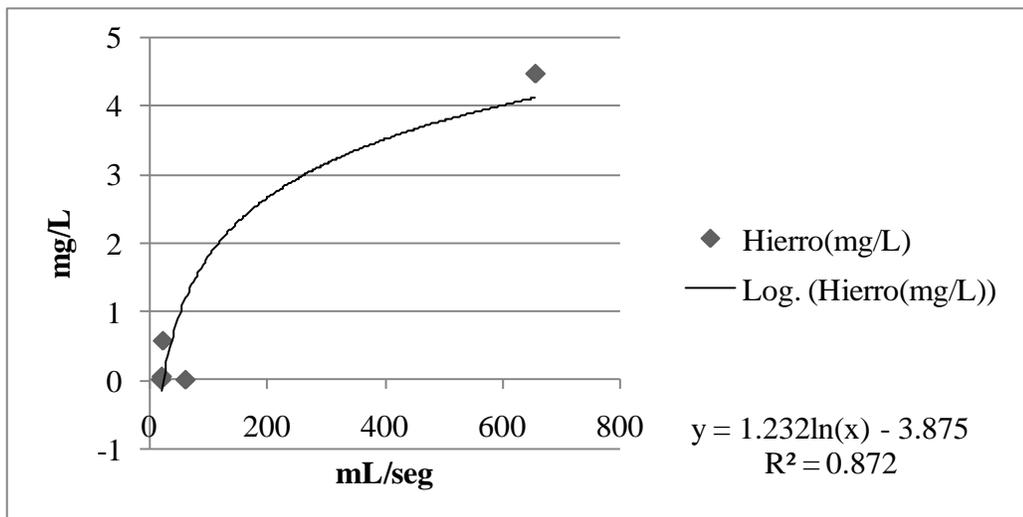
Anexo 4. Correlaciones



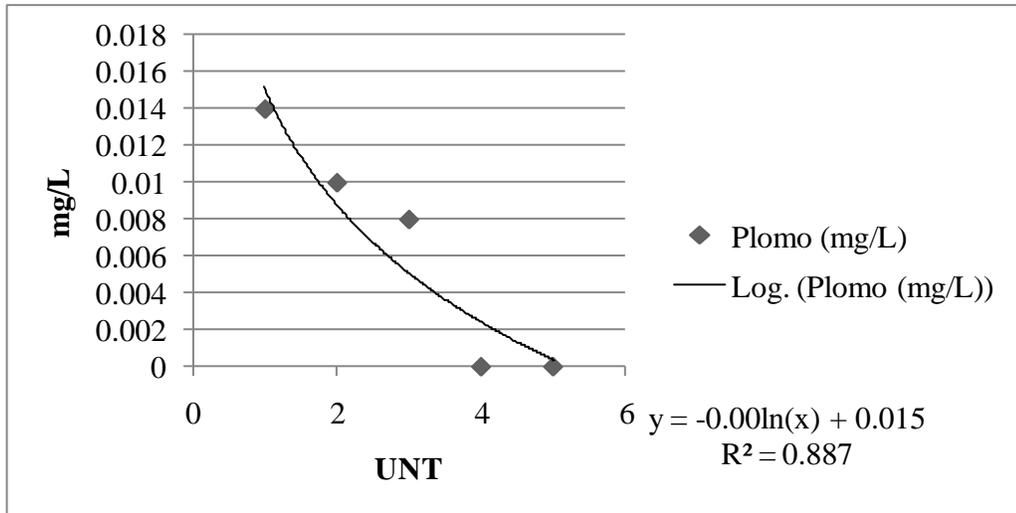
Correlación Caudal Aluminio San Antonio de Oriente



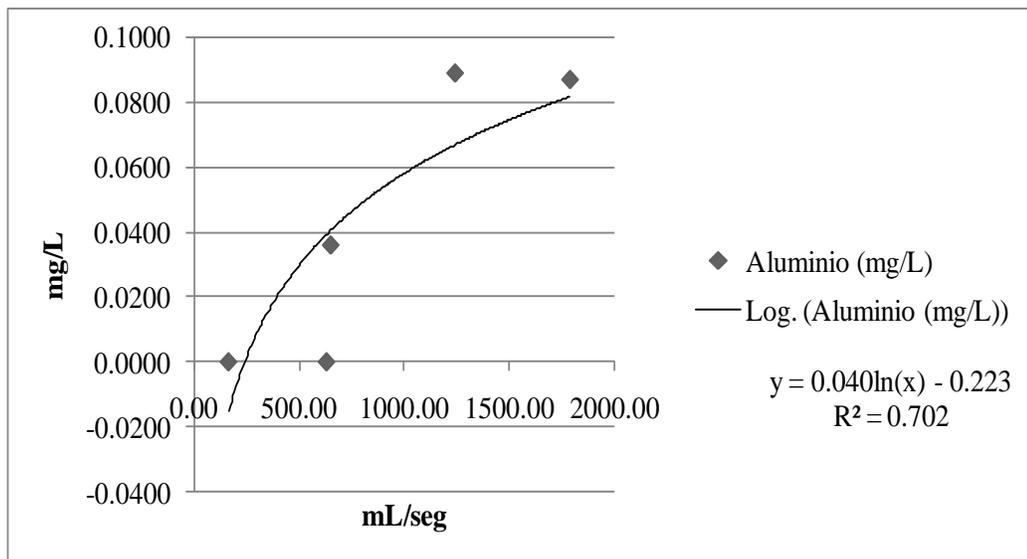
Correlación pH Cadmio San Antonio de Oriente



Correlación Caudal Hierro San Antonio de Oriente



Correlación Caudal Turbidez (Plomo) Jicarito 1



Correlación Caudal Aluminio Jicarito 1

Anexo 5. Diagramas de Flujo

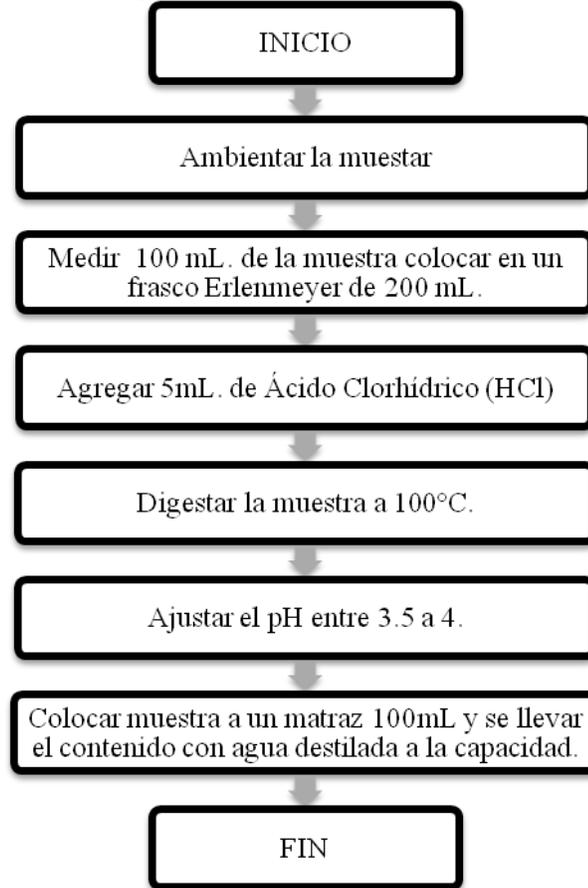


Diagrama de Flujo de Proceso de Digestión

Fuente: Elaboración Propia

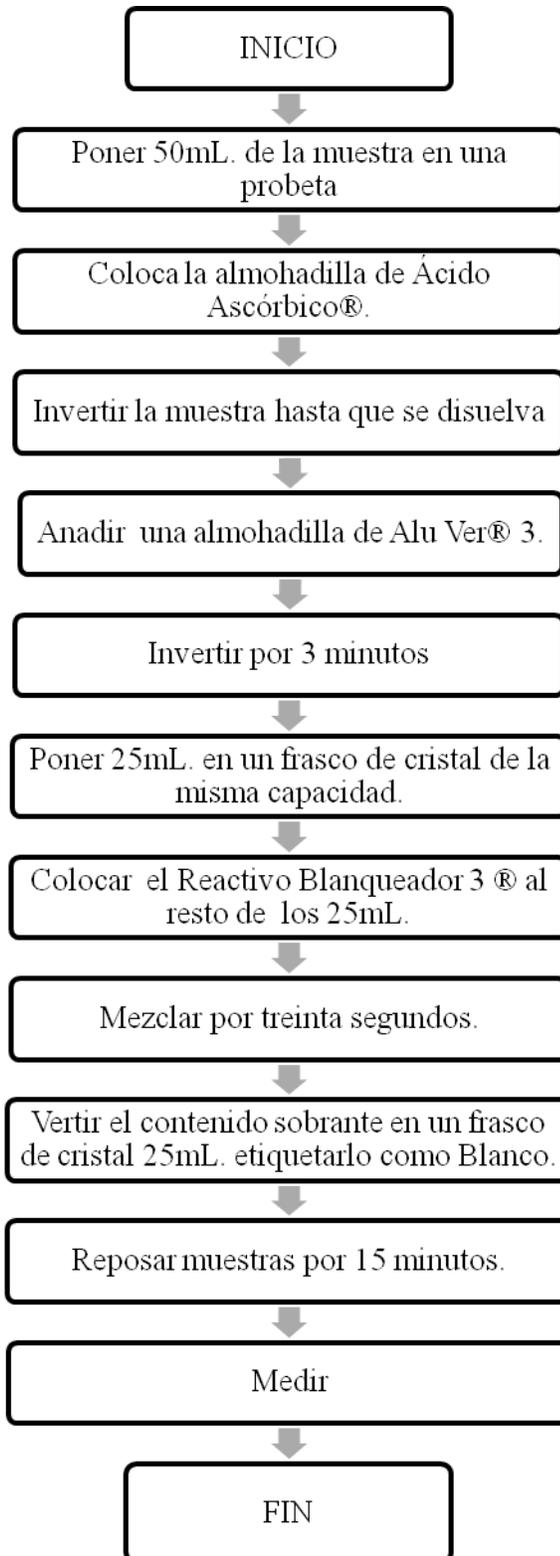


Diagrama de Flujo de Aluminio Total mediante colorimetría
Fuente: Elaboración Propia

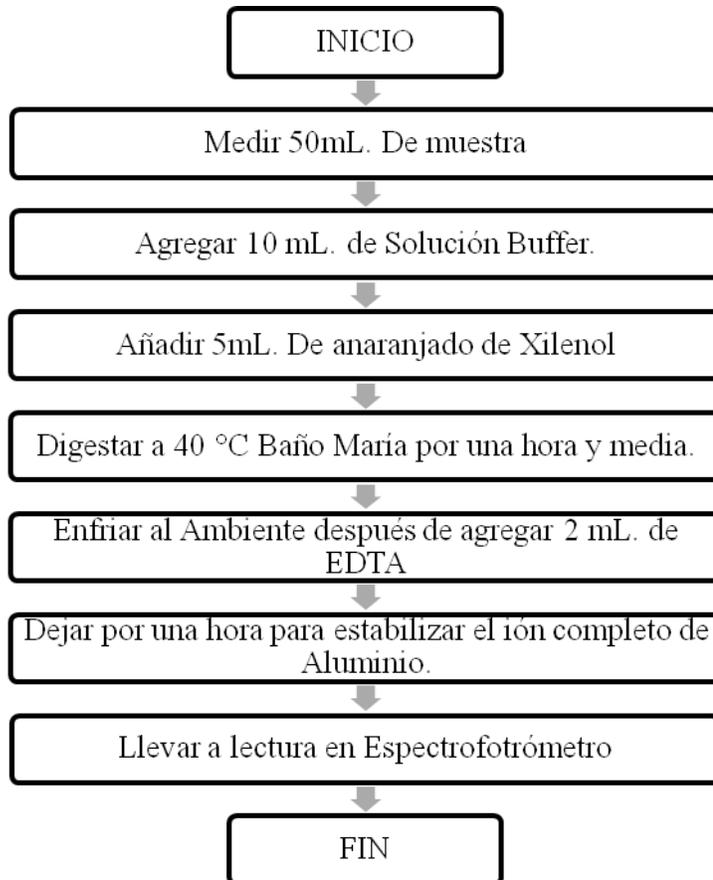


Diagrama de Flujo de Aluminio por Anaranjado de Xilenol
Fuente: Elaboración Propia

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al proyecto Iniciativa del Yeguaré y Fundación W. K. Kellogg, por el financiamiento para la realización del presente estudio.

A las Juntas de Agua de Jicarito y San Antonio de Oriente por la apertura y apoyo al estudio.

A Reynieri Ortiz por la ayuda en la realización del Monitoreo.

A la Ing. Erika Tenorio por brindar todo su apoyo y conocimiento en transcurso del estudio.