

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN
Y CONDUCCIÓN DEL AGUA DE CONSUMO, COMUNIDAD EL CACAO,
MOZONTE, NUEVA SEGOVIA**

TRABAJO MONOGRÁFICO PRESENTADO POR:

Br. Tania Sarahy Garmendia Almendarez
Br. Jennifer Lidieth Villalta Domínguez

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR:

PhD. Leandro Alberto Páramo Aguilera

Managua, Nicaragua 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente a Dios por darnos la vida, sabiduría y voluntad a lo largo de la carrera, por ser nuestra fuerza en los momentos de debilidad y por permitirnos la realización del presente trabajo.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental de nuestra vida y por su apoyo incondicional perfectamente mantenido a través del tiempo.

Al mismo tiempo deseamos agradecer a nuestro tutor PhD. Leandro Páramo por sus conocimientos brindados, sus orientaciones, su persistencia y su motivación para la culminación de esta investigación. Agradecemos de corazón todo su apoyo incondicional y su paciencia para guiarnos durante el desarrollo de la tesis. Ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda.

Al Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad de Ingeniería (PIENSA-UNI) y en especial a MSc. Larisa Korsak por todo el apoyo y facilidades que nos fueron otorgadas en el PIENSA. Por las oportunidades brindadas para el desarrollo de esta tesis.

A los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

A nuestras amigas Karen, Junieth y Belkiss quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, gracias por creer en nosotras y haber hecho de nuestra etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaremos.

Finalmente nuestros sinceros agradecimientos a todas las personas que desinteresada e incondicionalmente nos apoyaron a lo largo de este proceso de investigación.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis al Rey de los siglos, inmortal, invisible, al único y sabio Dios que me ha brindado una vida llena de alegrías y aprendizaje, por su infinito amor y misericordia mostrada en cada momento de mi vida. Gracias por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio. Hoy puedo decir:

A ti, oh Dios de mis padres, te doy gracias y te alabo, porque me has dado sabiduría y fuerza... Daniel 2:23.

A mi madrecita linda Guadalupe Almendárez una mujer esforzada y valiente, por haberme apoyado en todo momento, por su amor, por sus consejos y sus valores que me han permitido ser una persona de bien. Madre, gracias de todo corazón por apoyarme económica y moralmente durante mi etapa en la universidad y por motivarme constantemente para alcanzar esta carrera universitaria.

A todos mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome: Alicia, Liliana, Henry, Walter, Lester y en especial a mi hermana Elieth Garmendia que nunca titubeó para ayudarme y apoyarme en todo momento. Gracias por tu tiempo, tus consejos, tu apoyo incondicional y cariño.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero sé que Dios ha estado conmigo en cada paso de esta larga trayectoria. A Dios sea honor y gloria para siempre.

Tania Garmendia.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico principalmente a Dios por haberme creado a imagen y semejanza suya y regalarme la sabiduría para saber lo que es bueno y lo malo.

También dedico esta tesis monográfica a mis padres Lidieth Josefa Domínguez Sánchez y David Salvador Villalta Gonzáles porque me han apoyado infinitamente en todo momento, ellos me dieron la fuerza y el ánimo de realizar mi preparación, además cuidaron a mis dos tesoros cuando ellos estaban pequeños, en especial mi papá que a pesar de haber sufrido un accidente pudo quedarse al cuidado de ellos, les daba su biberón, cambió sus pañales y se quedó muchas horas sentado a la espera de mi madre para que llegara de trabajar y que yo pudiese ir a la universidad, sin ellos no fuera la persona quien soy ahora, ya que me han enseñado valores religiosos y morales para ser una persona de bien.

A mi esposo Moisés Alejandro Rivera Zepeda por estar siempre a mi lado a pesar de las dificultades que se nos han presentado en el transcurso de nuestro matrimonio, por ser una persona leal, honesta y por estar presente en los momentos más difíciles de mi vida, que a pesar que me embaracé de muy corta edad él siempre me dio apoyo de seguir con mis estudios trabajando arduamente con el propósito de llegar al proceso de culminación de mis estudios. A mis dos hijos Jennifer Alejandra Rivera Villalta y Moisés David Rivera Villalta por ser el motor y el motivo de inspiración para este proyecto, en la cual ellos le han pedido a Dios y la Virgen Santísima de que no me falte salud, fe y principalmente el amor hacia mi familia ya que nuestro Señor Jesucristo es el pilar de nuestra familia, para que muy pronto me gradúe y luego pueda proporcionarles una vida digna y que se sientan orgullosos de una madre como yo.

A Dalieth Azucena Villalta Domínguez por ser la mejor hermana que Dios me pudo haber dado, ya que ella también me ha tendido la mano en todo momento y en todo aspecto tecnológico, además de estar al cuidado de mis hijos y ayudándome en las tareas del hogar mientras yo estaba en la universidad.

Jennifer Villalta.

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA

Managua, 31 de mayo del 2017.

Por este medio me es grato presentar el trabajo titulado:

**"EVALUACIÓN Y PROPUESTA
DE MEJORA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL AGUA
DE CONSUMO, COMUNIDAD EL CACAO, MOZONTE, NUEVA SEGOVIA".**

y que fuera desarrollado por las Bachilleres: Tania Sarahy Garmendia Almendarez y Jennifer Lidieth Villalta Domínguez.

Este trabajo nace como producto del desarrollo de los trabajos de extensión y servicios del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales, PIENSA-UNI y como producto de una necesidad concreta en una comunidad rural del corredor seco de Nicaragua, en Mozonte, Nueva Segovia. El trabajo pretende contribuir desde el punto de vista técnico a la solución de un problema que sufre la comunidad en la calidad y cantidad de servicio de agua en la época seca.

Para el desarrollo de esta investigación, las estudiantes debieron recorrer la comunidad, conocer a fondo su forma de vida y sus principales necesidades, hacer uso de las herramientas brindadas durante su formación, consolidar disciplinas no muy bien consolidadas para el Ingeniero Químico (microbiología, bioquímica, sistemas de tratamiento de aguas, entre otras), además de realizar cursos relacionados con la biología molecular para completar el conocimiento requerido para llevar a feliz término el trabajo.

Este proyecto de investigación, además de brindar propuestas de solución a la problemática de la comunidad, es el primero de su tipo hasta donde tenemos conocimiento, que hace uso de las herramientas moleculares para aislar y especiar microorganismos para su identificación relacionándolos con los más sentidos problemas de la población (social, salud) en lo referido al uso del agua de consumo.

Debido a todo lo antes expuesto, recomiendo al tribunal examinador considerar este trabajo para defensa y principal requisito para alcanzar el título de Ingeniero Químico.

Atentamente



Ph.D. Leandro Alberto Páramo Aguilera
Tutor de tesis.

RESUMEN

Esta investigación estuvo enfocada en el estudio de la calidad del agua (físicoquímica y microbiológica) y el análisis técnico del sistema de captación y conducción de la comunidad El Cacao del municipio de Mozonte, departamento Nueva Segovia. Los trabajos se complementaron con una encuesta realizada a los jefes de familia de la comunidad para determinar el impacto social de la calidad del agua y las condiciones de vida de los pobladores de El Cacao.

Durante el desarrollo del presente trabajo se abordaron específicamente los parámetros físicoquímicos, metales pesados, plaguicidas y microbiológicos (incluyendo la especiación de microorganismos) para conocer si el agua cumplía con los valores recomendados descritos en las Normas CAPRE y a la vez determinar que otros microorganismos podrían estar presentes en la biopelícula observada en el punto de captación, así como su posible relación con las enfermedades observadas en los pobladores de la comunidad. Con respecto al análisis técnico se realizó una inspección en el sistema de captación y conducción del agua de esta comunidad, con el propósito de proponer mejoras que conduzcan al suministro de agua con una mejor calidad. Los análisis de los parámetros antes mencionados se realizaron después de la toma de muestras en cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento: pila de captación, tanque de almacenamiento y llave de chorro. Los muestreos se realizaron en el período comprendido entre febrero y abril del año 2015. Los análisis fueron realizados en los laboratorios del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad de Ingeniería (PIENSA-UNI), a excepción de la secuenciación de microorganismos que fue realizada en el Laboratorio de Biología Molecular ubicado en la Universidad Centroamericana (UCA). Se preparó una encuesta y se aplicó a cada uno de los 24 jefes de familia de la comunidad en la que se pretendió analizar el impacto del recurso agua sobre los niveles de vida de la población del lugar.

Los resultados obtenidos permitieron aseverar que los niveles de conductividad (562-593 $\mu\text{S/cm}$), turbidez (7.05-7.37 NTU), color verdadero (5.49 UC), concentración de hierro total (0.33 mg/L), sulfatos (53.53-71.64 mg/L), manganeso (0.020-0.023 mg/L), sodio (25.80-29.00 mg/L) y amonio (0.07-0.56 mg/L) se encuentran por encima de los valores recomendados por la Normas CAPRE para agua de consumo humano. Se obtuvieron altos niveles de arsénico en esta agua, hasta tres veces lo establecido como límite máximo por las Normas CAPRE. Esta agua presentó contaminación por Coliformes totales, fecales y *E.coli*, que para agua de consumo humano deberían estar ausentes según lo establecido por la misma norma y de la biopelícula observada en el punto de captación fue posible aislar e identificar microorganismos como: *Alcaligenes sp*, *Paenalcaligenes sp*, *Alcaligenes faecalis*, *Paenalcaligenes suwonensis*, *Proteus mirabilis*, *Serratia nematodiphilia* y *Stenotrophomona maltophilia*, en lo que respecta a bacterias y *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, además de dos aislados identificados como *Aspergillus sp* en lo que a hongos filamentosos se refiere.

Muchos de estos microorganismos están muy bien documentados en la bibliografía citada como responsables de muchas enfermedades transmitidas por el agua y algunas de las cuales se pudieron observar que están presentes en la población de la zona en estudio. Las encuestas realizadas a los jefes de familia de la comunidad El Cacao, permitieron establecer la relación existente entre el nivel de pobreza observado en la zona y la condición de salud de los pobladores por el consumo de esa agua y por la mala manipulación durante el transporte y en el hogar.

Finalmente la realización de este trabajo, permitió proponer modificaciones al sistema de conducción y distribución del agua mediante la adición de sistemas de drenaje que permitan los lavados recomendados a la pila de captación y tanque de almacenamiento de agua. Se propuso también el uso de filtros KANCHAN a nivel domiciliario para acondicionar el agua con respecto a los niveles de arsénico encontrados y posteriormente la adición de cloro comercial (Cloro Nica) al agua filtrada con vistas a eliminar los agentes patógenos presentes, obteniendo de esta forma un agua con mejor calidad de la que se dispone en la actualidad. La implementación de estas medidas correctivas al sistema de conducción, aunadas a medidas educativas que se recomiendan para toda la población de la comunidad El Cacao, contribuirá apreciablemente a disminuir los niveles de enfermedades observadas en el lugar, a un mejor uso y manejo del recurso agua y finalmente al mejoramiento de las condiciones y niveles de vida de la población.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUÍA.....	iv
RESUMEN	v
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Calidad del agua.....	3
3.2. Normas para la clasificación de recursos hídricos	3
3.3. Normas de calidad del agua para consumo humano	4
3.4. Análisis fisicoquímicos.....	5
3.5. Análisis microbiológicos	10
3.5.1. Método de aislamiento e identificación microbiana con base en su morfología	12
3.5.2. Método molecular de identificación microbiana (secuenciación)	14
3.6. Análisis de metales pesados	17
3.7. Análisis de plaguicidas.....	17
3.8. Aspectos técnicos y sociales relacionados con la calidad del agua de consumo	19
3.8.1. Sistemas convencionales de abastecimiento de agua	19

3.8.2.	Tratamientos físicos del agua.....	21
3.8.3.	Tratamientos Químicos del agua.....	21
3.8.4.	Aspectos sociales que inciden en la calidad del agua	23
IV.	METODOLOGÍA	25
4.1.	Lugar de desarrollo	25
4.2.	Puntos de Muestreo.....	26
4.3.	Período y frecuencia de muestreo.....	27
4.4.	Procedimiento de recolección de muestras	27
4.5.	Clasificación del agua del acuífero de la comunidad El Cacao de acuerdo a la Norma para la clasificación de recursos hídricos (NTON 05-007-98)	27
4.6.	Parámetros analizados.....	28
4.7.	Determinar el impacto social de la calidad del agua en los pobladores	32
4.8.	Análisis técnico del sistema de captación y conducción del agua	33
4.9.	Elaboración de diagnóstico técnico sobre la calidad del agua y el estado del sistema de captación y conducción	34
4.10.	Elaboración de la propuesta de mejora.....	34
V.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
5.1.	Clasificación del agua del acuífero de la comunidad El Cacao de acuerdo a la Norma para la clasificación de recursos hídricos (NTON 05-007-98)	35
5.2.	Análisis fisicoquímicos.....	36
5.3.	Análisis de metales pesados y plaguicidas	39
5.4.	Resultados de los análisis microbiológicos	40
5.5.	Resultados del impacto social asociados a la calidad del agua según las encuestas	54
5.6.	Análisis técnico del sistema de captación y conducción del agua de la comunidad El Cacao	60
5.7.	Diagnóstico técnico sobre la calidad del agua y el estado del sistema de captación y conducción de la comunidad El Cacao.....	62

5.8.	Propuesta integral para la mejora del sistema de captación y conducción del agua en la comunidad El Cacao y uso del agua a nivel domiciliario.....	63
VI.	CONCLUSIONES	71
VII.	RECOMENDACIONES	73
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	74
IX.	ANEXOS	80
9.1.	Anexo A. Técnica del estriado de placas	80
9.2.	Anexo B. Esquema de la tinción Gram.....	80
9.3.	Anexo C. Certificados originales de los análisis fisicoquímicos realizados en los tres puntos de muestreo	81
9.4.	Anexo D. Certificados originales de los análisis de metales pesados y plaguicidas realizados en la pila de captación	90
9.5.	Anexo E. Certificados originales de los análisis microbiológicos realizados en los tres puntos de muestreo	92
9.6.	Anexo F. Formato de la encuesta realizada para determinar el impacto social de la calidad del agua en los pobladores de la comunidad El Cacao.....	101
9.7.	Anexo G. Datos generales de los jefes de familia de la comunidad El Cacao, características físicas y servicios básicos de las viviendas.	103
9.8.	Anexo H. Cálculos de caudales y velocidades en la pila de captación y en la llave de chorro	109
9.9.	Anexo I. Parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua, de acuerdo a la categoría para uso doméstico	113
X.	LISTA DE ABREVIATURAS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de las diferentes estructuras morfológicas de bacterias (cocos, bacilos, espirilos, vibriones, etc.) (Seely y Vandemark, 1995).	12
Figura 2. Vista satelital de la ubicación exacta de la comunidad El Cacao (Google Maps, 2017).	25
Figura 3. Se muestran los diferentes puntos monitoreados en la comunidad El Cacao. 1. Pila de captación, 2. Tanque de almacenamiento, 3. Llave de chorro.	26
Figura 4. Entrevista aplicada a los pobladores que toman agua del acuífero de la comunidad El Cacao.	33
Figura 5. Se muestran diferentes ángulos donde se puede observar la biopelícula que se forma en la pila de captación (Punto 1).	35
Figura 6. Se muestra el proceso del aislamiento de bacterias y hongos presentes en la muestra de agua que fue tomada en la pila de captación. (A) Biopelícula que se forma en la pila de captación de donde se tomó la muestra para su posterior análisis. (B) Inoculación de la biopelícula en placas Petri. (C1) Toma del crecimiento de bacterias en medio de cultivo LB. (C2) Toma del crecimiento de hongos en medio de cultivo PDA.	43
Figura 7. Placas de los aislados puros de bacterias clasificadas como Gram negativas de acuerdo a la reacción a la tinción Gram, en las cuales se puede observar que después de la tinción se tiñeron de color rosado.	45
Figura 8. Forma y color de las esporas de los aislados puros de hongos.	46
Figura 9. Árbol filogenético de los aislados de las bacterias identificadas por medio de secuenciación provenientes de las muestras de agua de la comunidad El Cacao.	48
Figura 10. Árbol filogenético de los aislados de hongos identificados por medio de secuenciación en las muestras de agua de la comunidad El Cacao.	51
Figura 11. Fotografías de los recipientes donde trasladan el agua desde la fuente a los hogares. (A) Pichingas utilizadas comúnmente por ser más fáciles de llevar. (B) Bidones usados por los pobladores para llevar un mayor volumen de agua a sus hogares.	54
Figura 12. Representación gráfica del número de familias que usan diferentes tipos de recipientes para trasladar y almacenar el agua en sus hogares.	55

Figura 13. Representación gráfica de las familias que purifican y separan el agua en los hogares.	56
Figura 14. Representación gráfica de la cantidad promedio de agua diaria consumida por familia en la comunidad El Cacao.	57
Figura 15. Esquema representativo de los componentes del sistema de abastecimiento de agua de la comunidad El Cacao.	60
Figura 16. Esquema representativo de las sugerencias técnicas recomendadas en el sistema de abastecimiento de la comunidad El Cacao.	65
Figura 17. Esquema de los principales componentes del filtro KANCHAN (OPS, 2010).	66
Figura 18. Diferentes formas de inoculación para el aislamiento de microorganismos usando la técnica del estriado de placas (Seely y Vandemark, 1995).....	80
Figura 19. Representación esquemática del procedimiento de la tinción Gram (Fuente: http://campus.usal.es/~micromed/Practicas_odontologia/index.htm).	80
Figura 20. Representación demográfica de la cantidad de personas que habitan en la comunidad El Cacao y que son usuarios actuales de la fuente de agua en estudio.....	103
Figura 21. Sexo y edad de los jefes de familia de la comunidad El Cacao.....	104
Figura 22. Ingreso económico mensual que tienen los jefes de familia de la comunidad El Cacao.....	105
Figura 23. Cantidad de personas que habitan por casa en la comunidad El Cacao.	106
Figura 24. Fotografías de las viviendas de la Comunidad El Cacao. (A) Casa con paredes de taquezal. (B) La única casa con paredes repelladas.	107
Figura 25. Acceso a los servicios básicos por casa en la comunidad El Cacao.....	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Dotaciones de agua para consumo doméstico según el promedio de población para los diferentes departamentos del país (INAA, NTON 09003-99)	24
Tabla 2: Descripción de los puntos de muestreos. Punto 1. Pila de captación, Punto 2. Tanque de almacenamiento, Punto 3. Llave de chorro	26
Tabla 3: Metodologías aplicadas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en los puntos muestreados	28
Tabla 4: Resumen de los análisis fisicoquímicos realizados en cada uno de los puntos muestreados comparados con los valores recomendados según las Normas CAPRE	36
Tabla 5: Resumen de los análisis de metales pesados y plaguicidas efectuados en el punto de captación aplicado al agua de consumo de la comunidad El Cacao y comparados con los valores máximos admisibles según las Normas CAPRE..	39
Tabla 6: Resumen de los análisis microbiológicos obtenidos por el método del Número más Probable, aplicado al agua de consumo de la comunidad El Cacao y comparados con los criterios establecidos en las Normas CAPRE	41
Tabla 7: Características morfológicas de los hongos identificados en las muestras de agua de la comunidad El Cacao.....	46
Tabla 8: Interrelación entre la clasificación morfológica por medio de tinción Gram y los resultados mediante el análisis de la filogenia de bacterias de la Figura 9	49
Tabla 9: Comparación de la identificación de hongos mediante información morfológica con los resultados de las pruebas moleculares	52
Tabla 10: Métodos utilizados por las familias de la comunidad El Cacao para preservar el agua una vez que está en los hogares	55
Tabla 11: Procesos utilizados en los hogares para purificar el agua de consumo	57
Tabla 12: Cantidad de agua promedio que es utilizada para uso doméstico (cocinar, aseo personal, limpieza de casa) por las familias de la comunidad El Cacao	58
Tabla 13: Frecuencia de búsqueda de agua desde la fuente a la casa.....	58
Tabla 14: Resumen de los costos para la construcción de un filtro KANCHAN	69
Tabla 15: Ocupación, estado civil y nivel educativo de los jefes de familia de la comunidad El Cacao.....	104
Tabla 16: Cantidad de personas que trabajan por casa.....	106

Tabla 17: Resumen de la caracterización física de las viviendas de la comunidad El Cacao (tipo de vivienda, techo, paredes y piso)107

I. INTRODUCCIÓN

El municipio de Mozonte del departamento de Nueva Segovia tiene una extensión territorial de 242 km², ubicado a 234 km de la ciudad de Managua; limita al norte con la República de Honduras, al sur con el municipio de Totogalpa, al este con el municipio de San Fernando, Ciudad Antigua y Telpaneca y al oeste con el municipio de Ocotal y Dipilto. Este municipio está conformado por catorce comunidades rurales. Mozonte cuenta con una red amplia de abastecimiento de agua potable por medio de mini acueductos rurales que se encuentran ubicados en once comunidades de este municipio, las cuales son: El Zapote, El Quebracho, Apamiguel, El Yaraje, Las Cruces, Quisulí Arriba, San Antonio, La Ceiba, El Cuyal, El Caracol y El Limón, pero es importante señalar que las tres comunidades restantes conocidas como: Quisulí Abajo, Los Arados y El Cacao no cuentan con una red de distribución de agua potable, por tanto existe la necesidad de su instalación en el futuro (Instituto Nacional de Información de Desarrollo y Ministerio Agropecuario y Forestal, 2010).

La comunidad El Cacao en el municipio de Mozonte se abastece de un ojo de agua, a través de un sistema instalado que inicia con una pila de captación ubicada en el ojo de agua, su conducción a un tanque de almacenamiento ubicado aguas abajo del sitio de captación y finalmente una llave de chorro, la cual es el punto de recolección del agua por parte de la población. Este sistema de abastecimiento de agua fue construido en el año 2005 con el apoyo de la cooperativa comunal UNAG (Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos) del municipio de Mozonte, pero no cuenta con ningún tipo de tratamiento para potabilizar el agua (L. Medina, comunicación personal, 13 de febrero del 2015). La falta de agua apta para el consumo es una fuente directa de enfermedades, por lo que para proteger la salud no basta con tener agua, sino que es importante la aplicación de un tratamiento de potabilización (Barrenechea, 2005).

La comunidad El Cacao está compuesta por 24 familias (123 personas en total de acuerdo a las encuestas realizadas) las cuales se benefician de este sistema de abastecimiento de agua, pero en los últimos tiempos se ha observado la aparición de enfermedades en la piel de la población, enfermedades entéricas y otras que han motivado la realización de este trabajo; como un esfuerzo conjunto de la Alcaldía Municipal de Mozonte, la comunidad El Cacao y el Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI).

Por tanto, el presente trabajo tuvo la finalidad de analizar la calidad del agua que se consume en la comunidad El Cacao proveniente del ojo de agua, así como evaluar el sistema de captación y conducción para plantear medidas técnicas correctivas que mejorarán el servicio de agua, incluyendo factores sociales que contribuyeron a mejorar la calidad de vida de la población.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

- Evaluar el sistema de captación y conducción del agua de consumo y formular una propuesta integral para su mejoramiento, incluyendo aspectos técnicos y sociales, en la comunidad El Cacao, Mozonte, Nueva Segovia.

2.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente, incluyendo la especiación de microorganismos, el agua de consumo de la comunidad El Cacao.
- Analizar técnicamente el sistema de captación y conducción actualmente utilizado en la comunidad El Cacao.
- Elaborar un diagnóstico técnico con base en la calidad del agua suministrada para el consumo y el estado del sistema de captación y conducción de la misma.
- Determinar el impacto social de la calidad del agua en los pobladores por medio de una encuesta.
- Formular una propuesta integral para la mejora del sistema de captación, conducción y el uso del agua a nivel domiciliar.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Calidad del agua

La calidad del agua se define por la caracterización de la composición física, química y microbiológica de una muestra de agua, con algunas directrices de la calidad del agua o estándares de tal manera que reúna ciertos criterios sanitarios de aceptabilidad para sus diferentes usos para asegurar la salud pública sin causar ningún daño, y que contenga la proporción adecuada de elementos y sales minerales, pero sin poseer sustancias que pongan en peligro la salud humana en la fisiología normal del organismo (Palau, 2008).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) la mayor parte de las enfermedades prevalentes en los países en desarrollo, donde el abastecimiento de agua y el saneamiento son deficientes, son causadas por bacterias, hongos, virus y helmintos. La calidad del agua de consumo humano tiene una fuerte incidencia en la salud de las personas, como consecuencia de que sirve como vehículo de muchos microorganismos de origen gastrointestinal y patógeno al hombre.

3.2. Normas para la clasificación de recursos hídricos

Esta norma establece los parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua (lagos, lagunas, lagos artificiales, manantiales, ríos, aguas subterráneas, estuarios y mares), de acuerdo con los usos a los cuales se destinen (INAA, NTON 05-007-98).

Clasificación de los recursos hídricos de acuerdo a sus usos:

a.- Tipo 1. Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. Las aguas de este Tipo se desagregan en dos categorías:

- Categoría 1-A Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes; y
- Categoría 1-B Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración.

b.- Tipo 2. Aguas destinadas a usos agropecuarios. Estas se desagregan en dos categorías:

- Categoría 2-A Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano;
- Categoría 2-B Aguas destinadas para riego de cualquier otro tipo de cultivo y uso pecuario.

c.- Tipo 3. Aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos para su consumo humano;

d.- Tipo 4. Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia. Las aguas de este Tipo se desagregan en dos categorías:

- Categoría 4-A Aguas para el contacto humano total;
- Categoría 4-B Aguas para el contacto humano parcial.

e.- Tipo 5. Aguas destinadas para usos industriales que no requieren agua potable;

f.- Tipo 6. Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

3.3. Normas de calidad del agua para consumo humano

Según el Acuerdo Ministerial N° 65-94, el Ministerio de Salud de Nicaragua adoptó las Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano, presentadas en la IV reunión del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE), el 24 de octubre de 1994. Según el arto. 7 del Acuerdo Ministerial para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua suministrada, Nicaragua se sujetará a las Normas de calidad que contienen los valores para los parámetros físicos, químicos, microbiológicos en sus aspectos estéticos, organolépticos y de significado para la salud, con el objetivo de proteger la salud pública y por consiguiente ajustar, eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua.

Los indicadores microbiológicos de calidad de los que hace uso las Normas CAPRE, son los Coliformes totales y fecales y en cuanto al aspecto fisicoquímico los parámetros básicos son: pH, conductividad, dureza total, dureza cálcica, alcalinidad total, bicarbonatos, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, nitritos y nitratos y el estudio de algunos pesticidas y metales pesados. Dependiendo de la contaminación que se esté dando, el tipo de enfermedades que se pudieran presentar varía, en el caso de contaminación microbiológica las enfermedades asociadas son infecciosas, pero si la contaminación es fisicoquímica por plaguicidas o metales pesados las enfermedades asociadas son de tipo crónico (Normas CAPRE, 1994).

3.4. Análisis fisicoquímicos

El tratamiento físico consiste en una serie de análisis y procesos por medio del cual las impurezas se separan del agua sin producirse cambios en la composición de las sustancias, mientras que el tratamiento químico implica la alteración de cambios en la composición del contaminante (Barrenechea, 2005).

- **pH**

Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Para determinar el pH del agua es recomendable la medición *in situ*, de modo que no se modifique los equilibrios iónicos debido al transporte o una permanencia prolongada en recipientes provocando cambios cuando la muestra es llevada al laboratorio, el método aplicado *in situ* es el electrométrico (Rigola, 1990).

- **Temperatura**

La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad del agua, ya que afecta las unidades de tratamiento tales como floculación, sedimentación, filtración y desinfección, además de que a temperaturas altas se acelera la corrosión de las tuberías. A temperaturas bajas, la viscosidad del agua aumenta y esto conlleva a una velocidad menor de sedimentación de los sólidos debido a la resistencia que brindan al movimiento descendente de las partículas. Este parámetro al igual que el pH es medido *in situ*, el método es termometría (Jiménez, 2001).

- **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a la presencia de materia en suspensión, tales como sedimentos, partículas orgánicas coloidales y organismos microscópicos. La turbidez se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficiencia de la filtración para determinar si hay presencia de organismos que provocan enfermedades. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) a través del equipo denominado turbidímetro (Marín, 2003).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. El aparato utilizado para medir la conductividad es el conductímetro. La conductividad se expresa en micro siemens por centímetro. Las muestras se deben analizar preferiblemente *in situ* (Rigola, 1990; Lenntech, 2015).

- **Dureza total**

Es una forma de indicar el contenido iónico en el agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio y magnesio. La dureza del agua tiene una distinción compartida entre dureza temporal y dureza permanente, la primera está constituida por la presencia de carbonato ácido de calcio o magnesio, esta dureza puede ser eliminada al hervir el agua, ya que estos bicarbonatos precipitan cuando se calienta el agua transformándose en carbonatos insolubles, por el contrario, la dureza permanente es usualmente causada por la presencia del sulfato de calcio y magnesio y/o cloruros en el agua, estas sales no precipitan por ebullición, por tanto, son necesarios procesos químicos para eliminarlas del agua (Rigola, 1990; Ambientum, 2015)

Según la OMS (2006) el agua con una dureza superior a 200 mg/L puede formar incrustaciones en tuberías o depósitos y si es inferior a 100 mg/L puede corroer las tuberías a largo plazo. La OMS aún no conoce alguna afección a la salud ya que han realizado algunos estudios acerca de la relación entre la dureza del agua y la formación de cálculos renales, pero los estudios reportan que no hay ninguna asociación entre los dos. El análisis de dureza total se realiza mediante el método titulométrico de EDTA.

- **Calcio**

El calcio es un elemento químico que se encuentra en el medio interno de los organismos como ion calcio (Ca^{2+}), formando sales de solubles a muy insolubles. Contribuye a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones (Rigola, 1990). El calcio se determina mediante el método titulométrico de EDTA.

- **Magnesio**

El magnesio no existe libre en la naturaleza ya que se encuentra combinado como carbonato (MgCO_3), constituyendo el mineral llamado magnesita. Se encuentra generalmente en las aguas en cantidades mucho menores que el calcio. Si la cantidad de magnesio en el agua es muy grande, puede esta actuar como laxante e incluso adquirir un sabor amargo (Lenntech, 2014). Este análisis se realiza por el método de cálculo por diferencia entre la dureza y el calcio.

- **Manganeso**

El manganeso es un elemento esencial en el organismo. Su presencia no es común en el agua ya que se encuentra en pequeñas proporciones, pero en concentraciones mayores provoca el desarrollo de ciertas bacterias y sales que provocan un sabor salino y desagradable en el agua (Rigola, 1990). Para la determinación analítica de manganeso se utiliza el método del persulfato.

- **Color verdadero**

El color en el agua resulta de la presencia de diferentes sustancias. El color verdadero es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad, el término color aparente engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla. Para determinar el color verdadero es necesario filtrar el agua para eliminar todas las partículas suspendidas y posteriormente se utiliza el método de comparación visual (Jiménez, 2001).

- **Sodio**

El sodio es el sexto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre es por esto y por la solubilidad de sus sales que casi siempre está presente en la mayoría de las aguas naturales. Su cantidad puede variar desde muy poco hasta valores apreciables. Altas concentraciones de sodio se encuentran en las salmueras y en las aguas duras (Rigola, 1990). Para la determinación analítica de sodio se utiliza el método del ion selectivo.

- **Potasio**

El potasio es el séptimo elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre y corresponde a sales de solubilidad muy elevadas y complicadas de precipitar, su presencia en las aguas naturales rara vez ocurre en concentraciones mayores de 20 mg/L (Rigola, 1990). El análisis de potasio se realiza por medio del método del ion selectivo.

- **Flúor**

El flúor es un elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños, sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta puede provocar fluorosis dental, la cual es una condición que afecta el esmalte de los dientes, provocando manchas en las piezas dentales, también, puede producir fluorosis esquelética que afecta la estructura de los huesos, haciéndolos extremadamente frágiles y quebradizos, dañando de esta manera, la estructura ósea (Rivas y Huerta, 2005). El análisis de flúor se realiza por el método del ion selectivo.

- **Amonio**

El amonio se encuentra presente en el agua debido a la agricultura y factores naturales. Los niveles en agua subterránea y superficial están alrededor de 0,2 mg/L; la presencia de niveles altos de amonio puede presentar problemas de sabor y olor al agua, este puede ser un indicador de contaminación fecal, agrícola o industrial (Fernández y Vásquez, 2006). Este análisis se realiza por el método titulométrico.

- **Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales son partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez, color y olor del agua. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. El método utilizado para su análisis es el secado a una temperatura de 180°C (Rigola, 1990).

- **Nitritos**

El ion nitrito (NO_2^-) puede estar presente en el agua como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción de los nitratos (NO_3^-). Su presencia en el agua puede ser una evidencia de contaminación reciente, dada su inestabilidad (Fernández y Vásquez, 2006). Para su determinación analítica se utiliza el método colorimétrico.

- **Nitratos**

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados incluyendo el amoniaco, así como la contaminación causada por la acumulación de excretas de humanos y animales puede contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua, estos son solubles y no adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (Fernández y Vásquez, 2006).

De acuerdo a Repetto (1995) el agua con altas concentraciones de nitratos provoca en niños lactantes una enfermedad denominada metahemoglobina, la cual es provocada por la reducción de nitratos a nitritos que al ser absorbidos pasan a la sangre combinándose con la hemoglobina, que es la encargada del transporte del oxígeno, dando lugar a la metahemoglobina con menor capacidad de transporte. El poder de absorción del oxígeno por la sangre disminuye así progresivamente y se traduce en fenómenos de asfixia interna.

Esta intoxicación no ocurre en niños de mayor edad ni en adultos, en los que al existir una acidez gástrica más elevada no se produce una proliferación bacteriana en los tramos altos del intestino, por lo que no ocurre esta reducción de nitratos a nitritos. La determinación de nitratos se realiza en general por el método espectrométrico ultravioleta selectivo.

- **Cloruros**

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas. Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden también de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas (Jiménez, 2001). Para el análisis de cloruros en agua se utiliza el método del ion selectivo.

- **Hierro total**

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales. La presencia de hierro en el agua muchas veces se debe a la corrosión de las tuberías de acero y hierro. El hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca, también puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua (Rigola, 1990). Para el análisis de hierro total en agua se utiliza el método de Fenantrolina.

- **Sulfatos**

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad, pero un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor amargo al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Para determinar la presencia de sulfatos en una muestra de agua se utiliza el método turbidimétrico (Jiménez, 2001).

3.5. Análisis microbiológicos

Se define análisis microbiológico a cada uno de los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para el consumo humano, para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (Camacho *et al.*, 2009).

Microorganismos indicadores de la calidad del agua

Los microorganismos Coliformes constituyen un grupo heterogéneo con hábitat primordialmente intestinal para la mayoría de las especies que involucra. El grupo Coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo Coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de Coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente (Camacho *et al.*, 2009).

La presencia de *E. coli* en muestras de agua indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas e integridad en el sistema de distribución y por tanto es una evidencia de contaminación de diferentes orígenes. Gray (1994) destaca que la presencia de Coliformes tanto totales como fecales (*E. coli*), pueden estar presentes en una fuente de agua durante varias semanas hasta llegar a multiplicarse.

- **Coliformes totales**

El grupo de bacterias Coliformes totales comprende todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas (CO₂) en un lapso máximo de 48 horas de 35 a 37°C. Este grupo está conformado por cuatro géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*.

- **Coliformes fecales**

El grupo de Coliformes fecales también denominados Coliformes termotolerantes, está constituido por bacterias Gram negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 horas de incubación a 45 °C. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo, la más prominente es *Escherichia coli*.

- ***Escherichia coli***

Es un bacilo corto Gram negativo que se encuentra clasificado dentro de la familia *Enterobacteriaceae* (bacterias entéricas), existe como comensal en el intestino delgado de humanos y animales. Existen algunas cepas de *E. coli* patógenas, que provocan enfermedades diarreicas tales como:

***Escherichia coli* enterotoxigénica (ECET):** Es reconocida como el agente causal de la diarrea del viajero, la cual se caracteriza por diarreas acuosas con o sin fiebre. Este tipo de infecciones es muy frecuente en países subdesarrollados y afecta principalmente a los niños. La infección puede ser adquirida por el consumo de alimentos como vegetales frescos (lechuga y repollo) y agua.

***Escherichia coli* enteropatógena (EPEC):** Es causa importante de diarrea particularmente en los lactantes. La EPEC se adhiere a las células de la mucosa del intestino delgado. La infección por EPEC provoca diarrea acuosa generalmente autolimitada, aunque en ocasiones puede ser crónica. Las epidemias causadas por este microorganismo se deben al consumo de agua contaminada y productos cárnicos.

***Escherichia coli* enteroinvasiva (EPEC):** Este microorganismo se encuentra estrechamente relacionado con el género *Shigella*, produce una enfermedad llamada Shigelosis que es una infección en el colon, se transmite a través del contacto directo o indirecto de agua y alimentos contaminados con materia fecal de personas infectadas.

***Escherichia coli* enterohemorrágica (EPEC):** Se ha asociado con colitis hemorrágica, una variedad grave de diarrea. La causa más común de esta infección es el consumo de carne sin cocinar o poco cocinada. Los casos de colitis hemorrágica y sus complicaciones asociadas pueden prevenirse mediante la cocción completa de los alimentos (Camacho *et al.*, 2009).

- **Hongos**

Según Tortora, Funke y Case (2007) los hongos son organismos eucarióticos que se caracterizan por presentar una membrana nuclear, además de encontrarse en la naturaleza de manera pluricelular (hongos filamentosos o mohos) o de forma unicelular (levaduras). Este hecho favorece que su material genético se encuentre separado de los demás organelos y pueda realizar divisiones de su núcleo necesarias para la esporulación, que es la principal forma de reproducción de este organismo. Los hongos poseen una estructura de paredes rígidas que rodean el citoplasma, en donde las paredes celulares están compuestas de quitina, sustancia que también se encuentra en el caparazón de cangrejos y langostas. La mayoría de los hongos son aerobios. Entre sus características figuran: formas filamentosas e irregulares, elevaciones umbilicadas (prominencia en el centro de la colonia) y algodonosas, bordes filamentosos, colores fuertes y muy variados.

3.5.1. Método de aislamiento e identificación microbiana con base en su morfología

La morfología biológica es la disciplina encargada del estudio de la estructura de un organismo y es fundamental en la identificación preliminar y la diferenciación de los microorganismos. La morfología de las bacterias está definida por el tamaño, la forma y la estructura (Montoya, 2008). Las bacterias se clasifican con base en su morfología según la Figura 1 que se describe a continuación:

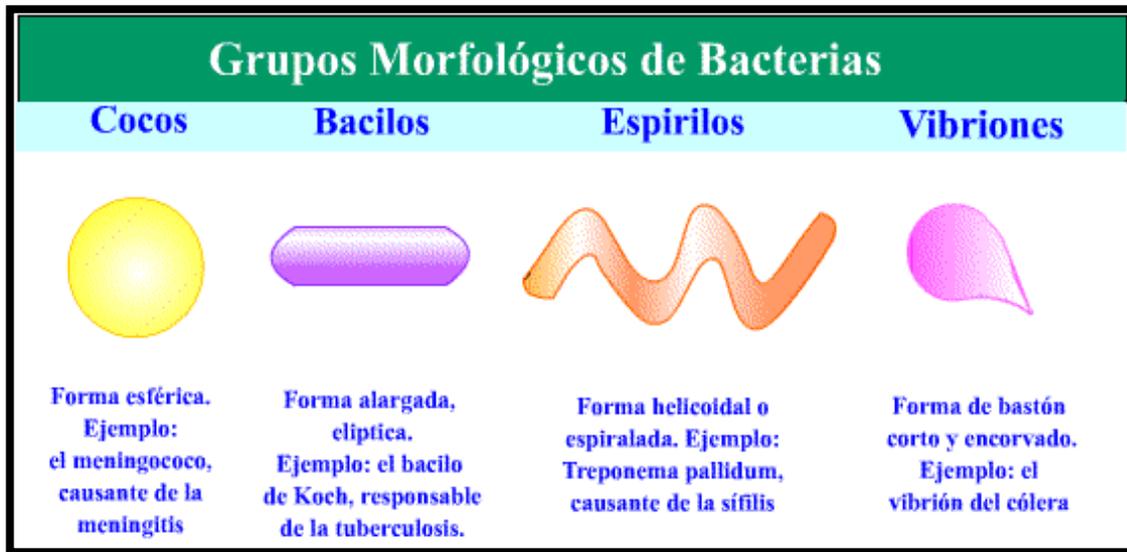


Figura 1. Representación de las diferentes estructuras morfológicas de bacterias (cocos, bacilos, espirilos, vibriones, etc.) (Seely y Vandemark, 1995).

Descripción del método aislamiento e identificación microbiana

Este método consiste en inocular cierta cantidad de una muestra en condiciones de esterilidad en placas Petri, en las que se cubre el fondo con distintos medios de cultivo según el microorganismo que se quiera cultivar. El medio de cultivo constituye el aporte de nutrientes indispensables para el crecimiento de los microorganismos.

Cuando se da el crecimiento de colonias sobre la superficie del medio de cultivo se utiliza la técnica del estriado de placa (Anexo A), con el objetivo de separar cultivo mixto de microorganismos hasta llevarlos a su estado más puro, esta técnica consiste en tomar un inóculo de una sección de una placa con un asa de siembra previamente esterilizada y cultivarlo en una nueva placa Petri, disminuyendo la población de microorganismos por el arrastre de la sección inicial hasta dos o tres secciones adicionales (Tortora *et al.*, 2007). Una vez que se ha llevado el cultivo a su estado más puro se realiza un repique de las colonias obtenidas para hacer una tinción Gram con el objetivo de clasificar a las bacterias según su morfología.

Tinción Gram

De acuerdo a la reacción a la tinción de Gram las bacterias pueden dividirse en dos grupos: Gram positivas y Gram negativas. El material de la pared celular bacteriana que confiere rigidez es el peptidoglicano. La pared de la célula Gram positiva es gruesa y consiste en varias capas interconectadas de peptidoglicano, así como algo de ácido teicoico; por otro lado, la pared de la célula Gram negativa contiene una capa mucho más delgada, únicamente de peptidoglicano y está rodeada por una membrana exterior compuesta de fosfolípidos, lipopolisacáridos y lipoproteínas (Rodríguez, Gamboa, Hernández y García, 2006).

Descripción de la tinción GRAM

- Las células fijadas al calor sobre un portaobjetos se tiñen primero con una solución de cristal violeta durante un minuto y luego se lavan con agua para quitar el exceso de colorante. En este estado todas las células, tanto las Gram positivas como las Gram negativas están teñidas de color violeta.
- El portaobjetos se cubre entonces con una solución de yodo-yoduro potásico (yodo-lugol) durante un minuto y luego se lava. El yodo entra en las células y forma un complejo insoluble en agua con el cristal violeta. De nuevo tanto las células Gram positivas como las Gram negativas se encuentran en la misma situación.
- Después se lleva a la decoloración durante veinte segundos usando una mezcla de alcohol-acetona, sustancias en las que es soluble el complejo cristal violeta-yodo. Las bacterias Gram positivas no se decoloran ya que sus paredes celulares son más gruesas, provocando que el complejo cristal violeta-yodo quede atrapado dentro de la pared celular, mientras que las bacterias Gram negativas se decoloran debido a que la mezcla de alcohol-acetona es un solvente lipídico y disuelve la membrana exterior de la pared de la célula.
- Posteriormente a la decoloración las células Gram positivas son todavía violetas, pero las Gram negativas son incoloras. Para poner de manifiesto las células Gram negativas se utiliza una coloración de contraste como la safranina o la fucsina básica durante un minuto. Después de la coloración de contraste las células Gram negativas son rosadas, mientras que las Gram positivas permanecen violetas. En el Anexo B se muestra un esquema de la tinción Gram.

Posteriormente el portaobjeto se seca y se observa al microscopio para identificar los microorganismos con base en su morfología (Rodríguez *et al*, 2006).

3.5.2. Método molecular de identificación microbiana (secuenciación)

Los métodos moleculares surgieron como procedimientos complementarios y alternativos para solventar los problemas inherentes presentados por los métodos de identificación microbiana basados en su morfología.

La filogenia es el estudio de las relaciones evolutivas entre diferentes grupos de organismos, a partir de la distribución de los caracteres primitivos y derivados en cada taxón utilizando matrices de información de moléculas de ADN y de morfología. Con esta información se establecen los árboles filogenéticos que muestran las relaciones evolutivas entre varias especies u otras entidades que se cree que tienen una ascendencia común, una vez que se resuelve el árbol filogenético del organismo en cuestión y se conocen sus ramas evolutivas, la taxonomía se encarga de estudiar las relaciones de parentesco (Romero, 2007).

La taxonomía en su sentido más amplio se descompone en tres partes independientes pero interrelacionadas:

- **Clasificación:** Es la estructuración de los organismos en grupos o taxones en función a las semejanzas mutuas o del parentesco evolutivo.
- **Nomenclatura:** Se ocupa de la asignación de nombres a grupos taxonómicos.
- **Identificación:** Constituye el lado práctico de la taxonomía que consiste en establecer que un organismo determinado pertenece a un taxón reconocido (Tortora *et al.*, 2007).

El ARN ribosómico (ARNr) 16S es la macromolécula más ampliamente utilizada en estudios de filogenia y taxonomía bacteriana. Es un polirribonucleótido de aproximadamente 1 500 nucleótidos y está presente en todas las bacterias como una familia de multigenes cuya función no se modifica con el tiempo y actúa como un marcador eficiente de evolución. En eucariotas el ARNr 18S es la macromolécula equivalente. El ARNr 16S además de ser útil para la detección de bacterias proporciona información útil y rápida sobre su identificación y filogenia mediante la comparación con bases de datos públicas que contienen un amplio número de secuencias bacterianas. Aunque las secuencias disponibles en las bases de datos presentan un tamaño variable, suelen analizarse entre 500 y 1 500 pb (pares de bases). Actualmente, GenBank es la base de datos con mayor información ya que contiene más de 2 millones de secuencias depositadas del gen ARNr 16S (Rodicio y Mendoza, 2004).

A continuación se describen las etapas metodológicas a considerar en la secuenciación:

- **Extracción del ADN**

El ADN genómico se extrae directamente a partir de una colonia aislada, mediante diferentes métodos estándares o sistemas comerciales. Dependiendo del tipo de microorganismo se pueden aplicar modificaciones que simplifiquen u optimicen la extracción cromosómica.

- **Amplificación**

Luego de la extracción del ADN genómico se utiliza un termociclador que permite realizar los ciclos de temperaturas necesarios para la reacción en cadena de la polimerasa, el ADN extraído en la primera etapa se utilizará como molde para la amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR) de una secuencia del ARNr 16S con un rango de tamaño entre 500 y 1 500 pb. Para esta etapa se utilizan cebadores o primers que sirven como punto de partida para la amplificación del ADN. Para confirmar una amplificación óptima, es imprescindible la electroforesis del producto de PCR en gel de agarosa, proceso en el cual se puede separar fragmentos de ADN y ARN en función de su tamaño, y de esta forma determinar el contenido de ácidos nucleicos de la muestra, como resultado de esta etapa se debe observar una sola banda (perteneciente a un único amplicón) con el tamaño adecuado.

- **Secuenciación del amplicón**

En esta etapa se llevan a cabo las reacciones de secuenciación y el análisis de los productos por electroforesis. La secuenciación del ADN consiste en determinar el orden de las bases Adenina, Timina, Guanina y Citosina (A, T, G, C) en un fragmento de ADN.

La secuenciación es un proceso análogo a la PCR, que utiliza el ADN como molde pero que los primers directo y reverso actúan en reacciones independientes, estos pueden ser los mismos del proceso de amplificación u otros diseñados para esta etapa del ensayo. En este proceso se añaden bases marcadas con fluorocromos o terminadores y bases no marcadas, que se irán incorporando aleatoriamente a la síntesis. Los terminadores finalizan la síntesis de la secuencia, por lo que al final se obtiene una mezcla de productos de ADN de diferentes tamaños. Cada base (Adenina, Timina, Guanina y Citosina) se marca con un fluorocromo diferente que absorbe a diferente longitud de onda, detectándose posteriormente. Los terminadores no incorporados se eliminan mediante la purificación del producto y el tamaño de cada uno se determina mediante electroforesis capilar. Según se va conociendo el tamaño y el terminador de cada fragmento se determina la secuencia de bases representadas cada una por un color diferente y se editan de forma manual o automática (Rodicio y Mendoza, 2004).

- **Análisis de la secuencia (Bioinformática)**

La observación del electroferograma constituye el primer paso del análisis de las secuencias. Algunas veces se producen errores entre el electroferograma y la secuencia; por ejemplo, asignación de dos T existiendo tres, u otras posiciones ambiguas. Para resolver estas situaciones se reedita y se corrige visualmente el electroferograma, además se alinean y ensamblan la secuencia directa y reversa en una sola secuencia.

La penúltima etapa será la comparación de la secuencia del ARNr 16S con las depositadas en bases de datos. Actualmente, la base de datos que presenta mayor número de consultas por su mayor versatilidad en organismos, orígenes, genes, tipo y número de secuencias depositadas, es la base pública GenBank NCBI (National Center for Biotechnology Information), con programas como BLAST para el alineamiento de secuencias. Además, GenBank contiene una sección de taxonomía que incluye información y secuencias sobre más de 160.000 organismos. Otras bases de datos ampliamente utilizadas en el análisis de secuencias del ARNr 16S son: Bioinformatic Bacterial Identification (BIBI) y Ribosomal Differentiation of Medical Microorganisms (RIDOM), (Rodicio y Mendoza, 2004).

- **Elaboración de árboles filogenéticos para la identificación final**

Según Campbell y Reece (2007) un análisis filogenético no sólo indica las relaciones evolutivas entre las secuencias o especies, también puede indicar cuales son las distancias entre ellas. Los métodos de reconstrucción filogenética más habituales asumen que todas las secuencias o especies provienen de un ancestro común. Los métodos filogenéticos construyen árboles (dendogramas) en los que las ramas y los nodos unen diferentes taxones. Estos taxones pueden ser especies, individuos, genes, etc. Al recorrer las ramas desde los nodos terminales hacia el nodo original recorreremos la historia evolutiva de ese gen u organismo.

Para la construcción de árboles filogenéticos, las secuencias se deben comparar y alinear con las que están depositadas en la base de datos del GenBank, para ello se utilizan los programas Bioedit Sequence Alignment Editor y Clustal W, una vez que se realiza el alineamiento múltiple de todas las secuencias se usa el programa MEGA versión 7.0 para construir el dendograma.

3.6. Análisis de metales pesados

La determinación de la concentración de metales pesados en una muestra de agua dada, es crucial para evaluar los niveles de contaminación y los riesgos para la salud, ya que pueden entrar al sistema del agua potable cuando se filtran a través del suelo al agua subterránea. La contaminación por metales pesados es generalmente el resultado de desechos no tratados de la industria minera, pero también pueden ser resultado de otros procesos industriales como la fabricación y el uso de pesticidas y fertilizantes (Bacher, 2004).

- **Arsénico**

Según Galindo y Fernández (2005) el arsénico se encuentra como materia de desecho en muchos minerales; también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas. Los efectos de la exposición aguda al arsénico son: alteraciones gastrointestinales, cardiovasculares, nerviosas, renales y hepáticas, además de cáncer de piel, afectación a los glóbulos blancos y puede ser causa de abortos espontáneos. Para la determinación de arsénico en agua se realiza por medio del Método generador de hidruros en el equipo llamado Arsenator.

- **Mercurio**

Entre los metales pesados, el mercurio es considerado el contaminante ambiental más peligroso, no sólo por la gravedad de las enfermedades que causa en los seres humanos sino también por el efecto acumulativo a lo largo de las cadenas tróficas naturales. Se ha comprobado que este metal se absorbe y acumula a través de la cadena alimenticia afectando al hombre, al que ingresa por vía oral y respiratoria. El mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, siendo los principales: daño al sistema nervioso, reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio y efectos negativos en la reproducción (Ramos Sepúlveda y Villalobos, 2003). Para el análisis de mercurio en muestras de agua se realiza a través del Método de absorción atómica de vapor frío según los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.

3.7. Análisis de plaguicidas

Los plaguicidas agrupan a un gran número de compuestos orgánicos que se usan con diversos propósitos en el campo agrícola: control de plagas, maleza, hierba. Entre los plaguicidas más comunes tenemos los organofosforados y organoclorados. La presencia de estos compuestos en concentraciones altas genera problemas en el agua y en el ambiente, en general estos residuos se degradan lentamente, razón por la cual se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente. Los plaguicidas aunque estén presentes en bajos niveles pueden causar daños a la salud humana, así como en la vida silvestre debido a su naturaleza tóxica y cancerígena (Campos, 2003).

▪ **Organoclorados**

Los organoclorados conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de plagas de insectos. Estos compuestos son, en esencia, hidrocarburos con alto contenido de átomos de cloro y fueron los insecticidas más criticados por los grupos ecologistas. Desde la primera utilización del DDT en 1941 se han empleado diversos productos organoclorados de síntesis con fines plaguicidas. El DDT es considerado un símbolo de veneno químico debido a su difícil degradación y su gran acumulación en el tejido animal.

Estos productos son muy insolubles en agua, muy estables ya que su vida media es superior a los diez años, bioacumulables y muchas veces sus subproductos de degradación son más tóxicos o persistentes que el compuesto original. La toxicidad de los organoclorados es variable según sea su configuración química que le confiere mayor o menor estabilidad. Una vez asimilados por el organismo se concentran en sistema nervioso central, ganglios nerviosos, glándulas suprarrenales y tejido adiposo en general. Entre los plaguicidas organoclorados están: DDT, Metoxicloro, Clordano, Heptacloro, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Lindane, Toxafeno y Endosulfán (Hayes, 2008).

La determinación de plaguicidas organoclorados en agua se realiza por medio de cromatografía de gases con un detector de electrones, según el Método 508 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), (Keith, 1996).

▪ **Organofosforados**

Los organofosforados son compuestos orgánicos que contiene enlaces fósforo y son utilizados principalmente en plagas. Los pesticidas organofosforados tienden a degradarse rápidamente cuando se exponen a la luz, el aire y el suelo, aunque pequeñas cantidades pueden persistir y terminar en la comida y en el agua potable. Aunque los pesticidas organofosforados se degradan más rápido que los organoclorados, éstos tienen una toxicidad mucho más aguda planteando riesgos para los agricultores, los aplicadores de pesticidas y cualquiera que se exponga a cantidades importantes de estos compuestos. Las intoxicaciones con compuestos organofosforados pueden generar: náuseas, cólico abdominal, calambres, cefalea, alteración del estado de conciencia, depresión respiratoria. Los organofosforados comúnmente utilizados incluyen: Paration, Malation, Metilparation, Clorpirifos, Diclorvos, Profenofos, Diazinon (Hayes, 2008).

La determinación de plaguicidas organofosforados en agua, se realiza por medio de cromatografía de gases con un detector de nitrógeno-fósforo, según el Método 507 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), (Keith, 1996).

3.8. Aspectos técnicos y sociales relacionados con la calidad del agua de consumo

El sistema de abastecimiento público de agua es un conjunto de obras y servicios destinados al abastecimiento de agua potable de una comunidad para fines de consumo doméstico. El agua suministrada por el sistema deberá ser siempre una cantidad suficiente y de la mejor calidad desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico (Trapote, 2013).

3.8.1 Sistemas convencionales de abastecimiento de agua

- **Sin tratamiento**

Son sistemas cuyas fuentes son aguas subterráneas, es decir yacen de la superficie del terreno bajo la forma de manantiales. Estos sistemas tienen como ventajas proporcionar agua segura a la población, sus costos de operación y mantenimiento son mínimos, no requiere de energía adicional y su desventaja es que el origen del agua puede contener un alto contenido de sales disueltas y otros compuestos químicos (Trapote, 2013).

- **Con tratamiento**

Las fuentes de estos sistemas son aguas superficiales que discurren por canales y ríos, por tanto, requieren ser tratadas. Estos tipos de sistemas están equipados con plantas de tratamiento, diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda y del caudal requerido. Las ventajas de este sistema de abastecimiento, es que no requiere de energía adicional externa para su funcionamiento y proporciona agua segura a la población (Trapote, 2013).

Según la Dirección General de Inversiones Públicas de Nicaragua (2011), un sistema de abastecimiento de agua se compone de los siguientes elementos:

- **Fuentes de Abastecimiento**

Constituye la parte más importante ya que se deben encontrar fuentes capaces de proveer agua a la población futura, previamente realizando un diseño en cantidad y calidad. De acuerdo a la forma de aprovechamiento se consideran tres tipos principales:

-subterráneas: manantiales, pozos, nacientes;

-superficiales: lagos, ríos, canales;

-pluviales: aguas de lluvia.

- **Obra de captación**

La obra de captación consiste en una estructura colocada directamente en la fuente de abastecimiento con el fin de captar el caudal deseado. Su diseño depende del tipo de fuente de abastecimiento seleccionado y sus características.

- **Línea de Conducción**

Es la tubería que conduce el agua desde la obra de captación hasta el tanque de almacenamiento, debe satisfacer condiciones para el día máximo de consumo garantizando de esta manera la eficiencia del sistema. El tipo de línea de conducción a diseñar depende de las condiciones topográficas del área de captación con respecto a la ubicación el tanque de almacenamiento. Si la obra de captación se encuentra en una zona más alta que el tanque de almacenamiento, se diseña una línea de conducción por gravedad, mientras que, si la obra de captación se encuentra en una zona más baja que el tanque se diseña una línea de conducción por bombeo.

- **Tanque de Almacenamiento**

Es el elemento intermedio entre la fuente y la red de distribución. De su funcionamiento depende en gran parte el que pueda proyectarse un servicio continuo a la comunidad. El tanque tiene funciones de almacenaje y de compensador de variaciones de los consumos. Existiendo variaciones de consumo para las diferentes horas de un día cualquiera, la tubería que suministra agua a las redes debe ser capaz de conducir el máximo consumo que una determinada zona demande en cualquier instante.

- **Estación de Bombeo**

En los sistemas de abastecimiento de agua se requiere del diseño de estaciones de bombeo lo cual precisa del conocimiento de ciertos datos específicos para una mejor selección de los equipos necesarios. Para el diseño de una estación de bombeo se consideran los siguientes aspectos: el equipo de bombeo y los accesorios complementarios.

- **Tratamiento**

El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza fisicoquímico y biológico, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para la salud y la transforma en un agua apta para consumir (Reilly y Kippin, 2000).

Cuando el agua captada no cumple con las normas de calidad, se debe considerar un sistema de desinfección apropiado que garantice la calidad del agua. Generalmente es necesario un proceso de tratamiento de depuración ya sea por filtración lenta, que consiste en hacer pasar el agua por un lecho de arena en forma descendente o ascendente y a muy baja velocidad; o filtración rápida que conlleva los pasos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y finalmente un proceso de desinfección que elimine la contaminación microbiológica, normalmente se realiza aplicación de cloro u otro tratamiento químico (Reilly y Kippin, 2000).

3.8.2. Tratamientos físicos del agua

- **Sedimentación:**

Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. La sedimentación es un fenómeno físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Marín, 2003).

- **Filtración:**

La filtración consiste en hacer pasar el agua que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante, que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante, de este modo, las partículas que no han sedimentado son retenidas en los filtros. El medio más común utilizado es el de filtros de arena sobre un lecho de grava como soporte, pero también existen otros tipos de lechos como filtración de membranas que pueden ser de plástico o de metal (Marín, 2003).

3.8.3. Tratamientos Químicos del agua

- **Coagulación-Floculación:**

Las impurezas se encuentran en el agua superficial como materia en suspensión y materia coloidal. Las especies coloidales incluyen arcilla, sílice, hierro, otros metales y sólidos orgánicos. La eliminación de una gran proporción de estas impurezas se lleva a cabo por sedimentación, basada en simple gravedad, pero algunas de estas impurezas son demasiado pequeñas para obtener un proceso de eliminación eficiente, por lo que es necesario utilizar procesos de clarificación como es la coagulación y floculación, procesos en los cuales se reduce la concentración de los materiales suspendidos en un líquido.

La coagulación y floculación causan un incremento de tamaño del floculo y su rápida aglomeración, disminuyendo así el tiempo de sedimentación de las partículas. Para realizar este tipo de procesos se adicionan sales químicas en su mayoría cargadas positivamente (sales de aluminio, sales de hierro o polielectrolitos) que desplazan los iones negativos y reducen efectivamente el tamaño de carga. Entre los floculantes más usados se tienen: sulfato de aluminio, polielectrolitos, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico (Marín, 2003).

- **Cloración:**

La cloración tiene dos funciones: desinfección y oxidación, con estas dos funciones se contribuye a eliminar hierro, manganeso, sulfuros, amoníaco y otras sustancias reductoras. El cloro se puede adicionar en forma de cloro líquido, solución de hipoclorito de sodio o tabletas de hipoclorito de calcio. El uso de cloro para potabilizar el agua tiene sus ventajas, ya que tiene capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor y corrosión en las líneas de transmisión del agua, además tiene una acción microbicida, su uso es de bajo costo y es bastante seguro, también el equipo que se requiere para su dosificación no es sofisticado ni complejo. Una de las limitantes del cloro es la generación de subproductos como son los Triahalometanos (THMs), especialmente: el cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo, posibles causantes de diversas dolencias y enfermedades. Los THMs se encuentran en el agua potable como resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua, por ello, para evitar la formación de THMs es indispensable someter el agua a tratamientos fisicoquímicos eficaces como la coagulación, floculación, sedimentación y filtración para la completa eliminación de la materia orgánica y posteriormente efectuarse la cloración (Baird, 2001).

Existen factores que influyen en la cloración, entre ellos el pH, ya que un aumento en el pH disminuye sustancialmente la actividad microbicida del cloro, y una disminución del pH aumenta esa actividad en la misma proporción, también aumento de la temperatura produce un aumento en la velocidad de reacción y desinfección; otro factor influyente es el tiempo de contacto, el cual es el tiempo de contacto entre el cloro y el agua necesario para la destrucción de todos los microorganismos patógenos, cuanto mayor es el tiempo de contacto, mayor será la posibilidad de destrucción de los microorganismos. Para asegurar la correcta desinfección del agua, el tiempo mínimo de contacto suele ser de 30 minutos. Es importante señalar que varios tipos de bacterias, virus y hongos presentan diferentes niveles de resistencia al cloro bajo diversas condiciones prácticas. Esta resistencia se puede compensar con el aumento de la concentración, a través de una disminución del pH, o por el aumento de la temperatura (Marín, 2003).

- **Cloraminas**

Las Cloraminas es un bactericida efectivo y genera menos subproductos que el uso de cloro. Su limitación es que tiene un poder desinfectante menor que el del cloro y que dentro de las reacciones posteriores puede generarse tricloruro de nitrógeno que tiene sabor y olor desagradable. Las cloraminas se forman cuando el cloro y el amoníaco se mezclan en el agua; las dos sustancias aditivas deberán combinarse en las proporciones apropiadas o el proceso no será muy eficaz. El tratamiento con cloraminas es típicamente una opción eficaz para eliminar bacterias y produce menor gusto residual que la cloración (Tortora *et al.*, 2007).

3.8.4. Aspectos sociales que inciden en la calidad del agua

De acuerdo a Pérez (2007) la educación sanitaria y ambiental se está convirtiendo en uno de los propósitos más relevantes para el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas, ya que se debe estar consciente del cuidado de la salud; por ello, no se puede entender el desarrollo social, el desarrollo de las familias y comunidades sin el enfoque del cuidado y mejoramiento de los estilos de vida y de los hábitos de higiene.

Según la OMS (2006) el agua en las zonas rurales se contamina debido a una manipulación poco higiénica durante su transporte o en casa, es por ello que es necesario tomar ciertas medidas higiénico-sanitarias en las actividades de recepción, almacenamiento y usos del agua, como las que se mencionan a continuación:

- **Recepción de agua**

Por lo general, las mujeres y los niños son los encargados de las labores de transporte y almacenamiento del agua en las comunidades, estas actividades les demandan desgaste de energía e inversión de tiempo cuando no tienen agua accesible. Para la recepción del agua se requiere contar con recipientes apropiados con capacidades entre 3 a 20 litros, pero además de eso se debe considerar el lavado de manos sistemáticamente antes de manipular el agua y el transporte del agua en recipientes previamente lavados (OMS, 2007).

- **Almacenamiento**

En el almacenamiento del agua se deben implementar acciones de promoción y educación, como el uso de recipientes limpios con tapas, exigencia del lavado de los recipientes antes de llenarlos, uso de un cucharón de mango largo o un tazón limpio para evitar que se contamine el agua al contacto con los dedos, así como no beber directamente del cucharón (OMS, 2007).

- **Usos del agua**

Según el grado de desarrollo económico, las pautas culturales, el nivel de conciencia ambiental de la población y las políticas públicas, el nivel de consumo medio por persona por día varía considerablemente. El Programa de la Organización de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2006) ha establecido en 50 litros por persona y día la necesidad básica de agua.

La OMS (2003) señala que las personas necesitan un promedio de 2 a 2,5 litros de agua para poder sobrevivir, sin embargo, la ingestión de agua por cada individuo varía en relación al peso, la temperatura, la humedad del ambiente, la dieta, las actividades realizadas, la cultura y el estado de la salud.

Es importante concientizar a las personas sobre el uso racional del agua para actividades que realmente son necesarias, ya que esto permite el aprovechamiento del agua de manera eficiente, evitando su degradación con el objetivo de no comprometer ni poner en riesgo su disponibilidad futura (OMS, 2003).

- **Dotación de consumo per cápita del agua**

Es un valor muy representativo de las necesidades de agua diaria, ya sea para consumo, aseo, limpieza, riego y se mide en litros por habitante y día (L/hab/día). Este indicador social se obtiene a partir del suministro medido por contadores, estudios locales, encuestas o la cantidad total suministrada a una comunidad dividida por el número de habitantes (Trapote, 2013). En la Tabla 1 se describe las dotaciones de agua de consumo doméstico para los departamentos de Nicaragua exceptuando la ciudad de Managua.

Tabla 1: Dotaciones de agua para consumo doméstico según el promedio de población para los diferentes departamentos del país (INAA, NTON 09003-99)

Rango de población	Dotación gal/hab/día	Dotación L/hab/día
0- 5,000	20	75
5,001- 10,000	25	95
10,001- 15,000	30	113
15,001- 20,000	35	132
20,001- 30,000	40	151
30,001- 50,000	45	170
50,001- 100,000	50	189

IV. METODOLOGÍA

4.1. Lugar de desarrollo

El sitio de muestreo está ubicado en la comunidad El Cacao, del municipio de Mozonte del departamento de Nueva Segovia. El municipio de Mozonte está ubicado a 234 km de la ciudad capital Managua. Su posición geográfica se encuentra entre las coordenadas 13° 39" de latitud Norte y 86° 26" de longitud oeste, a 693 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), con una extensión territorial de 242 km². Limita al norte con Honduras, al sur con el municipio de Totogalpa, al este con el municipio de San Fernando, Ciudad Antigua y Telpaneca y al oeste con el municipio de Ocotal y Dipilto. La comunidad El Cacao (Figura 2), se ubica en la zona sur del municipio de Mozonte, a 5,9 km de la ciudad de Ocotal, cabecera departamental de Nueva Segovia (INIDE, 2010).



Figura 2. Vista satelital de la ubicación exacta de la comunidad El Cacao (Google Maps, 2017).

4.2. Puntos de Muestreo

Las muestras para análisis se tomaron en tres puntos de muestreo descritos en la Tabla 2 que se muestra a continuación:

Tabla 2: Descripción de los puntos de muestreos. Punto 1. Pila de captación, Punto 2. Tanque de almacenamiento, Punto 3. Llave de chorro

Puntos de muestreo	Ubicación
Punto 1	Pila de captación ubicada en el ojo de agua
Punto 2	Tanque de almacenamiento ubicado aguas abajo del sitio de captación
Punto 3	Llave de chorro ubicada en el punto de recolección del agua por parte de la población

Estos puntos se pueden apreciar en la siguiente figura (Figura 3):



Figura 3. Se muestran los diferentes puntos monitoreados en la comunidad El Cacao. 1. Pila de captación, 2. Tanque de almacenamiento, 3. Llave de chorro.

4.3. Período y frecuencia de muestreo

Se realizaron dos muestreos en el mes de febrero del 2015 (13 y 16 de febrero) y posteriormente se realizó un último muestreo en el mes de abril del 2015 (09 de abril). En cada punto mencionado anteriormente (pila de captación, tanque de almacenamiento y llave de chorro) se tomó una muestra, es decir que en total se analizaron 9 muestras para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos; para el análisis de metales pesados y plaguicidas solamente se hicieron dos muestreos (13 y 16 de febrero) en la pila de captación.

4.4. Procedimiento de recolección de muestras

▪ Para análisis microbiológicos

Las muestras de agua fueron recolectadas en bolsas estériles de polietileno Whirl-Pak de 300 mL, se utilizó un par de guantes estériles para cada muestra, posteriormente se rotularon las bolsas indicando el sitio de recolección de la muestra, fecha, hora y nombre del muestreador, luego fueron trasladadas al laboratorio, manteniendo la temperatura de las muestras por debajo de los 10°C por un tiempo máximo de transporte de 6 horas, luego fueron refrigeradas para su análisis al día siguiente.

▪ Para análisis fisicoquímicos, metales pesados y plaguicidas

Las muestras de agua se recolectaron en frascos de 500 mL y en el caso de algunos análisis que se necesitaba un mayor volumen de muestra, se recolectaron en envases de un galón. Los frascos se rotularon con el nombre del sitio de muestreo, fecha, hora de recolección y nombre del muestreador posteriormente las muestras fueron trasladadas a los laboratorios en un termo portátil para su análisis.

4.5. Clasificación del agua del acuífero de la comunidad El Cacao de acuerdo a la Norma para la clasificación de recursos hídricos (NTON 05-007-98)

El agua del acuífero de la comunidad El Cacao es un agua cruda, ya que el sistema de abastecimiento no posee ningún tratamiento de potabilización, es por ello que una vez que se obtuvieron los resultados de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos, de metales pesados y plaguicidas se determinó si cumplen o no con los valores recomendados por la NTON 05-007-98 para aguas destinadas para uso doméstico.

4.6. Parámetros analizados

▪ Análisis fisicoquímicos

Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio Fisicoquímico del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI). Una vez que se obtuvieron los resultados de los parámetros fisicoquímicos, se determinó si cumplen o no con los valores recomendados por las Normas CAPRE. La Tabla 3 describe los métodos que se siguieron para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 3: Metodologías aplicadas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en los puntos muestreados

Parámetro	Método
Potencial de hidrógeno	Electrométrico 4500-H ⁺ -B
Temperatura	Termometría 2250 B
Conductividad Eléctrica	Conductimétrico 2510 B
Turbidez	Nefelométrico 2130 B
Color verdadero	Comparación visual 2120 B
Nitratos	Espectrométrico ultravioleta selectivo 4500-NO ₃ -B
Nitritos	Colorimétrico 4500-NO ₂ -B
Cloruros	Ion selectivo 4500-Cl-B
Hierro total	Fenantrolina 3500-Fe-D
Sulfatos	Turbidimétrico 4500-SO ₄ -E
Dureza total	Titulométrico de EDTA 2340-C
Calcio	Titulométrico de EDTA 3500-Ca-D
Magnesio	Cálculo por diferencia entre la dureza y el calcio 3500-Mg-E
Manganeso	Persulfato 3500-Mn-D
Sodio	Ion selectivo
Potasio	Ion selectivo
Flúor	Ion selectivo 4500-F-C
Amonio	Titulométrico 4500-NH ₃ -E
Sólidos disueltos totales	Secado a una temperatura de 180 ⁰ C 2540-B

- **Análisis de metales pesados**

Para determinar la concentración de arsénico en las muestras de agua, se usó el método colorimétrico generador de hidruros en el equipo llamado Arsenator (Analizador digital portátil de arsénico en agua, se utiliza tanto en el campo como a nivel de laboratorio, marca WAGTECH, procedencia Inglaterra), este equipo permite determinar concentraciones de arsénico en un intervalo de 2-100 µg/L de manera digital, a concentraciones mayores que 100 µg/L se realiza por comparación de tonalidad con una carta estándar de colores (100-500 µg/L).

El equipo utilizó dos reactivos: ácido sulfámico en polvo y borohidruro de sodio en tableta; también se hizo uso de dos filtros de prueba, uno que se insertó en un portafiltro de color negro y el otro en un portafiltro de color rojo, y una trampa donde se insertaron los dos portafiltros. El análisis se realizó en un recipiente de reacción cerrado, para ello se usó un matraz Erlenmeyer al que se le adicionó 50 mL de la muestra de agua, posteriormente se le agregó el ácido sulfámico y luego se le añadió el borohidruro de sodio, finalmente se cerró el matraz Erlenmeyer utilizando la trampa con los portafiltros y se dejó reaccionar durante 20 minutos, una vez que transcurrió el tiempo de reacción, el portafiltro negro se insertó en el equipo y este brindó una lectura directa de la concentración de arsénico en µg/L. Este análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Micropoluentes en agua del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI).

Para la determinación de mercurio se usó el método absorción atómica vapor-frío (3500-Hg-B) según los Métodos normalizados para aguas potables y residuales (2000), este análisis fue un servicio ofrecido en el Laboratorio Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-FIQ). Los valores obtenidos se compararon con los máximos admisibles de las Normas CAPRE.

- **Análisis de plaguicidas**

Los análisis de plaguicidas fue un servicio requerido en el Centro de Investigación en Salud, Trabajo y Ambiente (CISTA), ubicado en la UNAN-León. Para la determinación de plaguicidas organofosforados en agua se usó el método cromatografía de gases con un detector de N-F y para plaguicidas organoclorados se utilizó el método cromatografía de gases con un detector de captura de electrones, estos corresponden a los Métodos 507 y 508 de la Agencia de Protección Ambiental (Keith, 1996). Los valores obtenidos se compararon con los valores recomendados en las Normas CAPRE. Es importante mencionar que el análisis de metales pesados y plaguicidas se realizó solamente en el punto de captación por razones de costos.

- **Análisis microbiológicos**

Para conocer la calidad microbiológica del agua, se realizó primeramente un análisis a través del método del Número más Probable (NMP), el cual es un método probabilístico de la cantidad de Coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia coli* que están contenidas en un volumen determinado de una muestra de agua. Este método consta de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa (Tortora *et al.*, 2007). Este análisis se realizó en el Laboratorio de Microbiología del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI).

Para la prueba presuntiva se hizo diluciones en serie de la muestra de agua. Inicialmente se preparó una dilución primaria, para ello se transfirió 1 mL de la muestra a un tubo con 9 mL de agua de dilución, luego se repitió en serie el procedimiento de dilución hasta alcanzar la dilución 10^{-4} , luego se tomó 1 mL de cada dilución y se agregó a tubos de ensayo que contenían 10 mL de caldo lauril triptosa y un tubo Durham invertido dentro de estos, el cual es un tubo de fermentación que permite recoger el gas que se produce. Posteriormente se agitaron los tubos para homogeneizar la muestra, luego se introdujeron en una incubadora (marca MEMMERT, procedencia Alemania) a una temperatura de 35°C y se observaron después de 48 horas, donde se percibió la formación de gas y turbidez en 3 tubos de ensayo.

En la fase confirmativa para la búsqueda de Coliformes totales se transfirió 2 a 3 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva, a tubos que contenían 10 mL de caldo de bilis verde brillante con el tubo Durham invertido, luego se agitaron para su homogeneización y se incubaron durante 48 horas, posteriormente se observaron para verificar como positivos aquellos tubos en donde se evidenció gas y turbidez, el mismo procedimiento se realizó para la búsqueda de Coliformes fecales con la diferencia de que se utilizó caldo EC (medio de cultivo selectivo para determinar la presencia de organismos Coliformes y *Escherichia coli*), luego se colocaron en el equipo Baño María (marca MEMMERT, modelo W350T, procedencia Alemania) a una temperatura de 45°C por un período de 48 horas, hasta observarse la formación de gas y turbidez. Finalmente, la búsqueda de *Escherichia coli* se realizó siguiendo el mismo procedimiento, pero esta vez se utilizó caldo EC+MUG (medio de cultivo para la identificación selectiva de *Escherichia coli* por fluorescencia), luego los tubos se ubicaron en baño María a una temperatura de 45°C, por un lapso de tiempo de 48 horas hasta que se observó la formación de gas y turbidez, luego se utilizó un reflector para verificar fluorescencia porque esto indica la presencia de *Escherichia coli* en el agua. De acuerdo a los tubos positivos de la prueba confirmativa se consultó la tabla tabulada para conocer el número más probable de microorganismos presentes en las muestras de agua (Montoya, 2008). Finalmente los valores obtenidos se compararon con los valores recomendados por las Normas CAPRE.

Luego que se realizó el método del Número más Probable (NMP), se procedió a realizar el método de aislamiento e identificación microbiana y tinción Gram (Rodríguez *et al.*, 2006), basado en la morfología de los microorganismos (bacterias) e identificación morfológica (esporas, color en placas Petri, formas de las esporas) para hongos filamentosos (mohos). Además, se incluyó el método molecular de identificación microbiana (Rodicio y Mendoza, 2004) para conocer el género y la especie de los microorganismos presentes en el agua.

Estos métodos se desarrollaron con el objetivo de ir más allá de lo que tradicionalmente se hace (NMP, Recuento de colonias en placas, etc.), también para identificar los microorganismos presentes en la biopelícula y para tratar de establecer una correlación entre los microorganismos identificados por secuenciación y las enfermedades que los pobladores afirman que están padeciendo.

A continuación, se describe la metodología usada para el método de aislamiento e identificación microbiana con tinción Gram y el método de identificación molecular:

Identificación de microorganismos presentes en las muestras de agua

Inicialmente se hicieron dos tipos de medios de cultivos preparados en placas Petri, los cuales son: LB (Luria Bertani) para el crecimiento de bacterias y PDA (Potato Dextrosa Agar) para el crecimiento de hongos respectivamente. Luego de la preparación de los medios de cultivos, se tomó 0.1 mL de la muestra de agua y se sembró en cada medio correspondiente, luego se esparció la muestra por toda la placa Petri con la ayuda de un bastón de vidrio previamente esterilizado en el mechero, esto se efectuó con mucho cuidado para evitar el daño del medio de cultivo, finalmente se obtuvieron: 6 placas LB y 6 placas PDA, después se introdujeron en una incubadora a 35°C por un lapso de tiempo de 24 a 48 horas aproximadamente, una vez que se evidenció el crecimiento de microorganismos, las placas se sellaron con parafilm para mantenerlas limpias y libres de cualquier contaminación y luego se refrigeraron con el objetivo de mantener los cultivos frescos y así evitar que los microorganismos perecieran.

Aislamiento y purificación de microorganismos

Una vez concluida la etapa anterior, donde se obtuvieron cultivos mixtos tanto de bacterias como de hongos, se procedió al aislamiento de cada microorganismo hasta determinar que se contaba con cultivos puros, para el caso de las bacterias se utilizó la técnica del estriado de placas (Tortora *et al.*, 2007), mientras que para los hongos se realizó un repique de esporas y se sembraron en nueva placas Petri conteniendo medio de cultivo PDA, para esto se utilizó un asa de siembra previamente incinerada y esterilizada con alcohol al 70%.

Luego de haber realizado ambos procedimientos, los microorganismos se incubaron a 35°C por un periodo de 24 a 48 horas, diariamente se revisaron las placas para determinar el momento en que serían retiradas de la incubadora en función del crecimiento del microorganismo. Finalmente, se obtuvieron nueve aislados puros de bacterias y se les realizó tinción Gram (Rodríguez *et al.*, 2006), después se observaron por medio de un microscopio óptico binocular con cámara (marca: OMAX, modelo MD82ES10, procedencia Suiza) en el Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua, para identificar las bacterias con base en su morfología como Gram positivas y Gram negativas.

Los hongos se observaron al microscopio de luz con un objetivo de 100x (Marca: OLYMPUS CH-2, modelo CHT, procedencia Japón) para conocer la forma y color de las esporas, también se observó visualmente la coloración al frente y reverso de las placas, con respecto a esto se clasificaron cuatro hongos como aislados puros.

Método de identificación molecular y análisis de las secuencias

Una vez aislados y purificados los microorganismos se procedió a identificarlos por secuenciación, cabe señalar que este proceso fue un servicio solicitado en el Laboratorio de Biología Molecular ubicado en la Universidad Centroamericana (UCA). Luego que se entregaron los resultados se realizó un análisis de las secuencias, con la ayuda del programa BioEdit Sequence Alignment Editor versión 7.0 se revisó visualmente el electroferograma de cada secuencia cruda y se editó cualquier error en las bases nitrogenadas (A, T, G y C) a lo largo de toda la secuencia. Posteriormente cada secuencia nucleotídica obtenida, se depositó y se comparó con cinco secuencias de la base de datos GenBank del NCBI y utilizando el programa Clustal W se hizo un alineamiento múltiple de todas las secuencias y luego se elaboró el árbol filogenético con el programa MEGA versión 7.0.

4.7. Determinar el impacto social de la calidad del agua en los pobladores

Para determinar el impacto social de la calidad del agua en la comunidad El Cacao se elaboró y se aplicó una encuesta casa por casa (Anexo F), para ello se entrevistaron a 24 jefes de familia que toman agua del acuífero (Figura 4), con el objetivo de conocer los datos específicos de las viviendas, los datos demográficos y el comportamiento del consumo del agua, haciendo énfasis en este último, para conocer la manera de cómo almacenan el agua luego de ser recolectada, si hacen uso de algún proceso de desinfección del agua antes de consumirla y la cantidad promedio del agua utilizada en las labores cotidianas. Una vez que se aplicó la encuesta los datos fueron procesados en el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 23.0 para determinar la posible relación entre las condiciones higiénico sanitarias de los pobladores y la calidad del agua.



Figura 4. Entrevista aplicada a los pobladores que toman agua del acuífero de la comunidad El Cacao.

4.8. Análisis técnico del sistema de captación y conducción del agua

Para el análisis técnico se hizo una inspección en la infraestructura de la pila de captación y del tanque de almacenamiento del agua, además se observó la tubería utilizada desde la pila de captación hasta la llave de chorro. También se realizaron los cálculos correspondientes al caudal y a la velocidad a la salida de la pila de captación y en la llave de chorro. Para determinar el caudal se midió el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de volumen conocido. Para el cálculo del caudal se hizo uso de la ecuación (1) que se muestra a continuación:

- **Ecuación de Caudal**

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{m^3}{s} \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal, m³/s o L/h.

v: Volumen, m³ o L.

t: Tiempo, h o s.

Para el cálculo de la velocidad se hizo uso de la ecuación (2) que se muestra a continuación:

- **Ecuación de Velocidad**

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m}{s} \quad (2)$$

Donde:

V: Velocidad, m/s.

Q: Caudal, m³/s.

A: Área de la tubería, m².

- **Ecuación de Área**

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Donde:

d: Diámetro de la tubería, m.

π : 3.1416.

4: Valor constante.

4.9. Elaboración de diagnóstico técnico sobre la calidad del agua y el estado del sistema de captación y conducción

Para la elaboración del diagnóstico técnico acerca del estado del agua del acuífero de la comunidad El Cacao, se realizó un estudio analítico detallado de diferentes parámetros del agua de consumo (físicoquímicos, metales pesados, plaguicidas y microbiológicos) con el objetivo de determinar si el agua cumplía con los valores recomendados según las Normas CAPRE que rigen a Nicaragua y con base en los resultados proponer un sistema de tratamiento de potabilización. Para conocer el estado del sistema de captación y conducción del agua se inspeccionaron cada uno de los componentes del sistema instalado para determinar si es necesaria alguna modificación futura.

4.10. Elaboración de la propuesta de mejora

Se realizó una propuesta integral considerando los resultados de todos los análisis (físicoquímicos, metales pesados, plaguicidas y microbiológicos) realizados en el acuífero de la comunidad El Cacao, también se consideraron los resultados de la encuesta aplicada a las 24 familias de esta comunidad; la propuesta planteada incluyó un sistema de tratamiento con el fin de asegurar un agua apta para el consumo humano sin tener ninguna repercusión en la salud de los pobladores, que permita mejorar la calidad del agua de consumo, la cual a su vez contribuirá a mejorar la calidad de vida de los pobladores de la comunidad El Cacao.

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de este trabajo se pudo observar que en la pila de captación se forma una biopelícula (Figura 5), según Rodríguez *et al* (2006), una biopelícula es un ecosistema compuesto por uno o varios microorganismos que se adhieren a una superficie gracias a la excreción de una matriz de polímeros extracelulares. Cuando una biopelícula se deja crecer durante un período prolongado de tiempo puede ser lo suficientemente gruesa como para apreciarse a simple vista, ya que algunos microorganismos producen pigmentos que pueden ayudar a la detección visual de la biopelícula por el color que se percibe. La presencia de la biopelícula en la pila de captación se encuentra dispersa en el agua en forma de una masa amarillenta provocando que el agua permanezca turbia, por tanto, los valores de turbidez particularmente en ese punto salen alterados.



Figura 5. Se muestran diferentes ángulos donde se puede observar la biopelícula que se forma en la pila de captación (Punto 1).

5.1. Clasificación del agua del acuífero de la comunidad El Cacao de acuerdo a la Norma para la clasificación de recursos hídricos (NTON 05-007-98)

Al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, de metales pesados y plaguicidas analizados en el agua cruda del acuífero de la comunidad El Cacao con los valores recomendados por la NTON 05-007-98 para aguas destinadas para uso doméstico, se determinó que esta agua pertenece a la Categoría 1-B, es decir, aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración. En el Anexo I se establecen los niveles mínimos de calidad exigibles de acuerdo a esta categoría.

5.2. Análisis fisicoquímicos

En la Tabla 4 (Anexo C) se describen los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en el agua del acuífero de la comunidad El Cacao, estos se compararon con los valores recomendados por las Normas CAPRE.

Tabla 4: Resumen de los análisis fisicoquímicos realizados en cada uno de los puntos muestreados comparados con los valores recomendados según las Normas CAPRE

PARAMETROS FISICOQUIMICOS												
Parámetro	Unidad	Pila de captación (Punto 1)			Tanque de almacenamiento (Punto 2)			Llave de chorro (Punto 3)			Valor recomendado por la Norma CAPRE	Valor máximo admisible según la Norma CAPRE
		1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo	1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo		
Potencial de hidrógeno	pH	7.13	7.18	6.96	7.62	7.36	7.21	7.65	7.24	7.37	6.5-8.5	
Temperatura	°C	25.30	26.10	26.80	25.00	25.30	28.50	25.50	26.20	26.60	18-30	
Conductividad	µS/cm	593.00	581.00	562.00	570.00	573.00	563.00	570.00	573.00	574.00	400	
Turbidez	NTU	7.05	7.37	7.37	0.13	0.03	3.55	0.02	0.02	0.03	1	5
Color verdadero	UC	<1.00	<1.00	5.49	<1.00	<1.00	5.49	<1.00	<1.00	5.49	1	15
Nitratos	mg/L	1.20	2.88	0.81	0.35	2.53	0.81	3.23	2.39	1.61	25	50
Nitritos	mg/L	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009		0.1
Cloruros	mg/L	12.10	12.40	10.20	13.30	12.90	11.00	12.60	12.50	11.50	25	250
Hierro total	mg/L	0.33	0.27	0.29	0.02	0.07	0.04	0.02	0.13	0.03		0.30
Sulfatos	mg/L	53.53	64.37	67.00	54.98	66.35	56.50	71.64	70.97	64.56	25	250
Dureza total	mg/L	248.00	246.48	245.04	212.16	208.40	243.36	246.00	242.80	212.32	400	
Calcio	mg/L	65.60	62.91	65.64	54.70	49.96	64.26	65.15	63.71	54.16	100	
Magnesio	mg/L	20.49	21.75	19.75	18.39	20.35	20.18	20.28	20.37	18.75	30	50
Manganeso	mg/L	0.022	0.023	0.021	0.020	0.020	0.022	0.020	0.020	0.020	0.01	0.05
Sodio	mg/L	16.50	19.60	20.00	18.00	25.80	17.00	26.80	25.80	29.00	25	200
Potasio	mg/L	1.29	1.30	2.61	1.35	1.24	2.60	1.28	1.24	2.74		10
Flúor	mg/L	0.52	0.57	0.53	0.55	0.58	0.49	0.53	0.58	0.49		0.7-1.5
Amonio	mg/L	0.07	0.44	0.22	0.28	0.39	0.41	0.56	0.39	0.49	0.05	0.5
Sólidos disueltos totales	mg/L	328.00	330.00	343.00	328.00	320.00	345.00	378.00	363.00	321.00		1000

Según los resultados descritos en la Tabla 4 y Anexo C las concentraciones de ocho parámetros fisicoquímicos estuvieron por encima de los valores recomendados por las Normas CAPRE que rigen a Nicaragua. Estos ocho parámetros corresponden a los siguientes:

- **Conductividad**

Los resultados indicaron que la conductividad estuvo entre un rango que va de 562 a 593 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 4 y Anexo C) superando el valor recomendado por las Normas CAPRE que es de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según APHA, AWWA y WPCF (2005) la conductividad eléctrica nos indica la capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos en el agua tales como el calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato y cloruro. Cabe destacar que las concentraciones de sodio y sulfato salen alteradas, es por ello que la conductividad es alta.

- **Turbidez**

Con respecto a la turbidez del agua se determinó que durante los tres muestreos realizados en la pila de captación (Punto 1), se reportaron valores que van de 7.05 a 7.35 NTU (Tabla 4 y Anexo C); estos valores están por encima del valor recomendado que es de 1 NTU según las Normas CAPRE, también en el tercer muestreo en el tanque de almacenamiento se reportó un valor por encima del recomendado por esta misma norma (3.55 NTU), no obstante, en ese mismo punto en el primer y segundo muestreo se reportaron valores por debajo del valor recomendado por la norma CAPRE. En la llave de chorro los valores reportan un rango entre 0.02 a 0.03 NTU. De acuerdo a las Normas CAPRE el valor recomendado es de 1 NTU, por tanto la turbidez en la llave de chorro es aceptable. Posiblemente los resultados alterados en la pila de captación se deben a la formación de la biopelícula en ese punto. Por otro lado, la turbiedad, incluso ligera, interfiere en la determinación del color verdadero (APHA *et al.*, 2005).

- **Color verdadero**

El color verdadero reportó el mismo valor de 5.49 UC durante cada tercer muestreo realizado en pila de captación, tanque de almacenamiento y llave de chorro, superando el valor recomendado por las Normas CAPRE que es de 1 UC. El color resulta por la disposición de material orgánico disuelto en el agua, además el color también está relacionado con la presencia de hierro y manganeso en el agua, por eso estos dos parámetros también se encontraron alterados en esta investigación (Pacheco, Cabrera y Pérez, 2004).

- **Hierro y manganeso**

A como se indicó anteriormente los resultados demostraron la presencia de hierro y manganeso. Con respecto al manganeso los resultados indicaron rangos que van de 0.020 mg/L a 0.023 mg/L (Tabla 4 y Anexo C) que según el valor recomendado por las Normas CAPRE debe ser de 0.01 mg/L.

En relación a la presencia de hierro los resultados mostraron una concentración de 0.33 mg/L (Tabla 4 y Anexo C) únicamente en el primer muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1), según el valor máximo admisible de la norma CAPRE debe ser de 0.30 mg/L. La presencia de manganeso suele estar asociada a las concentraciones de hierro.

El hierro y el manganeso son elementos comunes en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo, las piedras pueden disolver estos minerales y acarrearlos hacia el agua subterránea. El hierro y el manganeso no causan problemas de salud, pero a concentraciones superiores pueden provocar obstrucciones en las tuberías y alteraciones en la turbidez del agua, como en este caso (McFarland y Dozier, 2001).

▪ **Sulfatos**

Con respecto a la presencia de sulfatos los resultados obtenidos se encontraron por encima del valor recomendado entre un rango de 53.53 mg/L a 71.64 mg/L en todos los puntos muestreados (Tabla 4 y Anexo C), según las Normas CAPRE debe ser de 25 mg/L. Los sulfatos suelen ser sales solubles en agua por lo que se distribuyen ampliamente en la naturaleza, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales. Al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas (OMS, 2003).

De acuerdo a la OMS (2003) los datos existentes no permiten determinar la concentración de sulfato en el agua de consumo que probablemente ocasiona efectos adversos para la salud de las personas. Los datos de un estudio con una dieta líquida y estudios con agua de grifo muestran un efecto laxante con concentraciones de 1000 a 1200 mg/L. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato, no obstante, debido a los efectos gastrointestinales de la ingestión de agua de consumo con concentraciones altas de sulfato, se recomienda notificar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo en las que las concentraciones de sulfato rebasen los 500 mg/L. La presencia de sulfato en el agua de consumo también puede producir un sabor apreciable y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución.

▪ **Amonio**

Con respecto al amonio los resultados obtenidos se encontraron por encima del valor recomendado por las Normas CAPRE que debe ser de 0.05 mg/L, este parámetro estuvo entre 0.07 mg/L y 0.56 mg/L (Tabla 4 y Anexo C). Según la OMS (2003) la presencia de amonio en el agua de consumo no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud, de modo que no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

No obstante, el amonio puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos.

- **Sodio**

La concentración de sodio estuvo alterada en el segundo muestreo realizado en el tanque de almacenamiento y en los tres muestreos en la llave de chorro. El valor recomendado por la Norma CAPRE para este elemento es de 25 mg/L y los análisis indicaron que estuvo entre 25.80 mg/L a 29.00 mg/L (Tabla 4 y Anexo C). Los compuestos de sodio finalizan de forma natural en el agua, ya que el sodio procede de rocas y de suelos, también puede estar asociado por la inadecuada disposición de heces fecales de humanos y animales.

5.3. Análisis de metales pesados y plaguicidas

En la Tabla 5 (Anexo D) se describe un resumen de los parámetros de metales pesados y plaguicidas analizados en la pila de captación (Punto 1) de la comunidad El Cacao, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con los valores máximos admisibles de las Normas CAPRE.

Tabla 5: Resumen de los análisis de metales pesados y plaguicidas efectuados en la pila de captación aplicado al agua de consumo de la comunidad El Cacao y comparados con los valores máximos admisibles según las Normas CAPRE

METALES PESADOS Y PLAGUICIDAS				
Punto de muestreo: Pila de captación (punto 1)				
Parámetro	Unidad	1er muestreo	2do muestreo	Valor máximo admisible según la Norma CAPRE
Arsénico	mg/L	0.03	0.028	0.01
Mercurio	mg/L	<0.001	<0.001	0.001
Plaguicidas organoclorados	mg/L	<2 x10 ⁻⁶	<2 x10 ⁻⁶	0.002
Plaguicidas organofosforados	mg/L	<3 x10 ⁻⁶	<3 x10 ⁻⁶	0.002

Según la OMS (2012) la presencia del arsénico en el ambiente y específicamente en las fuentes de agua captadas se debe a factores naturales de origen geológico, así como a la agricultura por el empleo de plaguicidas. Los compuestos de arsénico inorgánico como los que se encuentran en el agua son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico como los que se encuentran en pescados y mariscos son menos perjudiciales para la salud.

Los resultados de los análisis de metales pesados y plaguicidas que se muestran en la Tabla 5 y Anexo D, determinaron que el arsénico fue el único que estuvo por encima del valor máximo admisible o recomendado de acuerdo a las Normas CAPRE. La concentración de arsénico en la pila de captación (Punto 1) osciló en un rango que va de 0.028 a 0.03 mg/L. Se pudo comprobar que los resultados superaron el valor máximo admisible que según las Normas CAPRE debe ser de 0.01 mg/L. Posiblemente la presencia de arsénico en las aguas del acuífero de la comunidad El Cacao es de origen geológico o por el uso de plaguicidas en las labores agrícolas que se observaron en los alrededores.

Galindo y Fernández (2005) afirman que los síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico a través del consumo de agua, se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas, durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies. Cabe mencionar que los habitantes de la comunidad El Cacao afirman que padecen de enfermedades cutáneas, es probable que se deba al consumo de agua con alto contenido de arsénico. Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel. La intervención más importante consiste en prevenir que se prolongue la exposición al arsénico, estableciendo un sistema seguro de abastecimiento de agua potable en el cual se pueda eliminar este elemento.

Con respecto a los análisis de mercurio, plaguicidas organoclorados y organofosforados (Tabla 5 y Anexo D), los resultados indicaron que están por debajo de los valores recomendados por las Normas CAPRE.

5.4. Resultados de los análisis microbiológicos

Según Murray, Rosenthal, Kobayashi y Pfaller (2002) conocer la calidad microbiológica del agua resulta de gran relevancia, dado el riesgo para la salud asociado con la ingesta de agua contaminada por agentes patógenos como bacterias, hongos, virus y parásitos (protozoos y helmintos).

Los resultados de los análisis microbiológicos que se muestran a continuación, se realizaron con el fin de evaluar la calidad microbiológica del agua de consumo de la comunidad El Cacao, estos resultados se compararon con los criterios vigentes establecidos para conocer si el agua que consumen los pobladores de esta comunidad cumple o no con los valores recomendados por las Normas CAPRE, para ello se aplicó primeramente el método del Número más Probable para determinar si en el agua existe la presencia de grupos indicadores de contaminación (Coliformes totales, fecales y *E. coli*) y posteriormente se hizo un el aislamiento e identificación microbiana con base en su morfología y los análisis de la secuencia genómica. Los resultados del Número más Probable se describen en la Tabla 6.

Tabla 6: Resumen de los análisis microbiológicos obtenidos por el método del Número más Probable, aplicado al agua de consumo de la comunidad El Cacao y comparados con los criterios establecidos en las Normas CAPRE

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS												
Parámetro	Unidad	Pila de captación (Punto 1)			Tanque de almacenamiento (Punto 2)			Llave de chorro (Punto 3)			Valor recomendado por la Norma CAPRE	
		1º	2º	3º	1º	2º	3º	1º	2º	3º		
Coliforme total	NPM/100mL	70	79	32	33	130	540	49	1600	5400	Negativo	
Coliforme fecal	NPM/100mL	13	2.0	Neg	14	49	33	17	33	68	Negativo	
<i>E. Coli</i>	NPM/100mL	Neg	2.0	Neg	9.3	33	6.8	13	23	4.0	Negativo	

El grupo Coliforme es un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable, debido principalmente a que son fáciles de detectar y enumerar en el agua. El grupo de los Coliformes totales incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua; por consiguiente, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de abastecimiento y la posible presencia de biopelículas (Rompré, Servais, Baudart, Roubin y Laurent, 2001).

Los Coliformes fecales comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E.coli*, esta bacteria se encuentra normalmente en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y animales de sangre caliente. Debido a su elevada presencia en el tracto gastrointestinal y en las heces, la *E. coli* se utiliza como el indicador principal de contaminación fecal en la evaluación de la inocuidad del agua (LeChevallier y Geldreich,1999).

De acuerdo a los resultados del método del Número más Probable descritos en la Tabla 6 y el Anexo E, se pudo evidenciar la presencia de Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en las muestras de agua de la comunidad El Cacao en todos los puntos analizados. Según las Normas CAPRE toda fuente de abastecimiento de agua para consumo humano debe estar libre de la presencia de estas bacterias.

El análisis de la Tabla 6 para la pila de captación nos podría estar indicando una contaminación de naturaleza fecal reciente aunque de baja cantidad (presencia de Coliformes fecales y *E.coli*) y la presencia permanente de otras bacterias indicadoras de contaminación no muy reciente y que forman parte de los Coliformes totales (algunos de los cuales podrían estar representados por los microorganismos que fueron identificados por medio de secuenciación). El mismo análisis realizado en el tanque de almacenamiento y la llave de chorro muestran un incremento en los índices de contaminación, ya que durante el segundo muestreo realizado en el tanque de almacenamiento los resultados fueron de 130 NPM/100 mL de Coliformes totales y en el segundo muestreo en la llave de chorro aumentó a 1 600 NPM/100 mL de Coliformes totales, así mismo se mostró un aumento en el tercer muestreo de 540 NPM/100 mL a 5 400 NPM/100 mL de Coliformes totales en estos dos puntos respectivamente, esta situación podría estar indicando que el agua se está contaminando aún más durante su recorrido por la tubería hasta el tanque de almacenamiento y de este a la llave de chorro, esto se debe posiblemente a que las tuberías presenten fugas y el agua se recontamine por el contacto que tiene con el suelo.

Las bacterias Coliformes fecales y *E.coli* son indicadoras por excelencia de contaminación fecal del agua por heces de origen humano. Al analizar la causa de estos resultados, existe la posibilidad que esté relacionada a la defecación al aire libre debido a un porcentaje de familias que carecen de letrina (Figura 16), ya que estas bacterias al abandonar el cuerpo por medio de las heces e ir al suelo al tener contacto con el agua de lluvia se disuelven y se filtran hasta llegar al agua del acuífero.

Las bacterias Coliformes totales, Coliformes fecales y *E.coli* son miembros de la familia de las enterobacterias, un grupo de agentes patógenos que causan comúnmente enfermedades gastrointestinales tales como: vómitos, dolor abdominal y diarrea moderada a intensa, además pueden provocar infecciones del tracto urinario, meningitis neonatal, dolores de cabeza, fiebre y daños hepáticos (Rompré *et al.*, 2001). Los pobladores de la comunidad El Cacao afirman que en los últimos años han estado padeciendo de enfermedades entéricas, probablemente debidas al consumo del agua del acuífero con presencia de Coliformes totales, fecales y *E.coli*. Para eliminar estas bacterias del agua es necesario un proceso de desinfección.

Luego que se efectuó el método del Número más Probable (NMP) y se evidenció en el agua la presencia de grupos indicadores de contaminación (Coliformes totales, fecales y *E. coli*), se procedió a realizar el método de aislamiento e identificación microbiana con el objetivo de conocer la morfología de los microorganismos para su identificación preliminar. A continuación se describen los resultados y la discusión del método de aislamiento e identificación microbiana con base en su morfología:

- **Identificación de microorganismos presentes en las muestras de agua**

Luego de haber inoculado la biopelícula que se forma en la pila de captación (Figura 5) en medios de cultivos LB y PDA para el crecimiento de bacterias y hongos respectivamente, se incubaron durante 48 horas a 35°C y después se evidenció el crecimiento de cada microorganismo. Los resultados se pueden apreciar en la Figura 6.

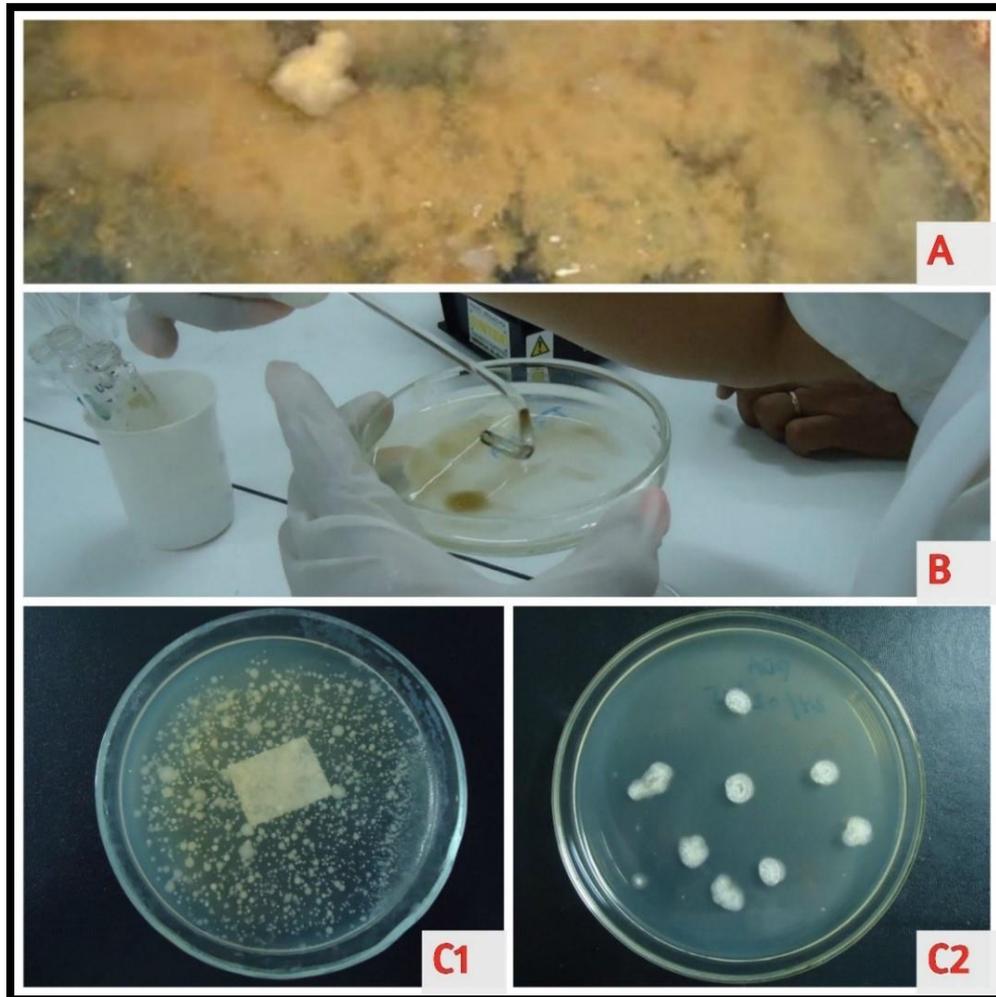


Figura 6. Se muestra el proceso del aislamiento de bacterias y hongos presentes en la muestra de agua que fue tomada en la pila de captación. (A) Biopelícula que se forma en la pila de captación de donde se tomó la muestra para su posterior análisis. (B) Inoculación de la biopelícula en placas Petri. (C1) Toma del crecimiento de bacterias en medio de cultivo LB. (C2) Toma del crecimiento de hongos en medio de cultivo PDA.

- **Aislamiento y purificación de bacterias**

La aplicación del método de aislamiento y purificación de bacterias permitió obtener cultivos puros, para ello se utilizó la técnica del estriado de placas como se dijo en la metodología, ya que esta técnica diluyó la carga microbiana que se depositó sobre el medio de cultivo LB, de forma que en los últimos trazos de la inoculación quedaron pocas células suficientemente separadas unas de otras y se desarrollaron colonias independientes. Lo anterior nos permitió distinguir las diferentes poblaciones bacterianas que se encontraban en la muestra inicial y posteriormente se separaron transfiriendo una colonia de cada tipo a un nuevo plato Petri conteniendo medio de cultivo LB estéril. La aplicación de esta técnica permitió la obtención de nueve aislados puros de bacterias.

Los nueve aislados puros de bacterias obtenidos se sometieron a tinción Gram y fueron observados en un microscopio óptico binocular con cámara (marca: OMAX, modelo MD82ES10, procedencia Suiza), utilizando aceite de inmersión. La tinción Gram es una coloración diferencial, dado que las bacterias pueden clasificarse según la reacción a esta tinción en Gram positivas o Gram negativas. La diferente reacción de las bacterias a la coloración de Gram se relaciona con diferencias fundamentales de la envoltura celular de estas dos clases de células, las bacterias Gram positivas se tiñen de morado ya que el color del cristal violeta se queda atrapado en la capa gruesa de peptidoglicanos que rodea a la célula, mientras que las bacterias Gram negativas tienen una capa de peptidoglicanos mucho más delgada, es por ello que no retienen el cristal violeta y por esto las células se tiñen con safranina y se observan rosadas (Murray *et al.*, 2002).

De acuerdo a la reacción a la tinción Gram las bacterias de esta investigación fueron clasificadas como Gram negativas, particularmente tenían forma de cocos y bacilos (Figura 7). Esta clasificación coincide con los resultados de las pruebas moleculares, ya que según la información encontrada en la literatura (Allen *et al.*, 2003; Casellas, 2007; Llop *et al.*, 2001; Moon *et al.*, 2014; Murray *et al.*, 2002) todas las bacterias identificadas por medio de estas también son Gram negativas.

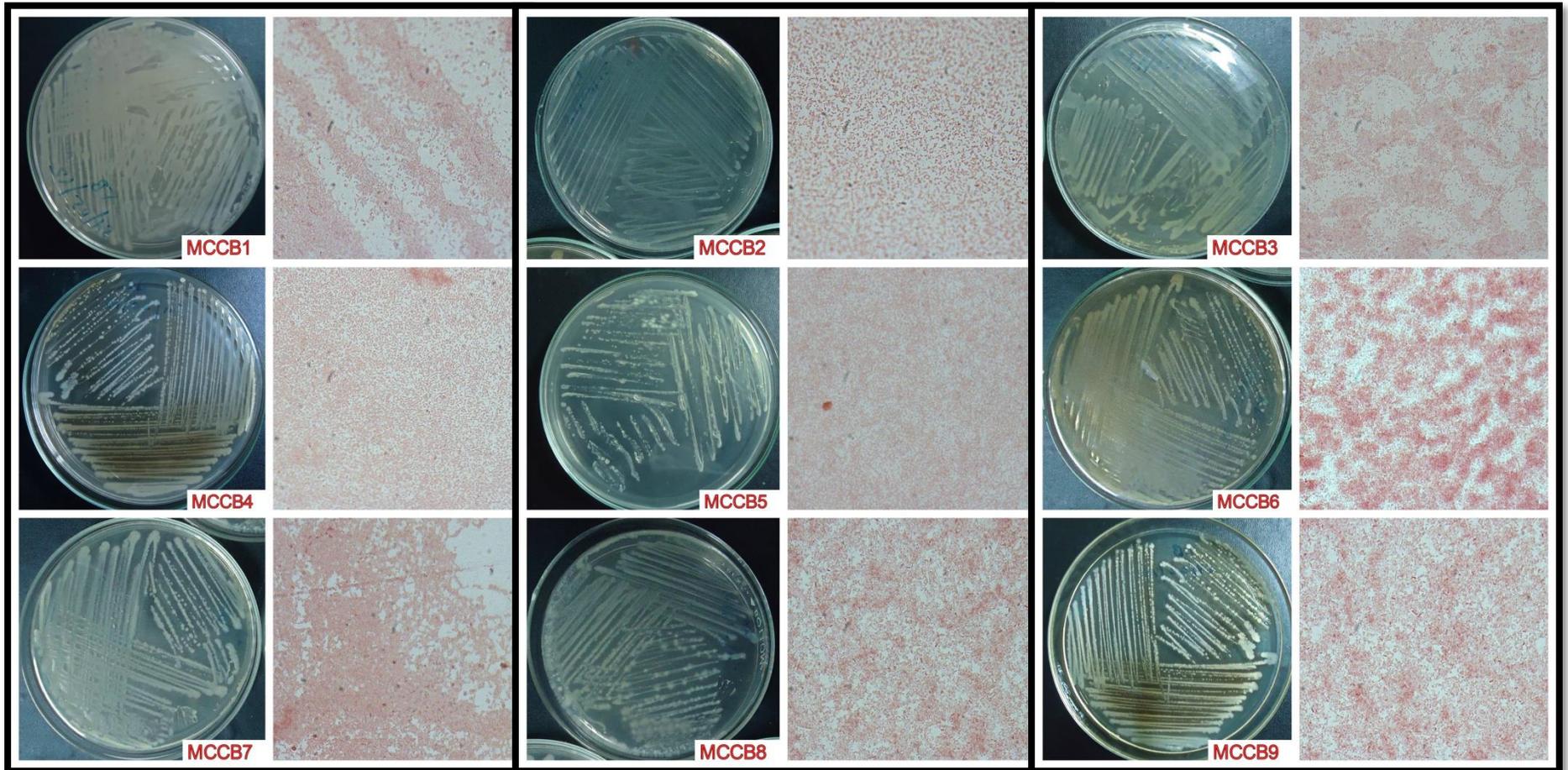


Figura 7. Placas de los aislados puros de bacterias clasificadas como Gram negativas de acuerdo a la reacción a la tinción Gram, en las cuales se puede observar que después de la tinción se tiñeron de color rosado.

- **Aislamiento y purificación de hongos**

Para el aislamiento y purificación de hongos se realizó un repique de esporas como se mencionó anteriormente en la parte metodológica y como resultado se obtuvieron cuatro aislados puros de hongos. En la Figura 8 y en la Tabla 7 se detallan las características morfológicas encontradas en los aislados de hongos.

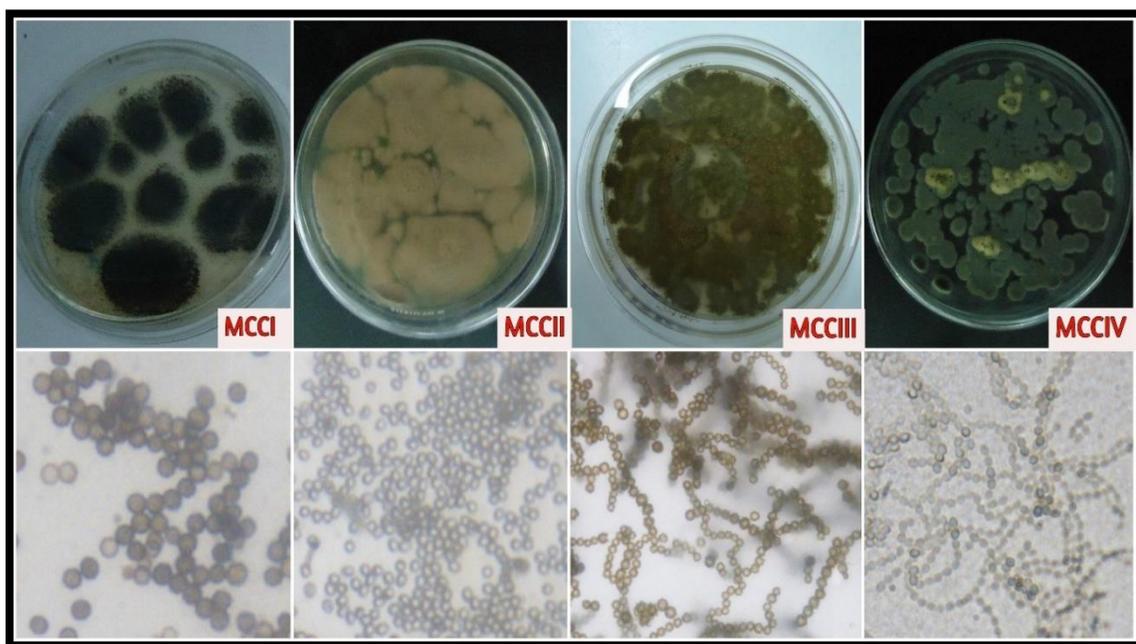


Figura 8. Forma y color de las esporas de los aislados puros de hongos.

Tabla 7: Características morfológicas de los hongos identificados en las muestras de agua de la comunidad El Cacao

Aislado	CARACTERÍSTICAS			
	Forma de las esporas	Color de las esporas	Color al frente de la placa PDA	Color al reverso de la placa PDA
MCCI	Esférica	Café oscuro	Negro	Beige
MCCII	Esférica	Blanco	Café	Amarillo claro
MCCIII	Esférica	Café	Verde	Gris
MCCIV	Esférica	Blanco	Amarillo con centro verde	Amarillo intenso

En todos los casos se observaron esporas esféricas y los colores que predominaron fueron el blanco y el café; los resultados de la observación de las esporas al microscopio de luz con un objetivo de 100x (marca: OLYMPUS CH-2, modelo CHT, procedencia Japón) permitieron distinguir una primera aproximación al género del que se trataba. Cabe mencionar que previo a la identificación por medio de secuenciación se llegó a conocer que la cepa MCCI es un *Aspergillus niger*, de acuerdo a sus características morfológicas tales como el color negro particular de sus colonias; el reverso beige; colonia densa, granular a flocosa (Abarca, 2000). Los tres aislados restantes fueron identificados a nivel de género como *Aspergillus sp* basado en sus características morfológicas, posteriormente estos se sometieron a secuenciación para conocer la especie de cada aislado y comparar con la identificación realizada a nivel de género basado en la morfología de los hongos.

▪ **Método de identificación molecular y análisis de las secuencias**

A lo largo de los años se han utilizado una serie de metodologías para poder diferenciar un microorganismo de otro, estas metodologías se han basado tradicionalmente en la observación microscópica del microorganismo basado en su morfología, del crecimiento del microorganismo en un medio de cultivo específico o de la tinción producida al aplicar algunos colorantes sobre el microorganismo (tinción Gram). Estas metodologías son buenas en algunos casos pero deficientes en otros, por lo que en las últimas décadas se han desarrollado técnicas moleculares de detección e identificación de microorganismos (Ayala, Rodríguez, Aguilar, Lara y Quero, 2009).

La identificación de microorganismos basada en la secuenciación es un método rápido, útil y preciso para la identificación segura de microorganismos. En la actualidad este método tiene un auge muy importante debido a que es específico y puede detectar solo la molécula o microorganismo de interés, además es un método rápido pues puede identificar un microorganismo en un menor tiempo (Ayala *et al.*, 2009).

Identidad molecular de bacterias

Los nueve aislados puros de bacterias se sometieron al proceso de secuenciación, los resultados obtenidos fueron utilizados para hacer un análisis de cada secuencia, posteriormente estas se compararon con las secuencias sacadas de las bases de datos, se hizo un alineamiento múltiple de todas las secuencias y finalmente se elaboró el árbol filogenético mostrado en la Figura 9.

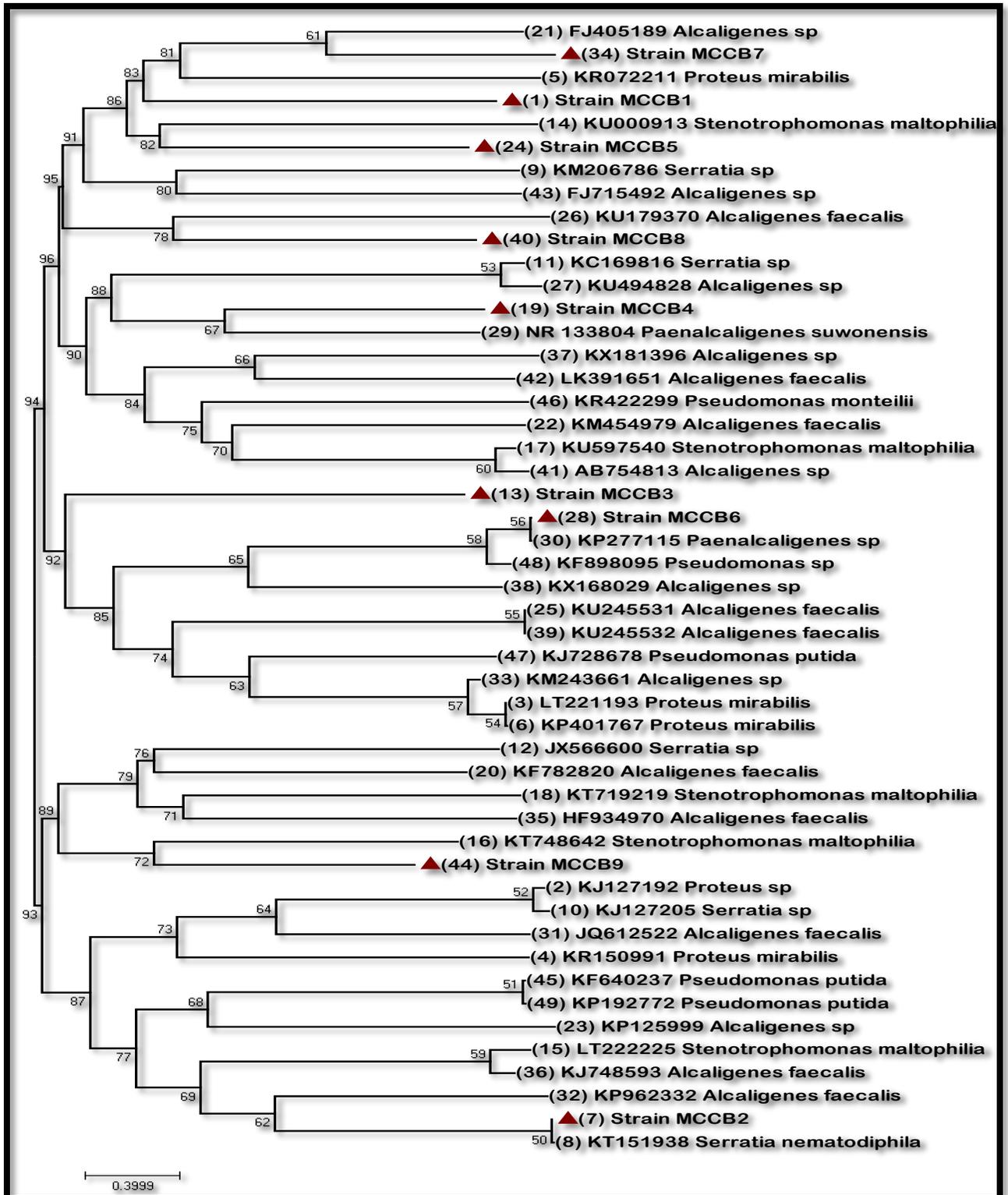


Figura 9. Árbol filogenético de los aislados de las bacterias identificadas por medio de secuenciación provenientes de las muestras de agua de la comunidad El Cacao.

El árbol filogenético de los aislados de bacterias (Figura 9), muestra los diferentes géneros y especies de bacterias aisladas e identificadas en las muestras de agua de la comunidad El Cacao. En el caso de los aislados MCCB5, MCCB6 y MCCB7 solamente se identificaron a nivel de género predominando: *Alcaligenes sp* y *Paenalcaligenes sp*; con respecto a los otros aislados se pueden diferenciar especies como: *Proteus mirabilis*, *Serratia nematodiphilia*, *Paenalcaligenes suwonensis*, *Alcaligenes faecalis* y *Stenotrophomona maltophilia*. La Tabla 8 hace una correlación entre los resultados obtenidos en la identificación morfológica y la identificación molecular de bacterias.

Tabla 8: Interrelación entre la clasificación morfológica por medio de tinción Gram y los resultados mediante el análisis de la filogenia de bacterias de la Figura 9

Secuenciación						
Nº de aislado	Código interno	Clasificación morfológica por tinción Gram	BLAST Máx Score	Máx identidad (%)	Género	Especie
1	MCCB1	Gram negativas	2636	98	<i>Proteus</i>	<i>mirabilis</i>
2	MCCB2	Gram negativas	1653	99	<i>Serratia</i>	<i>nematodiphilia</i>
3	MCCB3	Gram negativas	1465	97	<i>Stenotrophomona</i>	<i>maltophilia</i>
4	MCCB4	Gram negativas	1386	99	<i>Paenalcaligenes</i>	<i>suwonensis</i>
5	MCCB5	Gram negativas	1700	99	<i>Alcaligenes</i>	<i>sp</i>
6	MCCB6	Gram negativas	1301	99	<i>Paenalcaligenes</i>	<i>sp</i>
7	MCCB7	Gram negativas	841	98	<i>Alcaligenes</i>	<i>sp</i>
8	MCCB8	Gram negativas	1718	98	<i>Alcaligenes</i>	<i>faecalis</i>
9	MCCB9	Gram negativas	1703	98	<i>Stenotrophomona</i>	<i>maltophilia</i>

De acuerdo a los resultados que se indicaron en la Tabla 8 y en el árbol filogenético de bacterias (Figura 9) se logró determinar que en las muestras de agua de la comunidad El Cacao, existen dos aislados de bacterias identificadas a nivel de género tales como: *Alcaligenes sp* y *Paenalcaligenes sp*, y cinco especies de bacterias identificadas como: *Alcaligenes faecalis*, *Paenalcaligenes suwonensis*, *Proteus mirabilis*, *Serratia nematodiphilia* y *Stenotrophomona maltophilia*.

Según Allen *et al.* (2008) *Alcaligenes* es un género de bacterias Gram negativas y aeróbicas que se pueden encontrar en el agua o suelo. *Alcaligenes faecalis* es la especie más frecuente del género *Alcaligenes*, su nombre se debe a que su descubrimiento se realizó en heces pero más tarde se ha documentado su presencia en muchos otros entornos como en el suelo, el agua, la flora intestinal humana y los ambientes hospitalarios. La infección sistémica con este organismo es muy poco frecuente, se ha notificado que causa casos esporádicos de otitis crónica, infección de las vías urinarias y bacteriemia.

El género *Paenalcaligenes* está filogenéticamente relacionada con el género *Alcaligenes*. *Paenalcaligenes suwonensis* es una especie novedosa dentro del género *Paenalcaligenes*, *Suwonensis* se refiere a la región de Suwon de la República de Corea donde fue encontrada; esta bacteria es aeróbica y Gram negativa, es causante de infecciones en las vías urinarias e infecciones en el oído (Moon *et al.*, 2014).

Proteus mirabilis es un bacilo Gram negativo aerobio facultativo, se encuentra comúnmente en el tracto intestinal humano, es un importante agente causal de infecciones del tracto urinario, también puede causar infecciones de heridas y bacteriemia en pacientes debilitados. El tratamiento convencional suele ser mediante antibióticos, pero debido a la tremenda resistencia que tiene la bacteria muchas veces son necesarias varias cargas de los mismos para neutralizarla (Casellas, 2007).

Con respecto a *Serratia nematodiphilia* es una bacteria entérica, se denomina así porque con mucha frecuencia se encuentran en el tracto intestinal (entérico) de animales superiores, sin embargo se conoce también que se encuentra libre en el agua y en el suelo. *Serratia nematodiphilia* son bacilos Gram negativos pequeños y anaerobios facultativos, es un patógeno oportunista causante frecuente de infecciones nosocomiales, que son las infecciones ocurridas durante la hospitalización que no estaban presentes al momento del ingreso del paciente al hospital, otras enfermedades que causa esta bacteria son: neumonías, bacteriemia, infecciones de las vías urinarias e infecciones de heridas (Murray *et al.*, 2002).

De acuerdo a Llop, Valdés-Dapena y Zuazo (2001) *Stenotrophomona maltophilia* es un bacilo aerobio Gram negativo que se encuentra en ambientes acuáticos.

Este microorganismo se ha asociado a infecciones nosocomiales y bacteriemia, además puede ocasionar lesiones de piel y tejidos blandos, infecciones óseas y gastrointestinales. Durante la realización de las encuestas algunos pobladores afirmaron que comúnmente tenían enfermedades diarreicas y respiratorias, también se observó la presencia de manchas blancas en la piel en adultos y niños, estas enfermedades posiblemente son causadas por la presencia de estas bacterias en el agua de consumo.

Identidad molecular de hongos

Los cuatro aislados puros de hongos fueron secuenciados y para su análisis se siguió el mismo procedimiento que se utilizó para las bacterias. La Figura 10 muestra el árbol filogenético de hongos.

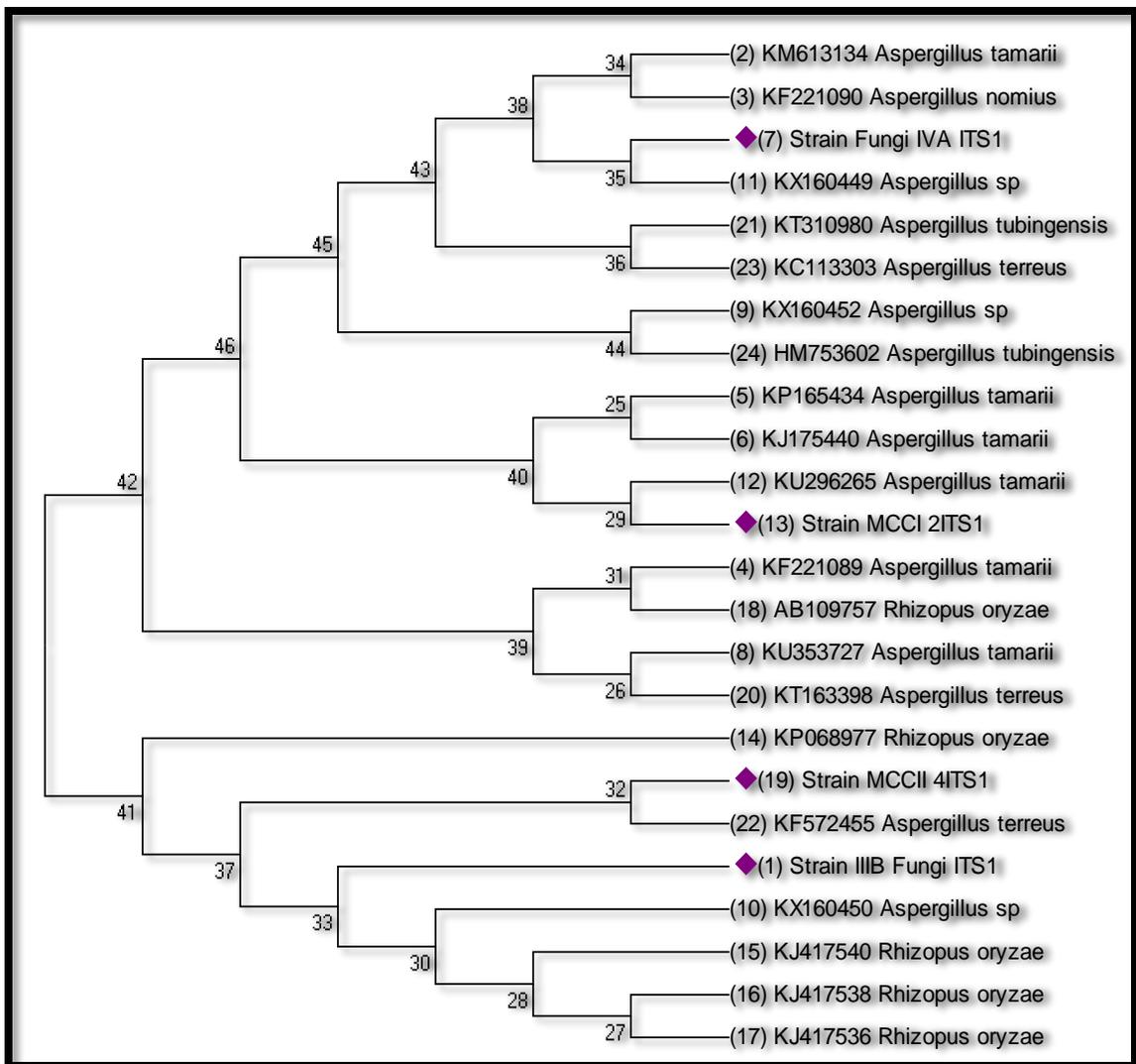


Figura 10. Árbol filogenético de los aislados de hongos identificados por medio de secuenciación en las muestras de agua de la comunidad El Cacao.

En la Tabla 9 se hace una comparación entre la identificación de hongos basado en la morfología (Tabla 7) y los resultados de la secuenciación.

Tabla 9: Comparación de la identificación de hongos mediante información morfológica con los resultados de las pruebas moleculares

Secuenciación						
Nº de aislado	Código interno	Identidad morfológica	BLAST Máx Score	Máx identidad (%)	Género	Especie
1	MCCI	<i>Aspergillus niger</i>	1123	99	<i>Aspergillus</i>	<i>tamarii</i>
2	MCCII	<i>Aspergillus sp</i>	1000	99	<i>Aspergillus</i>	<i>terreus</i>
3	MCCIII	<i>Aspergillus sp</i>	946	99	<i>Aspergillus</i>	<i>sp</i>
4	MCCVI	<i>Aspergillus sp</i>	990	99	<i>Aspergillus</i>	<i>sp</i>

Según la comparación de la Tabla 9 se obtuvo una coincidencia entre identificación morfológica de género y los resultados de las pruebas moleculares de hongos. Para el aislado MCCI según la identificación morfológica y la secuenciación se logró identificar a nivel de género como *Aspergillus*, pero no existe una coincidencia a nivel de especie, ya que se identificó por morfología como *niger* y por vía molecular como *tamarii* según el árbol filogenético de hongos (Figura 10). Según Hui, Smith y Spoerke (2001) las colonias del *Aspergillus tamarii* son de color verde amarillento a verde oliváceo y en el caso de *Aspergillus niger*, las colonias son de color negro como las que se observaron en el aislado MCCI (Figura 8), por tanto se pudo deducir claramente que este aislado se trataba de un *Aspergillus niger* y se sugiere repetir el proceso de secuenciación para este aislado.

El aislado MCCII se logró identificar en las pruebas moleculares hasta nivel de especie como *terreus*, con alto porcentaje de identidad de 99%, a diferencia de los aislados MCCIII y MCCIV que solamente fueron posibles identificarlos hasta nivel de género como *Aspergillus sp*, al igual que la identificación basada en la morfología.

Según Cuenca-Estrella (2012) el género *Aspergillus* es un hongo de distribución universal, está presente en el suelo, aire, agua, plantas y materia orgánica en descomposición; su desarrollo se ve favorecido por la humedad y las temperaturas elevadas, ya que es termotolerante y puede vivir entre los 12°C y los 57°C. Es un patógeno oportunista, es decir, que suele afectar a pacientes con mecanismos de defensa comprometidos

Aspergillus causa infecciones locales tales como la otomicosis y queratitis; e infecciones superficiales como la onicomosis, además puede producir infecciones invasivas como la aspergilosis, la cual es una reacción alérgica que generalmente se desarrolla en personas que ya tuvieron problemas pulmonares, como asma o fibrosis quística y el aspergiloma, que es un tumor (bola fúngica) que se desarrolla en una zona de enfermedad pulmonar o cicatrización pulmonar (Samson *et al.*, 2007).

Según Reyes, González y López (2013) *Aspergillus niger* es fácil de distinguir ya que las colonias de esta especie son de color negro-púrpura a negro. Se ha observado en una amplia gama de hábitats porque pueden colonizar una variedad de sustratos. Este hongo es un serio patógeno humano ya que puede causar graves infecciones en los pulmones, tejidos paranasales, piel y uñas.

De acuerdo a Baddley, Pappas, Smith y Moser (2003) *Aspergillus terreus* se distingue fácilmente de las otras especies de *Aspergillus* por su coloración de colonia canela-marrón. Son causas de infección en personas con sistemas inmunológicos deficientes, además causa infección respiratoria típica y otras infecciones como onicomosis y otomicosis.

La mayoría de los hongos identificados mediante las pruebas moleculares son causantes de enfermedades infecciosas que afectan principalmente a adultos mayores y niños. En los pobladores de la comunidad El Cacao se observó que tenían infecciones en las uñas, además los pobladores afirmaron que muchos de ellos presentaban problemas oculares como ceguera e inflamación de la córnea, quizás la causa de estas enfermedades se debe a que el agua contiene hongos del género *aspergillus*.

5.5. Resultados del impacto social asociados a la calidad del agua según las encuestas

El acceso a agua potable segura y saneamiento básico es un servicio básico clave, que tiene un impacto directo y significativo sobre el desarrollo humano. En Nicaragua, como en otras partes del mundo, el impacto de servicios de agua y saneamiento deficientes recae principalmente sobre los pobres y extremadamente pobres de áreas rurales y peri-urbanas. Al no tener acceso a agua, su pobreza se ve más agravada y su productividad afectada (Castellón, 2012).

Existe una relación estrecha entre agua, enfermedades y pobreza. Durante la realización de las encuestas se pudo observar que los pobladores de la comunidad El Cacao no solo viven en condiciones de vida precarias, sino que la mala calidad del agua y la falta de educación sanitaria repercuten notablemente en la salud de las personas.

La Figura 11 muestra el tipo de recipientes (pichingas y bidones) utilizados por los pobladores de la comunidad El Cacao para trasladar el agua desde la fuente a sus casas, pero es importante mencionar que se pudo observar que en la mayoría de los hogares estos recipientes estaban sucios. Las enfermedades diarreicas son causadas en gran medida por el consumo de agua insegura y malas prácticas de higiene, como el uso de recipientes sucios para transportar y almacenar el agua, además porque las personas no se lavan las manos con jabón antes de comer y después de ir al baño (Castellón, 2012).



Figura 11. Fotografías de los recipientes donde trasladan el agua desde la fuente a los hogares. (A) Pichingas utilizadas comúnmente por ser más fáciles de llevar. (B) Bidones usados por los pobladores para llevar un mayor volumen de agua a sus hogares.

En la Figura 12 se muestra como un porcentaje de 67% equivalente a 16 familias hacen uso de las pichingas, mientras que el 33% equivalente a 8 familias utilizan bidones. Con respecto al almacenamiento del agua, los pobladores emplean: barriles plásticos, pichingas y bidones, cabe destacar que solamente un porcentaje de 4% equivalente a una familia hace uso de los barriles plásticos, un porcentaje de 40% equivalente a 10 familias utilizan pichingas, el 56% restante (13 familias) almacenan el agua en bidones.

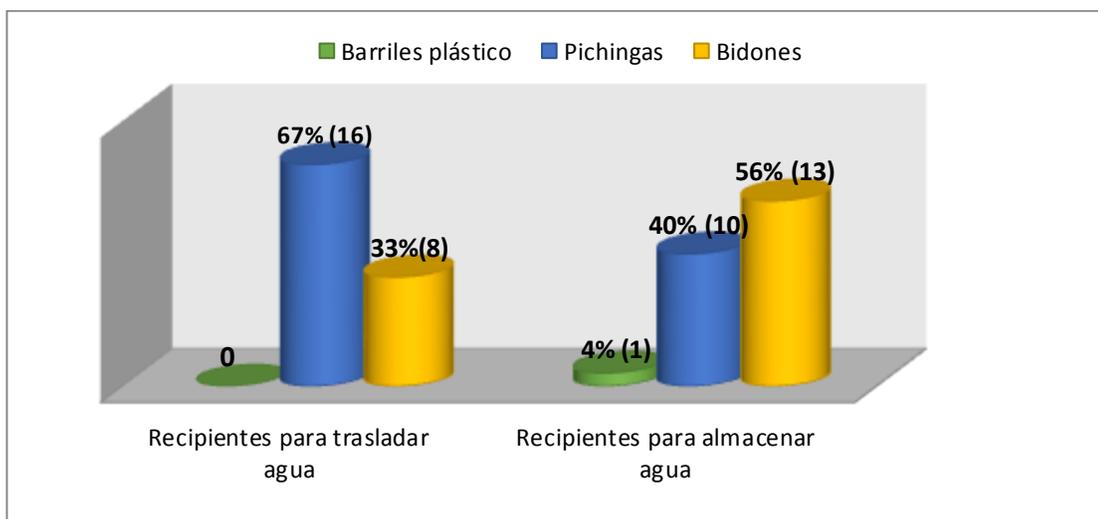


Figura 12. Representación gráfica del número de familias que usan diferentes tipos de recipientes para trasladar y almacenar el agua en sus hogares.

Una vez que los pobladores de la comunidad El Cacao trasladan el agua de la fuente hasta sus hogares, 21 familias preservan el agua utilizando las mismas tapas de los recipientes, una familia reporta que no tapa el agua, mientras que 2 familias refieren que utilizan otros medios para tapar el agua (plástico y trapo) y así evitar que esta se contamine, los detalles se describen en la Tabla 10.

Tabla 10: Métodos utilizados por las familias de la comunidad El Cacao para preservar el agua una vez que está en los hogares

Forma de preservar el agua	Nº de familias
Tapada con la tapa del propio recipiente	21
Sin tapar	1
Tapada con plástico	1
Trapo	1

En la tabla anterior se reporta que el 95,8% de las familias mantienen tapados sus recipientes para evitar que el agua entre en contacto con algún elemento extraño, pero siempre es necesario recomendar a los pobladores de esta comunidad que los recipientes nunca deben estar ni sucios ni desprotegidos, porque los riesgos de contaminación del agua por moscas, polvo o suciedad están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y la poliomielitis (OMS, 2007).

Con respecto a la separación del agua según su uso y aplicación de procesos de purificación, la Figura 13 muestra que existe un 87,5% equivalente a 21 familias que separan el agua de tomar de la que usan para las labores domésticas, el 12,5% (3 familias) no separan el agua, también se puede observar que solamente el 70,8% equivalente a 17 familias de los que separan el agua, le dan algún tratamiento de purificación. Lo anterior muestra que un 29,2% (7 familias) consumen el agua sin ningún tipo de tratamiento y están en riesgo directo de adquirir algún tipo de infección provocada por la presencia de hongos y bacterias en el agua.

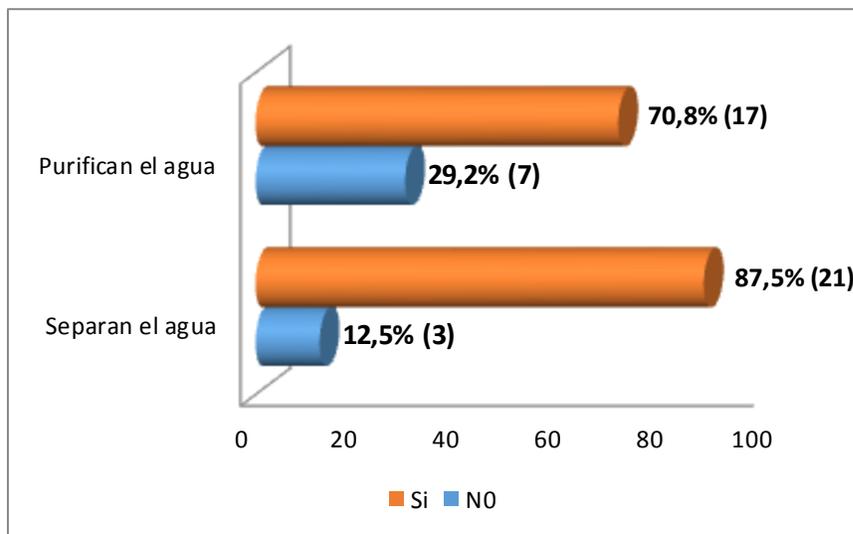


Figura 13. Representación gráfica de las familias que purifican y separan el agua en los hogares.

La figura anterior (Figura 13) mostró que en la comunidad El Cacao existen 7 familias que no utilizan ningún tratamiento de purificación del agua antes de consumirla y que de las 17 familias que hacen uso de un proceso de purificación, 11 de ellas utilizan filtro artesanal, pero se pudo constatar por observación que estos filtros están prácticamente obsoletos por falta de mantenimiento, 2 familias reportan el uso de cloro para purificar el agua, pero no se pudo establecer la cantidad de cloro por litro de agua, las 4 familias restantes afirman que hierven el agua antes de ingerirla. Los detalles se describen en la Tabla 11.

Tabla 11: Procesos utilizados en los hogares para purificar el agua de consumo

Proceso	Nº de familias	Porcentaje
Hierven el agua	4 familias	16,7%
Aplican cloro	2 familias	8,3%
Filtro artesanal	11 familias	45,8%
No hacen nada	7 familias	29,2%

Según la OMS (2007) la desinfección del agua en los hogares puede ser una opción de bajo costo. La desinfección solar es gratuita, a condición de disponer de botellas de plástico. Cuesta muy poco preparar una disolución de cloro y se pueden utilizar filtros de cerámica sencillos, moldeados por artesanos locales. El hervor es, con mucho, el método más utilizado para desinfectar el agua en el hogar. La implementación de algunas de estas técnicas en los hogares de la comunidad El Cacao ayudaría a mantener la salubridad del agua.

En relación a la cantidad promedio de agua al día que utilizan para ingerir las familias de la comunidad El Cacao, la Figura 14 muestra que la mayor concentración de ingesta de agua por familia se concentra entre 9 a 10 litros al día con un 41,7% equivalente a 10 familias, seguido de una ingesta de 5 a 6 litros en la misma proporción (41,7%) correspondiente a 10 familias. Un 8,3% (2 familias) consumen de 7 a 8 litros de agua diariamente y un porcentaje también de 8,3% (2 familias) consumen entre 1 a 4 litros de agua al día.

La OMS (2003) señala que la ingesta de agua por persona está comprendida entre 2 a 2,5 litros de agua. Según la Figura 14 las 24 familias que hacen uso del acuífero en estudio de la comunidad El Cacao presentan un consumo promedio de agua para tomar de 182 litros en total. Las 24 familias suman 123 personas, por tanto se estima que tienen una ingesta de 1,47 L/hab/día, es decir que los habitantes de la comunidad El Cacao tienen una ingesta de agua menor que la señalada por la OMS.

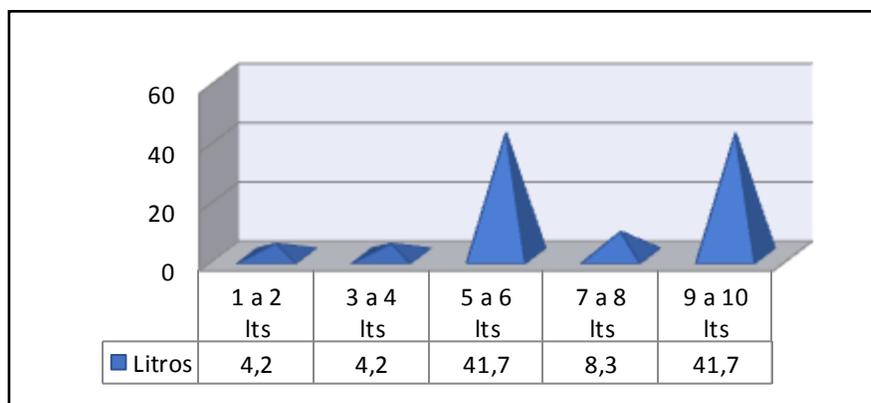


Figura 14. Representación gráfica de la cantidad promedio de agua diaria consumida por familia en la comunidad El Cacao.

Con respecto a la cantidad promedio de agua al día que utilizan las familias de la comunidad El Cacao para uso doméstico, en la Tabla 12 se describe que un 12,6% equivalente a 3 familias utilizan entre 41 a 70 litros de agua por día para uso doméstico, un 25% de familias (6 familias) utilizan entre 31 a 40 litros de agua, el 33,3% equivalente a 8 familias utilizan entre 21 a 30 litros de agua, un 16,7% (4 familias) utilizan de 11 a 20 litros de agua y un 12,4% (3 familias) utilizan solamente 10 litros a menos.

Tabla 12: Cantidad de agua promedio que es utilizada para uso doméstico (cocinar, aseo personal, limpieza de la casa) por las familias de la comunidad El Cacao

Cantidad de agua	Nº de familias	Porcentaje
0 a 10 L	3 familias	12,4%
11 a 20 L	4 familias	16,7%
21 a 30 L	8 familias	33,3%
31 a 40 L	6 familias	25,0%
41 a 50 L	1 familia	4,2%
51 a 60 L	1 familia	4,2%
61 a 70 L	1 familia	4,2%

Con respecto al consumo de agua para las labores domésticas se conoce que es de 770 litros, es decir un promedio de 6,26 L/hab/día. El PNUMA (2006) ha establecido en 50 L/hab/día la necesidad básica de agua y en Nicaragua de acuerdo a INAA (s.f) las dotaciones de consumo de agua de uso doméstico para zonas rurales con un rango de población de 0 a 5 000 habitantes deber ser de 75 L/hab/día, es decir que los pobladores de la comunidad utilizan una cantidad de agua por debajo de la medida indicada por INAA.

En relación a la frecuencia con la que salen los pobladores a buscar el agua para abastecer sus casas, en la Tabla 13 se muestra que el 79% equivalente a 19 familias salen a buscar el agua diariamente a la fuente y el 21% (5 familias) lo hacen día de por medio. Los pobladores de la comunidad El Cacao cuentan con un puesto comunitario y el transporte de agua es normalmente realizado por mujeres y niños.

Tabla 13: Frecuencia de búsqueda de agua desde la fuente a la casa

Frecuencia	Nº de familias	Porcentaje
Diario	19	79
Día de por medio	5	21
Semanal	0	0

Los recursos del sector agua deben asignarse no sólo a la infraestructura de saneamiento sino también a la promoción de un mejor comportamiento de higiene. Las prácticas de higiene pueden ser tan determinantes sobre los resultados en salud como la infraestructura de acceso de agua y saneamiento (Castellón, 2012).

La OMS (2016) señala que cuando el agua procede de fuentes de abastecimiento mejoradas y más accesibles, las personas gastan menos tiempo y esfuerzos en recogerla físicamente, lo que significa que pueden ser productivos en otras esferas. También puede redundar en una mayor seguridad personal, ya que reduce la necesidad de hacer viajes largos o peligrosos para recoger agua. La mejora de las fuentes de abastecimiento de agua también conlleva la reducción del gasto sanitario, ya que las personas tienen menos probabilidades de enfermar y de incurrir en gastos médicos y están en mejores condiciones de permanecer económicamente productivas. Dado que los niños corren especial riesgo de contraer enfermedades relacionadas con el agua, el acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua puede tener como resultado un ahorro del tiempo que pasan recogiendo agua y una mejora de su salud y, por tanto, un mayor índice de asistencia a la escuela, con las consecuencias a largo plazo para sus vidas que ello conlleva.

Según la OMS (2007) es necesario no solamente crear en la población el deseo de tener un agua segura, sino que también ellos ayuden a mantener el agua inocua en sus hogares; esto se logra mediante la concientización sobre la conservación y manipulación del agua a nivel domiciliario, así como de recomendaciones generales acerca de la recepción y almacenamiento del agua y acerca de la limpieza personal y en el hogar.

En el Anexo G se describen los datos generales de los jefes de familia y las características físicas de las viviendas, además se describen los servicios básicos con los que cuentan los pobladores de esta comunidad.

5.6. Análisis técnico del sistema de captación y conducción del agua de la comunidad El Cacao

El sistema de abastecimiento de agua de la comunidad El Cacao fue construido en el año 2005, cuenta con una pila de captación (Punto 1) la cual es alimentada por el agua proveniente de un acuífero subterráneo. El agua captada (acumulada en la pila) es conducida por gravedad por medio de una tubería de pvc de 2 pulgadas a un tanque de almacenamiento (Punto 2) situado aproximadamente a 200 metros aguas abajo, es importante mencionar que entre estos dos puntos no existen cámaras rompe presión, ya que no hay mucha pendiente y el caudal es bajo, finalmente el agua es enviada a través de una tubería pvc de ½ pulgada a una llave de chorro (Punto 3) situada a escasos metros del tanque de almacenamiento. La llave de chorro es el punto donde los pobladores de la comunidad llegan a buscar el agua para consumir y utilizar en sus labores domésticas, ya que no existen redes de distribución para que llegue el agua directamente a los hogares. En la Figura 15 se muestra un esquema del sistema de abastecimiento de la comunidad El Cacao.



Figura 15. Esquema representativo de los componentes del sistema de abastecimiento de agua de la comunidad El Cacao.

Al analizar el sistema de captación y conducción del agua del acuífero de la comunidad El Cacao, se pudo observar que la pila de captación es de concreto y se encuentra tapada para evitar que el agua que se acumula entre en contacto con elementos externos y residuos sólidos, también se pudo confirmar que particularmente en este punto se forma una biopelícula (Figura 5), debido a esto los pobladores afirman que lavan la pila semanalmente con el objetivo de evitar la acumulación de biopelícula.

El tanque de almacenamiento también es de concreto y tiene una capacidad de 5 000 litros y se pudo verificar que está en buen estado, cabe señalar que se apreció la presencia de pequeñas formaciones de biopelículas en las paredes de este. La llave de chorro estaba funcionando correctamente y en este punto no hay presencia de biopelículas, ya que los microorganismos salen de manera individuales (estado planctónico) por eso el aspecto del agua en este punto aparentemente es normal.

Como parte del análisis técnico se determinaron los caudales y velocidades a la salida de la pila de captación y en la llave de chorro. La velocidad a la salida de la pila de captación fue de 0.00846 m/s y en la llave de chorro fue de 1.27868 m/s. Los resultados de los valores de velocidades se compararon con los valores de las Normativas de Saneamiento Básico Rural. Según INAA (s.f) las velocidades permisibles en tuberías deben ser, velocidad mínima de 0.4 m/s y la velocidad máxima de 2.0 m/s; los resultados indicaron que la velocidad a la salida de la pila de captación está por debajo del valor mínimo establecido por INAA, a diferencia de la velocidad en la llave de chorro que se encuentra entre los valores establecidos por la normativa de INAA.

El caudal a la salida de la pila de captación fue de 0.0000166 m³/s. El volumen y el tiempo para el cálculo del caudal a la salida de la pila de captación fueron proporcionados por el coordinador de la comunidad, el cual afirmó que un recipiente con una capacidad de 20 litros se llenaba en 20 minutos. De igual manera se realizó el cálculo del caudal en la llave de chorro (0.000156 m³/s), para ello se midió el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de 600 mL. Para el cálculo de ambos caudales se hizo uso de la ecuación (1) y para el cálculo de velocidades se hizo uso de la ecuación (2) descritas en la metodología, el procedimiento de los cálculos se pueden verificar en el Anexo H.

5.7. Diagnóstico técnico sobre la calidad del agua y el estado del sistema de captación y conducción de la comunidad El Cacao

A partir de la caracterización fisicoquímica, microbiológica y pruebas moleculares (especiación) se lograron identificar la presencia de contaminantes microbianos en las muestras de agua de la comunidad El Cacao, lo que nos llevó a deducir que el agua del acuífero de esta comunidad no cumple con las normas establecidas para el agua de consumo humano, ya que se comprobó que los parámetros fisicoquímicos tales como: conductividad (562-593 $\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidez (7.05-7.37 NTU), color verdadero (5.49 UC), concentración de hierro total (0.33 mg/L), sulfatos (53.53-71.64 mg/L), manganeso (0.020-0.023 mg/L), sodio (25.80-29.00 mg/L), amonio (0.07-0.56 mg/L) y arsénico (0.028-0.03 mg/L) presentaron concentraciones por encima de los valores recomendado por las Normas CAPRE que rigen a Nicaragua.

Con respecto a la caracterización microbiológica se comprobó la existencia de Coliformes totales, fecales y *E. coli* en el agua. El proceso de aislamiento microbiano de bacterias permitió la obtención de nueve aislados puros de bacterias clasificadas por vía morfológica como bacterias Gram negativas, finalmente fueron identificadas por medio de pruebas moleculares dos géneros de bacterias, tales como: *Alcaligenes sp* y *Paenalcaligenes sp*, y cinco especies de bacterias identificadas como: *Alcaligenes faecalis*, *Paenalcaligenes suwonensis*, *Proteus mirabilis*, *Serratia nematodiphilia* y *Stenotrophomona maltophilia*. Uno de los hongos se clasificó con base en su morfología como *Aspergillus niger* y por medio de las pruebas moleculares se logró identificar a nivel de especie a uno de ellos como: *Aspergillus terreus*, y otros dos a nivel de género como: *Aspergillus sp*.

La presencia de microorganismos en el agua de consumo de la comunidad El Cacao se debe principalmente a que la fuente de abastecimiento carece de un tratamiento de potabilización, es por ello que los riesgos para la salud al ingerir esta agua son muchos, ya que estos microorganismos provocan enfermedades graves y que en ocasiones pueden ser mortales, además provocan infecciones que son difíciles de combatir con antibióticos y que principalmente afectan a adultos mayores y niños (Allen *et al.*, 2003; Casellas, 2007; Cuenca-Estrella, 2012; Samson *et al.*, 2007).

De acuerdo a la inspección visual la pila de captación, tanque de almacenamiento y llave de chorro están en buen estado, pero es imprescindible un tratamiento de potabilización para eliminar las bacterias y hongos identificados en las pruebas moleculares y remover el arsénico, hierro y turbiedad presente en el agua, con el fin de mejorar la calidad del agua que consumen los pobladores de esta comunidad.

5.8. Propuesta integral para la mejora del sistema de captación y conducción del agua en la comunidad El Cacao y uso del agua a nivel domiciliar

El sistema de captación y conducción del acuífero de la comunidad El Cacao (Figura 15) necesita una solución a la problemática de la calidad del agua, ya que según los resultados de los análisis fisicoquímicos, metales pesados y plaguicidas (Tablas 4 y 5), los parámetros que se encontraron alterados en el agua fueron: conductividad, turbidez, color verdadero, hierro, sulfatos, manganeso, sodio, amonio y arsénico; así mismo los análisis microbiológicos mostraron la presencia de indicadores de contaminación como Coliformes totales, fecales y *E.coli*, además por medio del aislamiento e identificación microbiana basado en la morfología y las pruebas moleculares se evidenció la presencia de hongos y bacterias en el agua (Tablas 8 y 9).

La toma de decisiones y la selección de tecnologías son unos de los aspectos importantes que se deben tomar en cuenta antes de decidir qué tipo de tratamiento aplicar según la problemática en la que se encuentre la zona afectada. Es decir, la adecuación de cada tecnología varía según cada situación local para que su uso sea sostenible en hogares de bajos recursos (OMS, 2006). De acuerdo a los resultados expresados anteriormente se consideró el uso de un filtro KANCHAN a nivel comunitario para ser instalado dentro del sistema de abastecimiento de la comunidad El Cacao.

Para evaluar la eficacia del uso del filtro KANCHAN a nivel comunitario se consideraron cinco aspectos importantes señalados por la OMS (2006):

- 1- Cobertura: Es el porcentaje de la población abastecida por un suministro específico de agua o fuente. Para los habitantes de la comunidad El Cacao el acceso al agua por medio de conexiones domiciliarias no existe, ya que no hay redes de distribución que permitan que el agua llegue hasta cada uno de los hogares. Cabe mencionar que la zona en estudio no permite la instalación de redes de distribución de agua porque las casas están ubicadas en lugares de mucha pendiente, por lo que necesitarían un sistema de bombeo, pero esta comunidad no cuenta con energía eléctrica (Figura 25).
- 2- Cantidad: Se refiere al volumen de agua utilizada para fines domésticos en un tiempo determinado (usualmente expresado L/hab/día) y conocido como dotación. En el caso de la comunidad si se propone un filtro KANCHAN a nivel comunitario, este deberá proporcionar la cantidad de agua necesaria para cada familia, según INAA (s.f) la dotación para zonas rurales debe ser de 75 L/hab/día (Tabla 1). Es importante mencionar que los datos reportados en las encuestas indican que el consumo de agua para uso doméstico es de 6.26 L/hab/día (Tabla 12), por lo que un filtro de ese tamaño no satisfaría las necesidades de los pobladores por el bajo caudal que la fuente proporciona ($0.0000166 \text{ m}^3/\text{s}$).

- 3- Continuidad: Proporción de tiempo que el agua está disponible al usuario. En la comunidad El Cacao los pobladores refieren que el suministro de agua no es continuo, por ello el tanque de almacenamiento tarda en llenarse debido al bajo caudal del acuífero.
- 4- Calidad: Es la aptitud del agua para consumo humano y para todos los fines domésticos incluyendo la higiene personal. Se realiza mediante análisis de las características fisicoquímicas, microbiológicas, metales pesados y plaguicidas. Para el caso de la comunidad El Cacao se realizaron algunos análisis y los resultados de los parámetros tales como: conductividad, turbidez, color verdadero, sulfatos, manganeso, sodio amonio, arsénico, estuvieron por encima de los valores recomendados por las Normas CAPRE, además se determinó la presencia de Coliformes totales, fecales y *E. coli* en el agua, por lo cual se determinó que el agua no cumple con los valores recomendados por esta norma.
- 5- Costo: Es el valor del agua abastecida para uso doméstico usualmente expresada como tarifa. En el caso de la comunidad El Cacao la fuente de abastecimiento es pública, ya que fue donada por un habitante del lugar, lo que conlleva que los pobladores no paguen ninguna tarifa por el uso de esa agua.

Finalmente se propone que el agua cruda sea filtrada a nivel domiciliario a través de un filtro KANCHAN y posteriormente sea desinfectada con cloro comercial (Cloro Nica).

Antes de la realización de esta propuesta se sugiere lavar la pila de captación (Punto 1) haciendo uso de un cepillo con cerdas de alambre con el objetivo de remover la suciedad y la biopelícula adherida a las paredes que se forma en este punto y continuar el lavado semanalmente, también se recomienda hacer una bifurcación con otra línea de tubería y colocar una válvula de compuerta para que cuando se lave la pila el agua no fluya sobre la tubería que utilizan actualmente sino que pueda evacuar por este sitio, de igual manera se sugiere lavar el tanque de almacenamiento una vez al mes y hacer otra bifurcación con el mismo objetivo expresado anteriormente. En la Figura 16 se presenta un esquema de las recomendaciones técnicas señaladas para el sistema de abastecimiento de la comunidad El Cacao.

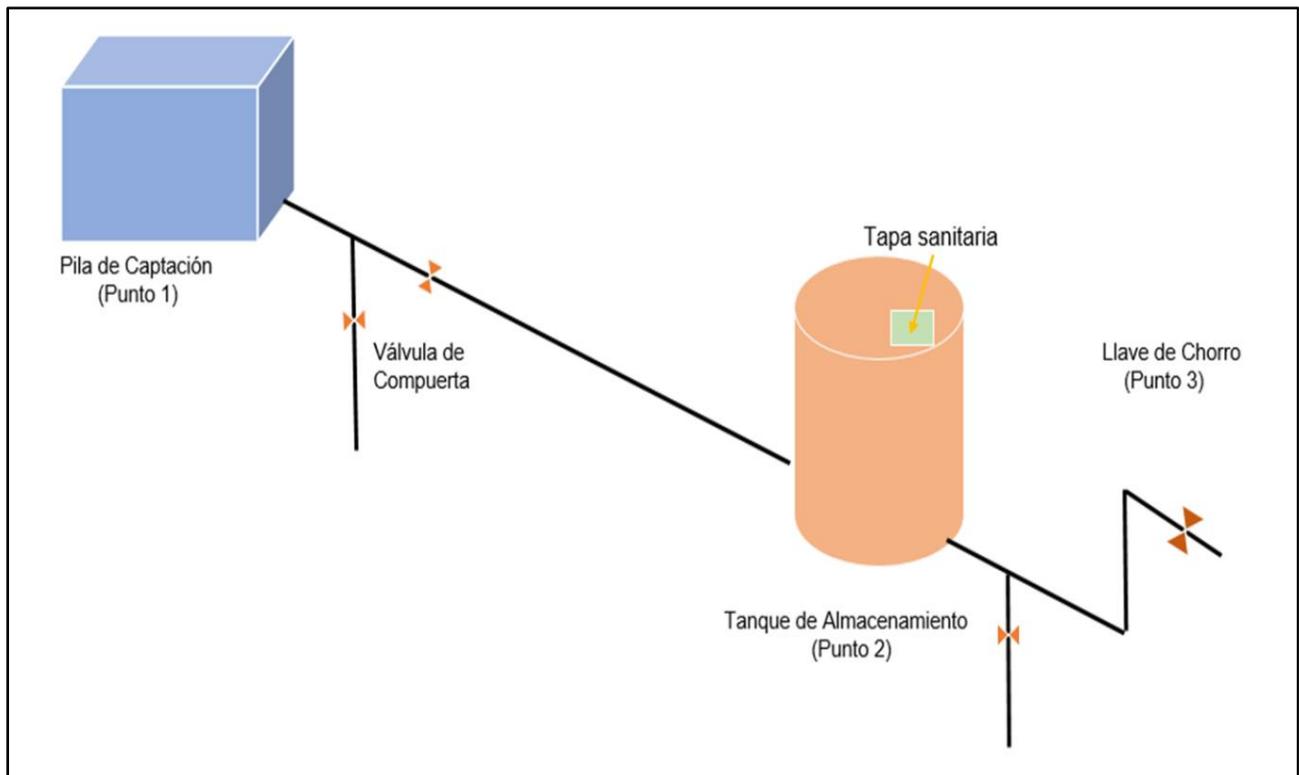


Figura 16. Esquema representativo de las sugerencias técnicas recomendadas en el sistema de abastecimiento de la comunidad El Cacao.

Luego de las sugerencias técnicas en el sistema de captación y conducción de la comunidad El Cacao, se propone que el agua se filtre a nivel domiciliario por medio de un filtro KANCHAN y luego que sea desinfectada con cloro como se mencionó anteriormente.

El filtro KANCHAN es un dispositivo de tratamiento de agua que remueve arsénico, patógenos, hierro, turbiedad, color y algunos otros contaminantes presentes en el agua de consumo humano. Es una versión modificada del biofiltro de arena basado en los principios de la filtración lenta en arena (Organización Panamericana de la Salud, 2010).

Este filtro fue desarrollado en Nepal por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), en asociación con la Organización del Medio Ambiente y de la Salud Pública (ENPHO) y el Programa de Apoyo para el Agua y Saneamiento (RWSSSP), para mitigar el problema del agua con altos niveles de arsénico en ese país. En la Figura 17 se muestra un esquema de los componentes del filtro KANCHAN.

▪ Componentes del filtro KANCHAN

1. Un contenedor plástico de boca ancha de aproximadamente 40 litros de capacidad y 40 cm de diámetro.
2. Un plato difusor (pana) de aproximadamente 5 litros de capacidad con perforaciones en su base.
3. Tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada de pvc.
4. Accesorios de pvc de $\frac{1}{2}$ pulgada: dos codos de 90° , un tapón, un adaptador macho de rosca y arandelas de goma para evitar fugas.
5. 20 litros de arena fina de diámetro menor a 1 mm, 4 litros de arena media de 3 a 6 mm de diámetro, 6 litros de grava de 6 a 15 mm de diámetro (especialmente seleccionadas, lavadas y preparadas para este fin).
6. 5 kilogramos de clavos de 1 pulgada no galvanizados (los clavos de hierro deben ser expuestos al agua y aire para que se oxiden rápidamente y produzcan partículas de hidróxido férrico).
7. Trozos de ladrillo de aproximadamente 5 cm (previamente lavados).

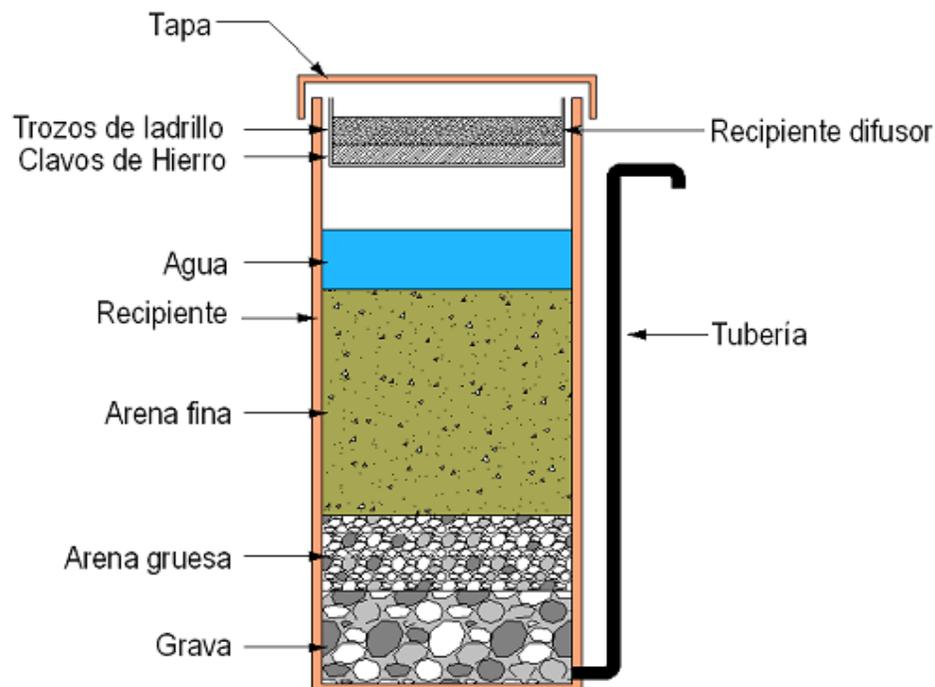


Figura 17. Esquema de los principales componentes del filtro KANCHAN (OPS, 2010).

▪ **Operación del filtro KANCHAN**

- Remoción de arsénico

Cuando el agua se hace pasar sobre la matriz de hierro oxidado (clavos) conjuntamente con segmentos de ladrillo, ocurre una reacción de complejación y el arsénico se aglutina en la superficie de los clavos y por acción de la adsorción de óxidos todo el arsénico queda atrapado. Las partículas de hierro cargadas de arsénico que se precipitan son atrapadas en los pequeños espacios entre las partículas de la arena fina a unos pocos centímetros de la superficie. Los filtros KANCHAN remueven arsénico entre un 87% y un 96% (Ngai, Murcott y Shrestha, 2004).

-Remoción de microorganismos

Cuando el agua contaminada es vertida por la parte superior del filtro pasa lentamente a través del plato difusor, percolando hacia la parte baja a través de la capa biológica y las capas de arena y grava. El agua tratada fluye naturalmente hacia la salida al exterior del tubo. Esta acción disminuye la población bacteriana en un 99%.

La capa biológica es el componente clave del filtro que retira los patógenos. Sin ella, el filtro es significativamente menos efectivo. La formación completa de la capa biológica puede tomar hasta 30 días dependiendo de la calidad del agua de entrada y de la frecuencia de uso. Esta capa biológica de microorganismos (también conocida como *schmutzedecke*) se desarrolla sobre la superficie de la arena y contribuye al tratamiento del agua. El plato difusor perforado es usado para proteger la capa biológica de las perturbaciones creadas cuando se vierte agua sobre el filtro (Ngai *et al.*, 2004).

-Remoción de hierro y turbidez

La mayoría de las partículas de hierro, sedimentos y partículas coloidales son atrapadas en la parte superior de la arena fina. Según estudios realizados la eliminación de turbidez estuvo en un intervalo de 93-95%. Otros estudios independientes demostraron que hay remoción de hierro entre un 90-99% (Ngai *et al.*, 2004).

-Recolección del agua

La operación del filtro KANCHAN consiste en hacer pasar el agua sobre una matriz de hierro oxidado (clavos) conjuntamente con segmentos de ladrillo, como resultado el arsénico se aglutinará en la superficie de los clavos y por acción de la adsorción de óxidos todo el arsénico quedará atrapado, posteriormente el agua continúa fluyendo hacia las otras capas de filtración. La primera capa de filtración es arena fina, esta capa retiene la mayoría de los sólidos suspendidos, posteriormente es arena gruesa y por último grava, estas soportan la capa de arena fina y permiten el paso del agua por acción de la gravedad.

Una vez que el agua fluye por las tres capas de arena sale por una tubería colocada en la parte inferior del filtro KANCHAN, recogándose el agua filtrada en diferentes recipientes para su posterior cloración y ser utilizada para consumo o uso doméstico (OPS, 2010). En la Figura 17 se muestra un esquema del filtro KANCHAN.

- **Disposición de los residuos después del proceso de filtración**

Los residuos principalmente los de arsénico son difíciles de manejar, ya que no es posible la destrucción total de estos. Aunque no existen hoy día técnicas para tratarlos *in situ*, hay que disponerlos en algún sitio o llevarlos a un centro especializado de residuos tóxicos para que los traten (Duhalde *et al.*, 2008).

Los desechos que se produzcan por la utilización de filtros KANCHAN se propone que sean depositados en un relleno sanitario comunitario y que este sea ubicado preferiblemente en zonas alejadas al acuífero. Este es el método más sencillo, económico y aceptable para la disposición de estos desechos.

- **Especificaciones técnicas de los filtros KANCHAN**

La velocidad de filtración en promedio es de unos 20 a 30 minutos una vez dispuesta el agua en el filtro y produce entre 10 y 12 L/h de agua limpia, tiene una velocidad de caudal de 4 a 23 L/h con una media de 14 L/h. La vida útil de estos filtros se estima que es de 3 a 5 años (OPS, 2010).

- **Mantenimiento del filtro KANCHAN**

El mantenimiento es simple, con el tiempo, el uso continuo del filtro ocasiona la obstrucción de los poros entre los granos de arena por partículas finas. Esto resulta en una disminución del flujo a través del filtro. El mantenimiento consiste en lavar la capa superficial de arena. Para limpiar el filtro, la superficie de la arena debe ser agitada para resuspender el material capturado en la capa de agua. Luego, se remueve el agua sucia mediante un recipiente pequeño. El proceso puede ser repetido hasta que el flujo sea restablecido. Cada dos meses se sugiere realizar la limpieza de la matriz de clavos y de los orificios del plato difusor o pana (OPS, 2010).

- **Costos de un filtro KANCHAN**

Tabla 14: Resumen de los costos necesarios para la construcción de un filtro KANCHAN

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costos	
			Unitario (C\$)	Total (C\$)
Balde plástico de 40 L		1	120	120
Pana plástica de 5 L		1	50	50
Clavos de hierro de 1"	kg	5	26,4	132
Arena fina <1 mm	L	20	1,50	30
Arena media entre 3-6 mm	L	4	1,50	6
Grava entre 6-15 mm	L	6	1,50	9
Trozos de ladrillo de 5 cm		3	2	6
Tubo pvc de ½"	m	1	30	30
Tapón pvc de ½"		1	5	5
Adaptador pvc macho de rosca de ½"		1	5	5
Empaque de hule de ½"		2	2	4
Codo pvc 90° roscado y liso de ½"		1	5	5
Codo pvc 90° liso de ½"		2	5	10
Teflón		1	10	10
Pegamento pvc (1/8 gal)	gal	0,38	15	5,63
Total en córdobas				427,63

Adaptada de: Experiencia en remoción de arsénico en la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI).

La tabla anterior indica que para la construcción de un filtro KANCHAN se gastan aproximadamente 427,63 córdobas. Son 24 familias que necesitan el uso de estos filtros, es decir que el costo para la construcción 24 filtros KANCHAN es de 10 263,12 córdobas. Esta investigación surge como una necesidad de la Alcaldía Municipal de Mozonte y la comunidad El Cacao para conocer las causas de las enfermedades que en los últimos tiempos han aparecido frecuentemente en los pobladores y que están vinculadas al consumo de esa agua, por tanto se sugiere que la instalación a nivel domiciliario de estos filtros sea por parte del área rectora de la salud de esta comunidad con el apoyo de la Alcaldía municipal de Mozonte y que simultáneamente se realice una inducción sobre el manejo y mantenimiento del filtro instalado, así como de la cloración posterior al proceso de filtración para garantizar la inocuidad del agua.

Es importante mencionar que una vez que el agua sea filtrada se recomienda la cloración para garantizar la completa salubridad de ésta, utilizando cloro comercial (Cloro Nica). La literatura sugiere la adición de 2 gotas de cloro por litro de agua filtrada y con un tiempo de contacto de 30 minutos para asegurar la eliminación de los agentes patógenos que hayan quedado después de la filtración (OPS, 2010).

- **Recomendaciones para almacenamiento y uso del agua a nivel domiciliar**

El objetivo de todo proyecto de tratamiento de potabilización de agua en una comunidad rural es mejorar la calidad de vida de los pobladores; sin embargo, se nota un reducido impacto debido a que los proyectos están orientados básicamente a la obra física descuidando los aspectos educativos sanitarios a nivel domiciliar. Es importante señalar que la transmisión por el agua de consumo es sólo uno de los vehículos de los agentes patógenos, ya que también pueden ser vehículo de transmisión los alimentos contaminados, las manos, los utensilios y la ropa, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes (OMS, 2007).

Durante la realización de las encuestas se pudo observar que algunos pobladores utilizaban recipientes sucios para almacenar el agua, a lo anterior se le suma que muchos hogares carecían de limpieza y cuatro familias no tienen un lugar para la disposición de excretas, tal como se mostró en el gráfico de los servicios básicos (Figura 25) por tanto practican el fecalismo al aire libre. Es por ello que una vez que el tratamiento aplicado en el acuífero de la comunidad El Cacao provea un agua segura para el consumo humano, es necesario la aplicación de ciertas recomendaciones sobre el almacenamiento y manejo adecuado del agua a nivel domiciliar, tales como: Hacer uso de recipientes limpios para la recepción del agua y mantenerlos siempre tapados durante el transporte desde la fuente de abastecimiento a los hogares, colocar el recipiente de almacenamiento del agua potable en un lugar limpio y elevado, tomar siempre el agua en vasos limpios y evitar tocar el agua con las manos al momento de servirla; esto puede lograrse utilizando un cucharón que permita sacar el agua sin tocarla o con un grifo en la parte inferior del recipiente (OPS, 2011). Otro aspecto importante es proporcionar a los pobladores de la comunidad El Cacao una charla acerca del mantenimiento adecuado de los filtros KANCHAN para que tengan una mayor vida útil.

Con respecto a la higiene personal y del hogar se les recomienda evitar la práctica del fecalismo al aire libre, también lavarse las manos después de defecar para romper la cadena de transmisión de enfermedades infecciosas. Por otra parte, se recomienda mantener el aseo y el orden en las viviendas, para lo cual es importante considerar lo siguiente: barrer y limpiar diariamente la vivienda, limpiar los techos, paredes, puertas, ventanas y muebles, incluyendo las camas y conservar los alrededores de la vivienda aseados, además erradicar basureros y lugares propicios para la generación de vectores. Todas estas recomendaciones son necesarias ya que todos los esfuerzos por potabilizar el agua son inútiles si se almacena o manipula de manera incorrecta o si no existe una buena higiene personal y en el hogar (OMS, 2016).

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación realizada en el sistema de abastecimiento de agua de la comunidad El Cacao nos permitió:

1-Por medio de la caracterización fisicoquímica y microbiológica se obtuvieron los siguientes resultados:

-En cuanto a los análisis fisicoquímicos se obtuvo que los valores de conductividad, turbidez, color verdadero, concentración de hierro total, sulfatos, manganeso, sodio, amonio y arsénico estuvieron por encima de los valores recomendados por las Normas CAPRE.

-Con respecto a los análisis microbiológicos se determinó mediante el método del Número más Probable (NMP) la presencia de Coliformes totales, fecales y *E. Coli* en el agua de consumo de la comunidad El Cacao. Según las Normas CAPRE los resultados de estos parámetros tienen que ser negativos.

-Por medio del aislamiento e identificación microbiana se obtuvieron nueve aislados puros de bacterias que fueron clasificadas por la reacción a la tinción Gram como Gram negativas. Se obtuvieron cuatro aislados puros correspondientes a hongos filamentosos, identificándose basado en la morfología a uno de ellos a nivel de especie como *Aspergillus niger* y a los tres restantes como pertenecientes al género *Aspergillus*.

-Los análisis moleculares y la aplicación de la filogenia permitió identificar a la bacterias como: *Alcaligenes sp*, *Paenalcaligenes sp*, *Alcaligenes faecalis*, *Paenalcaligenes suwonensis*, *Proteus mirabilis*, *Serratia nematodiphilia* y *Stenotrophomona maltophilia*. y a los hongos filamentosos como: *Aspergillus sp*, *Aspergillus terreus* y *Aspergillus tamarii*. La bibliografía revisada refiere que estas bacterias y hongos son causantes de enfermedades diarreicas, respiratorias e infecciosas, las mismas que los pobladores afirman que están padeciendo, todas ellas debidas al consumo de agua con contaminantes microbianos.

2-Al analizar el sistema de captación y conducción utilizado en la comunidad El Cacao, se pudo observar que en la pila de captación y en el tanque de almacenamiento se formaban biopelículas, por otra parte la inspección visual permitió determinar que cada uno de los componentes del sistema instalado (pila de captación, tanque de almacenamiento y llave de chorro) se encontraban en buen estado pero que es necesario la aplicación de un tratamiento de potabilización para mejorar la calidad del agua que consumen los pobladores de esta comunidad.

3-Los resultados de las encuestas aplicadas a 24 jefes de familia de la comunidad El Cacao indicaron la relación que existe entre la pobreza y las enfermedades vinculadas a la calidad del agua, ya que los pobladores carecen del conocimiento de normas higiénico sanitarias para mejorar las condiciones de vida.

4-Basado en todo lo anterior se formuló una propuesta integral para mejorar la calidad del agua de consumo de la comunidad El Cacao, en la cual se incluyó el uso de los filtros KANCHAN a nivel domiciliario complementado con un tratamiento de desinfección con cloro comercial, además se hicieron recomendaciones higiénico sanitarias para la preservación y uso del agua en los hogares.

VII. RECOMENDACIONES

- Corregir la secuenciación del aislado de hongo MCCI, ya que según vía morfológica se concluyó que era un *Aspergillus niger*, pero por vía molecular que era un *Aspergillus tamarii*, lo que fue motivado sin duda por un error en el proceso de secuenciación.
- Implementar en los pobladores de la comunidad El Cacao un programa de educación sanitaria coordinado con promotores de salud e higiene de la comunidad, para que apoyen la ejecución y el monitoreo de acciones educativas a nivel familiar y comunitario que ayuden a modificar los malos hábitos de los pobladores referidos a la recepción y almacenamiento del agua y a la limpieza del hogar y aseo personal.
- Realizar un estudio epidemiológico que evidencie el impacto sobre la salud de los pobladores de la comunidad El Cacao por el consumo del agua del acuífero en la cual existe la presencia de bacterias y hongos de acuerdo a las pruebas moleculares realizadas en esta investigación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Abarca, M. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista iberoamericana de micología*, 17(1), 79–84.

Allen, S., Janda, W., Koneman, E., Procop, G., Schreckenberger, P., Winn, W y Woods, G. (2008). *Diagnóstico microbiológico*. Sexta edición. Buenos Aires-Argentina: Editorial Médica Panamericana.

Ambientum. (2015). *Durezas de las aguas*. Recuperado en: <http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Dureza_de_aguas.asp>. Consultado en abril del 2015.

APHA., AWWA y WPCF. (2000). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Decimoséptima edición. Madrid-España: Editorial Díaz de Santos S.A.

APHA., AWWA y WPCF. (2005). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Vigésimo primera edición. Madrid-España: Editorial Díaz de Santos S.A.

Ayala, L., Rodríguez, R., Aquilar, C., Lara, F y Quero, A. (2004). Detección de *Clavibacter michiganensis subsp. nebraskensis* usando la reacción en cadena de la polimerasa. *Revista Fitopatología Mexicana*, 22(2), 239-245.

Baddley, J., Pappas, P., Smith, A and Moser, S. (2003). Epidemiology of *Aspergillus terreus* at a University Hospital. *Journal of clinical microbiology*, 41(12), 5525–5529.

Bacher, D. (2004). *Métodos de análisis para metales pesados*. Segunda edición. Madrid-España: Editorial Mundiprensa.

Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Segunda edición. España: Editorial Reverté.

Barrenechea, M. (2005). *Aspectos fisicoquímicos del agua*. Obtenido en: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/uno.pdf>>. Consultado en febrero de 2015.

Camacho, A., Giles, M., Ortigón, A., Palau M., Serrano, B y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. Segunda edición. México: Facultad de Química-UNAM.

Campbell, N y Reece, J. (2007). *Biología*. Séptima edición. Madrid-España: Editorial Médica Panamericana.

Campos, G. (2003). *Saneamiento Ambiental*. Primera edición. San José-Costa Rica: Editorial EUNED.

Casellas, J. (2007). Modificaciones en el criterio de utilidad de antibacterianos en infecciones urinarias pediátricas. *Archivos Latinoamericanos de Nefrología Pediátrica*, 7(1), 15-19.

Castellón, M. (2012). *Acceso a agua potable segura y saneamiento básico en Nicaragua*. Recuperado en: http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/CIEMA/Ciema0018/0018ACCESOAGUAPOTABLE.pdf. Consultado en junio del 2017.

Cuenca-Estrella, M. (2012). Diagnóstico de laboratorio de la enfermedad fúngica invasora. *Microbiología Clínica*, 30(5), 257-264.

Dirección General de Inversiones Públicas (DGIP), del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP). (2011). *Metodología General para la Preparación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública*. Recuperado en <www.snip.gob.ni>. Consultado en septiembre de 2015.

Duhalde, D., Camacho, B., Curcio, H., Fuentes, A., Magneres, A., Muller, C., Podepiora, C y Suárez, P. (2008). *Reducción de Arsénico en agua: Uso de un método doméstico*. Obtenido en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Agua-Eliminacion_domestica_arsenico.pdf. Consultado en julio de 2017.

Dukan, S., Piriou, P., Yves, L., Guyon, F and Villon, P. (1996). Dynamic modeling of bacterial growth in drinking water networks. *Water Research*, 30(9), 1991-2002.

Fernández, C y Vásquez, Y. (2006). Origen de los nitratos y nitritos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 22(3),1-9.

Galindo, G y Fernández, J. (2005). *Arsénico en agua: Origen, movilidad y tratamiento*. Argentina: Editorial Universidad de Buenos Aires.

Google. (s.f). [Mapa de la comunidad El Cacao, Mozonte, Nueva Segovia, en Google Maps]. Recuperado de: <https://www.google.com.ni/maps/place/El+Cacao>. Consultado en julio del 2017.

Gray, N. (1994). *Calidad del agua potable: problemas y soluciones*. Primera edición. Zaragoza- España: Editorial Acribia.

Hayes, W. (2008). *Principios y métodos de toxicología*. Sexta edición. Estados Unidos: Editorial CRC Press.

Hui, Y., Smith R y Spoerke, D. (2001). *Manual de enfermedades transmitidas por alimentos*. Segunda edición. Estados Unidos: Editorial Marcel Dekker.

Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (s.f). *Normas para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento y Potabilización de las Aguas (NTON 09003 - 99)*. Recuperado en: <http://www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/seccion1/7.Abastec.yPot.Agua.pdf/view>. Consultado en mayo de 2017.

Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (s.f). *Norma para la clasificación de recursos hídricos (NTON 05-007-98)*. Recuperado en: <http://www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/seccion1/1.normasycriterios.pdf/view>. Consultado en julio del 2017.

Instituto Nacional de Información de Desarrollo y Ministerio Agropecuario y Forestal. (2010). *Departamento de Nueva Segovia y sus municipios. Uso de la tierra y el agua en el sector agropecuario*. Recuperado en: <http://www.magfor.gob.ni>. Consultado en febrero de 2015.

Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Primera edición. México: Editorial Limusa.

Keith, L. (1996). *Colección de muestreo y análisis de métodos de la EPA*. Segunda Edición. Estados Unidos: Editorial CRC Press.

LeChevallier, M y Geldreich, E. (1999). *Control de calidad microbiológica en sistemas de distribución de agua*. Quinta edición. Estados Unidos: Editorial McGraw-Hill.

Lenntech. (2014). *Magnesio y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud*. Recuperado en: <http://www.lenntech.es/magnesio-y-agua.htm#ixzz4gE01LTVd>. Consultado en marzo del 2015.

Lenntech. (2015). *Conductividad del agua*. Recuperado en: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua-agua.htm>. Consultado en abril del 2015.

Lenntech. (2016). *Enfermedades transmitidas por el agua*. Recuperado en: <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>. Consultado en mayo de 2017.

López, T y Torrez, C. (2006). *Estudio cuantitativo de bacterias*. Obtenido de: <http://www.biologia.edu.ar/microgeneral/tp5.pdf>. Consultado en marzo del 2015.

Llop, A., Valdés-Dapena, M y Zuazo, J. (2001). *Microbiología y Parasitología Médica*. Tercera edición. La Habana-Cuba: Editorial Ciencias médicas.

Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Madrid-España: Editorial Díaz de santos, S.A.

McFarland, M y Dozier, M. (2001). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Recuperado en: <http://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets>. Consultado en julio del 2017.

Montoya, H. (2008). *Microbiología básica para el área de la salud y afines*. Segunda Edición. Medellín-Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.

Moon, J., Lim, J., Ahn, J., Weon, H., Kwon, S and Kim, S. (2014). *Paenalcaligenes suwonensis* isolated from spent mushroom compost. *Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(1), 882–886.

Murray, P., Rosenthal, K., Kobayashi, G y Pfaller, M. (2002). *Microbiología Médica*. Cuarta edición. Madrid-España: Editorial Elsevier.

Ngai, T., Murcott, S y Shrestha, R. (2004). *Filtro Antiarsénico Kanchan*. Recuperado en: <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/KAF/KAF%20booklet%20final%20Jun05.pdf>. Consultado en julio del 2017.

Normas CAPRE. (1994). *Normas de calidad del agua para consumo humano*. Recuperado: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cdcagua/normas/lac/13.NIC/01.norma.pdf>>. Consultado en febrero de 2015.

Organización Mundial de la Salud. (2003). *Amonio en agua de bebida*. Recuperado en: http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_quimicos/Amoniaco.pdf. Consultado en julio de 2017.

Organización Mundial de la Salud. (2003). *Cantidad de agua doméstica, nivel de servicio y salud*. Recuperado en: http://www.who.int/water_sanitation_health. Consultado en mayo del 2015.

Organización Mundial de la Salud. (2003). *Sulfato en el agua de bebida*. Recuperado en: http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_quimicos/Sulfato.pdf. Consultado en julio del 2017.

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua*. Recuperado en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf. Consultado en marzo de 2015.

Organización Mundial de la Salud. (2007). *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares*. Recuperado en: http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf. Consultado en junio de 2016.

Organización Mundial de la Salud. (2012). *El arsénico y sus efectos*. Recuperado en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>. Consultado en abril del 2015.

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Agua, saneamiento y salud*. Recuperado en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>. Consultado en mayo de 2017.

Organización Panamericana de la Salud. (2010). *Costa Rica y Nicaragua intercambian experiencias en el uso de filtros para remover arsénico presente en agua para consumo humano*. Recuperado en: http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_content&view=article&id=184:costa-rica-y-nicaragua-intercambian-experiencias-en-el-uso-de-filtros-kanchan-para-remover-arsenico. Consultado en mayo de 2017.

Organización Panamericana de la Salud. (2011). *Guía para el capacitador en educación sanitaria y ahorro del agua*. Recuperado en: <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/22.pdf?ua=1>. Consultado en febrero del 2017.

Pacheco, J., Cabrera, A y Pérez, R. (2004). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 8(2) ,165-179.

Palau, M. (2008). *Calidad del agua de consumo humano*. Obtenido en: http://www.mssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/agua_consumo_2011_v3_.pdf. Consultado en febrero de 2015.

Pérez, L. (2007). *Los derechos de sustentabilidad: Desarrollo, consumo y ambiente*. Primera Edición. Argentina: Editorial Colihue.

Programa de la Organización de las Naciones Unidas. (2006). *Cantidad de agua de consumo*. Recuperado en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>. Consultado en mayo de 2015.

Ramos, R., Sepúlveda, R y Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Primera edición. México: Editorial Plaza y Valdés.

Reilly, K y Kippin, J. (2000). *Calidad de agua tratada en sistemas de distribución*. Segunda edición. México: McGraw-Hill.

Repetto, M. (1995). *Toxicología avanzada*. Primera Edición. Madrid-España: Editorial Díaz de Santos, S.A.

Representación esquemática del procedimiento de la tinción Gram. (2010). Obtenido en: http://campus.usal.es/~micromed/Practicas_odontologia/index.htm. Consultado en junio de 2015.

Reyes, I., González, M y López, F. (2013) Un análisis del metabolismo de *Aspergillus niger* creciendo sobre un sustrato sólido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1) ,41-56.

Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de procesos y residuales*. Primera edición. Barcelona-España: Editorial MARCOMBO.

Rivas, J y Huerta, L. (2005). Fluorosis dental: Metabolismo, distribución y absorción del fluoruro. *Revista de la Asociación Dental Mexicana*, 62(6) ,225-229.

Rodicio, M y Mendoza, M. (2004). Identificación bacteriana mediante secuenciación del ARNr 16S. *Revista Microbiología Clínica*, 22(4) ,238-245.

Rodríguez, E., Gamboa, M., Hernández, F y García, J. (2006). *Bacteriología general: principios y prácticas de laboratorio*. Primera edición. Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.

Romero, R. (2007). *Microbiología y parasitología humana: bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias*. Tercera Edición. México: Editorial Médica Panamericana.

Rompré, A., Servais, P., Baudart, J.,Roubin, M and Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: Current methods an emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods*, 49(1), 31-54.

Samson, R., Noonim, P., Meijer, M., Houbraken, J., Frisvad, J and Varga, J. (2007). Diagnostic tools to identify black *aspergillus*. *Journal Studies in Mycology*, 59(13), 129-145.

Seely, H y Vandemark, P. (1995). *Manual de Laboratorio para Microbiología: Microbios en acción*. Madrid-España: Editorial Blume.

Tortora, G., Funke, B y Case, C. (2007). *Introducción a la Microbiología*. Novena Edición. Buenos Aires-Argentina: Editorial Médica Panamericana.

Trapote, A. (2013). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias: Abastecimiento y distribución de agua*. Segunda Edición. España: Editorial Universidad de Alicante.

IX. ANEXOS

9.1. Anexo A. Técnica del estriado de placas



Figura 18. Diferentes formas de inoculación para el aislamiento de microorganismos usando la técnica del estriado de placas (Seely y Vandemark, 1995).

9.2. Anexo B. Esquema de la tinción Gram



Figura 19. Representación esquemática del procedimiento de la tinción Gram (Fuente: http://campus.usal.es/~micromed/Practicas_odontologia/index.htm).

9.3 Anexo C. Certificados originales de los análisis fisicoquímicos realizados en los tres puntos de muestreo

C.1.1 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del primer muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	
13/02/2015	13/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	
CADENA CUSTODIA				2020
Fecha y Hora de Muestreo				13/02/2015; 04:11 p.m
Muestreado por		Ing. Maria Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo		Eder Ortez		
Fuente		Captación		
Tipo de muestra		Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación		Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1502-0089		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1	Rango o valor máximo permisible
Visual	Aspecto	NE	Leve turbidez, capa aceitosa, PMS	NE
2350-B	Temperatura	°C	25.30	18 - 30
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.13	6,5 - 8,5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	593.00	400
2130-B	Turbiedad	NTU	7.05	5
2120-C	Color Verdadero	UC	< 1.00	15
4500-D	Nitratos	mg/l	1.20	50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009	0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	12.10	250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.336	0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	53.53	250
2340-C	Dureza total	mg/l	248.00	400
3500-B	Calcio	mg/l	65.60	100
3500-B	Magnesio	mg/l	20.49	50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.022	0.5
3500-X	Sodio	mg/l	16.50	200
3500-C	Potasio	mg/l	1.29	10
4500-C	Fluor	mg/l	0.524	0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.07	0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	328.00	1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta. PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y 22701518; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001712

C.1.2 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del primer muestreo realizado en el tanque de almacenamiento (Punto 2)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	04/03/2015	2020
13/02/2015	13/02/2015	03/03/2015		
Fecha y Hora de Muestreo		13/02/2015; 04:25 p.m		
Muestreado por		Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo		Eder Ortiz		
Fuente		Tanque		
Tipo de muestra		Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación		Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1502-0090		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2	Norma CAPRE*
Visual	Aspecto	NE	Claro	NE
2350-B	Temperatura	°C	25.00	18 - 30
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.62	6,5 - 8,5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	570.00	400
2130-B	Turbiedad	NTU	0.133	5
2120-C	Color Verdadero	UC	< 1.00	15
4500-D	Nitratos	mg/l	0.35	50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009	0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	13.300	250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.023	0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	54.98	250
2340-C	Dureza total	mg/l	212.16	400
3500-B	Calcio	mg/l	54.70	100
3500-B	Magnesio	mg/l	18.39	50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.020	0.5
3500-X	Sodio	mg/l	18.00	200
3500-C	Potasio	mg/l	1.35	10
4500-C	Fluor	mg/l	0.556	0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.28	0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	328.00	1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<; menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión. Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente.

PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y FPT-5.101527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001713

C.1.3 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del primer muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELÉFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
13/02/2015	13/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	2020	Seis (6)
Fecha y Hora de Muestreo			13/02/2015; 04:35 p.m		
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortez		
Fuente			Grifo		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0091		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 3		Norma CAPRE*
Visual	Aspecto	NE	Claro		NE
2350-B	Temperatura	°C	25.50		18 - 30
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.65		6,5 - 8,5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	570.00		400
2130-B	Turbiedad	NTU	0.026		5
2120-C	Color Verdadero	UC	< 1.00		15
4500-D	Nitratos	mg/l	3.23		50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009		0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	12.60		250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.023		0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	71.64		250
2340-C	Dureza total	mg/l	246.00		400
3500-B	Calcio	mg/l	65.15		100
3500-B	Magnesio	mg/l	20.280		50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.020		0.5
3500-X	Sodio	mg/l	26.80		200
3500-C	Potasio	mg/l	1.28		10
4500-C	Fluor	mg/l	0.53		0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.56		0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	378.00		1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente.

(Firma manuscrita)
PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y FPT-5.100527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni de 1

0001714

C.2.1 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del segundo muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente		NR	
82338460					
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
16/02/2015	16/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	2020	Seis (6)
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015; 01:55 p.m		
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera		
Fuente			Captación		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0092		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 4	Norma CAPRE*	
Visual	Aspecto	NE	Leve turbidez, capa aceitosa, PMS	NE	
2350-B	Temperatura	°C	26.10	18 - 30	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.18	6,5 - 8,5	
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	581.00	400	
2130-B	Turbiedad	NTU	7.37	5	
2120-C	Color Verdadero	UC	< 1.00	15	
4500-D	Nitratos	mg/l	2.88	50	
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009	0.1	
4500-D	Cloruros	mg/l	12.40	250	
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.272	0.3	
4500-D	Sulfatos	mg/l	64.37	250	
2340-C	Dureza total	mg/l	246.48	400	
3500-B	Calcio	mg/l	62.91	100	
3500-B	Magnesio	mg/l	21.75	50	
3500-B	Manganeso	mg/l	0.023	0.5	
3500-X	Sodio	mg/l	19.60	200	
3500-C	Potasio	mg/l	1.30	10	
4500-C	Fluor	mg/l	0.571	0.7	
4500-D	Amonio	mg/l	0.44	0.5	
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	330.00	1000	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y 815727314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001716

C.2.2 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del segundo muestreo realizado en el tanque de almacenamiento (Punto 2)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente		NR	
CELULAR		82338460			
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO		INICIO DE ANALISIS		FINAL DE ANALISIS	
16/02/2015		16/02/2015		03/03/2015	
FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA		NUMERO DE MUESTRAS	
04/03/2015		2020		Seis (6)	
Fecha y Hora de Muestreo		16/02/2015; 02:19 p.m			
Muestreado por		Ing. Maria Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona			
Supervisor de Muestreo en Campo		Greysi Herrera			
Fuente		Tanque			
Tipo de muestra		Agua Superficial			
Observaciones de Ubicación		Comunidad El Cacao, Ocotal			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1502-0093			
METODO SM // EPA		ENSAYO REALIZADO PARAMETRO		Unidad	
				VALOR DE CONCENTRACION	
				PUNTO DE MUESTREO 5	
				Norma CAPRE*	
Visual		Aspecto		NE	
2350-B		Temperatura		°C	
				25.30	
4500-B		Potencial de Hidrógeno		pH	
				7.36	
2510-B		Conductividad Eléctrica		µS/cm	
				573.00	
2130-B		Turbiedad		NTU	
				0.030	
2120-C		Color Verdadero		UC	
				< 1.00	
4500-D		Nitratos		mg/l	
				2.53	
4500-B		Nitritos		mg/l	
				< 0.009	
4500-D		Cloruros		mg/l	
				12.90	
3500-B		Hierro Total		mg/l	
				0.078	
4500-D		Sulfatos		mg/l	
				66.35	
2340-C		Dureza total		mg/l	
				208.40	
3500-B		Calcio		mg/l	
				49.96	
3500-B		Magnesio		mg/l	
				20.360	
3500-B		Manganeso		mg/l	
				0.020	
3500-X		Sodio		mg/l	
				25.80	
3500-C		Potasio		mg/l	
				1.240	
4500-C		Fluor		mg/l	
				0.582	
4500-D		Amonio		mg/l	
				0.39	
2540-B		Sólidos Disueltos		mg/l	
				320.00	
				1000	

Rango o valor máximo permisible

Norma CAPRE*

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Limite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

(Firma manuscrita)
PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y
FPT-5.1 8866-27314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001717

C.2.3 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del segundo muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS		NUMERO DE MUESTRAS
16/02/2015	16/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	2020
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015; 02:28 p.m	
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona	
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera	
Fuente			Grifo	
Tipo de muestra			Agua Superficial	
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal	
Coordenadas			NR	
Codificación PIENSA			LA-1502-0094	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 6	Norma CAPRE*
Visual	Aspecto	NE	Claro	NE
2350-B	Temperatura	°C	26.20	18 - 30
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.24	6,5 - 8,5
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	573.00	400
2130-B	Turbiedad	NTU	0.028	5
2120-C	Color Verdadero	UC	< 1.00	15
4500-D	Nitratos	mg/l	2.39	50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009	0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	12.50	250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.133	0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	70.97	250
2340-C	Dureza total	mg/l	242.80	400
3500-B	Calcio	mg/l	63.71	100
3500-B	Magnesio	mg/l	20.370	50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.020	0.5
3500-X	Sodio	mg/l	25.80	200
3500-C	Potasio	mg/l	1.24	10
4500-C	Fluor	mg/l	0.582	0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.39	0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	363.00	1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y
FPT-5.104527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001718

C.3.1 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del tercer muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		88898489	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente		anacaceres124@yahoo.com	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA	
INGRESO		INICIO DE ANALISIS		FINAL DE ANALISIS	
09/04/2015		09/04/2015		23/04/2015	
Fecha y Hora de Muestreo		09/04/2015; 02:15 p.m		NUMERO DE MUESTRAS	
Muestreado por		Ing. María Lidia Gómez		Cuatro (4)	
Supervisor de Muestreo en Campo		Eder Ortez		Rango o valor máximo permisible o recomendado	
Fuente		Captación			
Tipo de muestra		Agua Superficial			
Observaciones de Ubicación		Comunidad El Cacao, Ocotal			
Coordenadas		NR		Norma CAPRE*	
Codificación PIENSA		LA-1504-0215			
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1		
Visual	Aspecto	NE	Claro, PMS, capa aceitosa		NE
2350-B	Temperatura	°C	26.80		18 - 30**
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	6.96		6,5 - 8,5**
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	562.00		400**
2130-B	Turbiedad	NTU	7.37		5
2120-C	Color Verdadero	UC	5.49		15
4500-D	Nitratos	mg/l	0.81		50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009		0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	10.20		250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.298		0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	67.00		250
2340-C	Dureza total	mg/l	245.04		400**
3500-B	Calcio	mg/l	65.64		100**
3500-B	Magnesio	mg/l	19.75		50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.021		0.5
3500-X	Sodio	mg/l	20.00		200
3500-C	Potasio	mg/l	2.61		10
4500-C	Fluor	mg/l	0.528		0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.22		0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	343.00		1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<; menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano: ** Valor recomendado

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

COORDINACION TECNICA
PhD. Leandro Paramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 •Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y 81527314 ; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni Pág. 1 de 1

0002037

C.3.2 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del tercer muestreo realizado en el tanque de almacenamiento (Punto 2)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN			TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia			NR
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente		NR	82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
09/04/2015	09/04/2015	23/04/2015	28/04/2015	2066	Cuatro (4)
Fecha y Hora de Muestreo			09/04/2015; 02:45 p.m		
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortiz		
Fuente			Tanque		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1504-0216		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2	Rango o valor máximo permisible o recomendado	
Visual	Aspecto	NE	Claro	Norma CAPRE*	
2350-B	Temperatura	°C	28.50	18 - 30**	
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.21	6,5 - 8,5**	
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	563.00	400**	
2130-B	Turbiedad	NTU	3.65	5	
2120-C	Color Verdadero	UC	5.49	15	
4500-D	Nitratos	mg/l	0.81	50	
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009	0.1	
4500-D	Cloruros	mg/l	11.00	250	
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.041	0.3	
4500-D	Sulfatos	mg/l	56.50	250	
2340-C	Dureza total	mg/l	243.36	400**	
3500-B	Calcio	mg/l	64.26	100**	
3500-B	Magnesio	mg/l	20.18	50	
3500-B	Manganeso	mg/l	0.022	0.5	
3500-X	Sodio	mg/l	17.00	200	
3500-C	Potasio	mg/l	2.60	10	
4500-C	Fluor	mg/l	0.498	0.7	
4500-D	Amonio	mg/l	0.41	0.5	
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	345.00	1000	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión.

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano: ** Valor recomendado

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

COORDINACION TECNICA
PIENSA-UNI
PRD. Leandro Paramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y FPT-5: 886527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0002038

C.3.3 Certificado original de los análisis fisicoquímicos del tercer muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

FQAN1502-0014

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN			TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia			88898489
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	anacaceres124@yahoo.com		82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
09/04/2015	09/04/2015	24/04/2015	28/04/2015	2066	Cuatro (4)
Fecha y Hora de Muestreo			09/04/2015; 02:58 p.m		Rango o valor máximo permisible o recomendado
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortez		
Fuente			Grifo		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		Norma CAPRE*
Codificación PIENSA			LA-1504-0217		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 3		
Visual	Aspecto	NE	Claro		NE
2350-B	Temperatura	°C	26.60		18 - 30**
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	7.37		6,5 - 8,5**
2510-B	Conductividad Eléctrica	µS/cm	574.00		400**
2130-B	Turbiedad	NTU	0.031		5
2120-C	Color Verdadero	UC	5.49		15
4500-D	Nitratos	mg/l	1.61		50
4500-B	Nitritos	mg/l	< 0.009		0.1
4500-D	Cloruros	mg/l	11.50		250
3500-B	Hierro Total	mg/l	0.030		0.3
4500-D	Sulfatos	mg/l	64.56		250
2340-C	Dureza total	mg/l	212.32		400**
3500-B	Calcio	mg/l	54.16		100**
3500-B	Magnesio	mg/l	18.750		50
3500-B	Manganeso	mg/l	0.020		0.5
3500-X	Sodio	mg/l	29.00		200
3500-C	Potasio	mg/l	2.74		10
4500-C	Fluor	mg/l	0.49		0.7
4500-D	Amonio	mg/l	0.49		0.5
2540-B	Sólidos Disueltos	mg/l	321.00		1000

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<; menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, PMS=Poca Materia en Suspensión
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
* Norma regional de calidad del agua para consumo humano: ** Valor recomendado.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

COORDINACION TECNICA
PhD. Leandro Paramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y
FPT-5.185527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni • pág. 1 de 1

0002039

9.4. Anexo D. Certificados originales de los análisis de metales pesados y plaguicidas realizados en la pila de captación

D.1 Certificado original del análisis de metales pesados y plaguicidas del primer muestreo realizado durante en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA				CERTIFICADO DE ENSAYOS			MP1502- 008
Alcaldía Municipal de Mozonte				DIRECCIÓN			TELEFONO
				Ocotal, Nueva Segovia			NR
ATENCIÓN				CARGO		EMAIL	CELULAR
Luis Medina				Unidad Medio Ambiente		NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	04/03/2015		2020	Seis (6)	
13/02/2015	13/02/2015	03/03/2015					
Fecha y Hora de Muestreo				13/02/2015; 04:11 p.m			
Muestreado por				Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona			
Supervisor de Muestreo en Campo				Eder Ortiz			
Fuente				Captación			
Tipo de muestra				Agua Superficial			
Observaciones de Ubicación				Comunidad El Cacao, Ocotal			
Coordenadas				NR			
Codificación PIENSA				LA-1502-0089			
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Norma CAPRE*		
G.H	Arsénico	mg/L	PUNTO DE MUESTREO 1		0.01		
3112-B	Mercurio	mg/L	0.03		0.001		
EPA 507,508	Plaguicida Organoclorados	mg/L	< 0.001		NE		
EPA 507,508	Plaguicidas Organofosforados	mg/L	< 2*10 ⁻⁵		NE		
			< 3*10 ⁻⁵		NE		

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta. ND=No Detectado

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

G.H: Generador de Hidruros, Utilizando ARSENIATOR

Cromatografía de Gases con Detector de Electrones y Detector Termoiónico

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ph.D. Leandro Parame Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA - UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax Dirección: (505)22781462 • Teléfonos: Área Académica 22705613 y 8866-6702; Atención al Cliente Laboratorios 22701517 y FPT-51081527314; Coordinación de Laboratorios 8100-0421 • e-mail: piensa@uni.edu.ni • pág. Web: www.piensa.uni.edu.ni

0001927

D.2 Certificado original del análisis de metales pesados y plaguicidas del segundo muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS					MP1502-0021
EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR	82338460
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
16/02/2015	16/02/2015	03/03/2015	04/03/2015	2020	Seis (6)
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015; 01:55 p.m		
Muestreado por			Ing. María Lidia Gómez / Ing. Xochilt Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera		
Fuente			Captación		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0092		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 4		Norma CAPRE*
G.H	Arsénico	mg/L	0.028		0.01
3112-B	Mercurio	mg/L	< 0.001		0.001
EPA 507,508	Plaguicida Organoclorados	mg/L	< 2*10 ⁻⁵		NE
EPA 507,508	Plaguicidas Organofosforados	mg/L	< 3*10 ⁻⁵		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 <: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta. ND=No Detectado
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency
 * Norma regional de calidad del agua para consumo humano
 G.H: Generador de Hidruros, Utilizando ARSENATOR
 Cromatografía de Gases con Detector de Electrones y Detector Termoiónico

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

(Handwritten signature and official stamp of the laboratory)
 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

9.5. Anexo E. Certificados originales de los análisis microbiológicos realizados en los tres puntos de muestreo

E.1.1 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el primer muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS				MB-0019-01	
EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		N/R
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Ana Guadalupe Cacerez			Administración AMUNSE	anacacerez124@yahoo.es	82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			NUMERO DE MUESTRAS
14/02/2015	14/02/2015	18/02/2015	09/03/2015	2020	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			13/02/2015 4:11pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortiz		
Fuente			Captación		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad el cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0089		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	7.9*10		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	2.0		Neg
9221F	E.coli	NMP/100ml	2.0		Neg

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente



Phil Leandro Páramo Aguilar
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.1.2 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el primer muestreo realizado en el tanque de almacenamiento (Punto 2)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

MB-0019-02

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		N/R
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR	82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
14/02/2015	14/02/2015	18/02/2015	09/03/2015	2020	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			13/02/2015 4:25pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortez		
Fuente			Tanque		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0090		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	1.3*10 ²		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	4.9*10		Neg
9221F	E.coli	NMP/100ml	3.3*10		Neg

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente

Ph.D. Leandro Páramo Adúriz
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.1.3 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el primer muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS					MB-0019-03
EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		N/R
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR	82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
14/02/2015	14/02/2015	18/02/2015	09/03/2015	2020	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			13/03/2015 4:35pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Eder Ortiz		
Fuente			Grifo		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0091		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 3		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	1.6*10 ³		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	3.3*10		Neg
9221F	E.coli	NMP/100ml	2.3*10		Neg

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente


PhD Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.2.1 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el segundo muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

MB-0019-04

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN			TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia			N/R
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL		CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR		82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO						NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA		
17/02/2015	17/02/2015	24/02/2015	09/03/2015	2020		Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015 1:55pm			Rango o valor máximo permisible
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona			
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera			
Fuente			Captación			
Tipo de muestra			Agua Superficial			
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal			
Coordenadas			NR			
Codificación PIENSA			LA-1502-0092			Norma CAPRE*
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 4			
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	7.0*10		Neg	
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	1.3*10		Neg	
9221F	E.coli	NMP/100ml	Neg		Neg	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Limite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.2.2 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el segundo muestreo realizado en tanque de almacenamiento (Punto 2)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

MB-0019-05

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotal, Nueva Segovia		82338430	
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	NR		
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	09/03/2015	2020	NUMERO DE MUESTRAS
17/02/2015	17/02/2015	24/02/2015			Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015 2:19pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera		
Fuente			Tanque		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad el cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0093		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 5		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	3.3*10		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	1.4*10		Neg
9221F	E.coli	NMP/100ml	9.3		Neg

Rango o valor máximo permisible

Norma CAPRE*

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Paramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.2.3 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el segundo muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS					MB-0019-06
EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		N/R
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	NR	82338430
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
17/02/2015	17/02/2015	24/02/2015	09/03/2015	2020	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			16/02/2015 2:28pm		
Muestreado por			Ing. María Lidia Gomez/Ing. Xochil Barahona		
Supervisor de Muestreo en Campo			Greysi Herrera		
Fuente			Grifo		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad el Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1502-0094		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 6		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	4.9*10		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	1.7*10		Neg
9221F	E.coli	NMP/100ml	1.3*10		Neg

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.3.1 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el tercer muestreo realizado en la pila de captación (Punto 1)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB 1504-0035

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		88898489
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	anacacerez124@yahoo.com	NR
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
10/04/2015	10/04/2015	15/04/2015	17/04/2015	2066	Cuatro(4)
Fecha y Hora de Muestreo			09/04/2015 2:15pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gómez		
Supervisor de Muestreo en Campo			Luis Medina		
Fuente			Captación		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1504-0215		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Norma CAPRE*
			PUNTO DE MUESTREO 1		
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	3.2*10		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	Neg		Neg.
9221F	E.coli	NMP/100ml	Neg		Neg

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a las solicitudes por el cliente



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.3.2 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el tercer muestreo realizado en el tanque de almacenamiento (Punto 2)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1504-0035

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN		TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte			Ocotal, Nueva Segovia		88898489
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Luis Medina			Unidad Medio Ambiente	anacacerez124@yahoo.com	NR
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
09/04/2015	10/04/2015	15/04/2015	17/04/2015	2066	Cuatro(4)
Fecha y Hora de Muestreo			09/04/2015 2:45pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gómez		
Supervisor de Muestreo en Campo			Luis Medina		
Fuente			Tanque		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotal		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1504-0216		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 2		Norma CAPRE*
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	5.4*10 ²		Neg
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	3.3*10		Neg.
9221F	E.coli	NMP/100ml	6.8		Neg

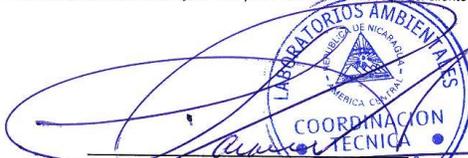
LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo

Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente


Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

E.3.3 Certificado original del análisis microbiológico por el método del Número Más Probable (NMP) en el tercer muestreo realizado en la llave de chorro (Punto 3)



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-MB-1504-0035

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN			TELEFONO
Alcaldía Municipal de Mozonte		Ocotol, Nueva Segovia			88898489
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL		CELULAR
Luis Medina		Unidad Medio Ambiente	anacacerez124@yahoo.com		NR
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	
09/04/2015	10/04/2015	15/04/2015	17/04/2015	2066	Cuatro(4)
Fecha y Hora de Muestreo			09/04/2015 2:58pm		
Muestreado por			Ing. Maria Lidia Gómez		
Supervisor de Muestreo en Campo			Luis Medina		
Fuente			Grifo		
Tipo de muestra			Agua Superficial		
Observaciones de Ubicación			Comunidad El Cacao, Ocotol		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1504-0217		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Norma CAPRE*
			PUNTO DE MUESTREO 3		
9221B	Coliforme total	NMP/100ml	5.4*10 ³		
9221E	Coliforme fecal	NMP/100ml	6.8*10		
9221F	E.coli	NMP/100ml	4.0		Neg.

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
<: menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta, Neg= Negativo
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, 21th.2005 EPA = Environmental Protection Agency

* Norma regional de calidad del agua para consumo humano

Los resultados de estos ensayos corresponden a los solicitados por el cliente

(Signature)
PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA/UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0001971

9.6. Anexo F. Formato de la encuesta realizada para determinar el impacto social de la calidad del agua en los pobladores de la comunidad El Cacao



Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Ingeniería



Datos de referencia:

N. de encuesta: _____	Fecha: _____
Nombres de los encuestadores: Tania Garmendia y Jennifer Villalta	

Somos de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), de la facultad de ingeniería química y estamos desarrollando un estudio sobre la calidad del agua de la comunidad El Cacao. Solicitamos de su amable colaboración para responder a las siguientes preguntas, sus respuestas serán muy valiosas para nuestro estudio.

I. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VIVIENDA. (datos anotados por el encuestador)

1. Departamento: Nueva Segovia	2. Municipio: Mozonte	3. Comunidad: El Cacao
---------------------------------------	------------------------------	-------------------------------

II. DATOS DEMOGRÁFICOS DE LOS ENCUESTADOS (el encuestador debe preguntar y llenar correctamente).

4. Datos del Jefe de familia: Edad: ____ Sexo: F__ M__ Ocupación: _____ Estado civil: Soltero: __ Casado: ____ Unión estable: __ Divorciado: __ Viudo: __ Nivel Educativo: Primaria: ____ Secundaria __ Universitario: __ Otro (especifique): _____ Ingreso promedio familiar: _____

5. Número total de personas que habitan en la vivienda: ____ Adultos: ____ Menores: ____ Adultos mayores: ____ Número de personas que trabajan: _____
6. Servicios básicos de la vivienda: Energía eléctrica Sí __ No __ Teléfonos celulares Sí __ No __ Inodoro Sí __ No __ Excusado Sí ____ No ____

III. DATOS DE VIVIENDA (Estos datos deben ser observados y anotados por el encuestador antes de iniciar la entrevista)

7. Tipo de vivienda: Casa __ Choza __ Vivienda improvisada __ Otro (especifique) _____	8. Tipo de techo: Zinc __ Tejas __ Paja __ Plycem ____ Otro(especifique) _____
--	---

9. Tipo de paredes: Cemento o concreto ___ Madera ___ Minifalda ___ Ripios ___ Lata ___ Plástico ___ Otro (especifique) _____	10. Tipo de piso: Tierra ___ Ladrillos ___ Madera ___ Embaldosado ___ Otro(especifique) _____
--	---

IV. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE AGUA (el encuestador debe preguntar y llenar correctamente).

<p>11. ¿Qué tipo de recipiente usa Ud para trasladar el agua de la fuente a su casa? Barriles: ___ Pichingas: ___ Panas: ___ Bidones: ___ Otro (especifique) _____</p> <p>12. ¿En qué tipo de recipiente Ud almacena el agua en su casa? Barriles de metal: ___ Barriles plásticos: ___ Pichingas: ___ Panas: ___ Bidones: ___ Tinajas de barro: ___ Pilas de cemento: ___ Otro (especifique) _____</p> <p>13. ¿Cómo Ud preserva el agua en su casa para que no se le ensucie o contamine? Sin tapar: ___ Tapada con la tapa del recipiente: ___ Tapada con plástico: ___ Tapada con trapo: ___ Tapada con madera: ___ Otro (especifique): _____</p> <p>14. ¿Separa Ud el agua de beber de la que ocupa para los quehaceres domésticos? Si: ___ No: ___ (si su respuesta es SI pase a la pregunta 14, si es NO pase a la 15)</p> <p>15. ¿Usa Ud algún proceso de purificación para su agua de consumo? (si contesta SI preguntar cuál es el proceso). No: ___ Si ___ ¿Cuál? Hervir: ___ Aplicar cloro: ___ Pastillas purificadoras: ___ Filtro artesanal: ___ Otro (especifique): _____</p> <p>16. ¿Qué cantidad promedio de agua consume su familia al día para beber? _____ (sea lo más específico posible en cuanto a unidad de medidas).</p> <p>17. ¿Qué cantidad promedio de agua consume su familia al día para sus labores domésticas? _____ (sea lo más específico posible en cuanto a unidad de medidas).</p> <p>18. ¿Con qué frecuencia salen a buscar el agua desde la fuente para abastecer su casa? Diario: ___ Día de por medio: ___ Semanal: ___ Otro (especifique): _____</p>
--

OBSERVACIONES: (el encuestador puede escribir cualquier situación que considere relevante que le dijeron o que observó y no está recogido dentro del instrumento.

9.7. Anexo G. Datos generales de los jefes de familia de la comunidad El Cacao, características físicas y servicios básicos de las viviendas.

Datos demográficos de los pobladores de la comunidad El Cacao:

La Figura 20 indica que existen un total de 123 personas que hacen uso del agua de la fuente en estudio, de los cuales el 54% equivalen a 66 personas adultas; a la vez se cuenta con una población de menores de edad del 43% equivalente a 53 niños y tan solo se reporta un 3% de adultos mayores (4 ancianos).

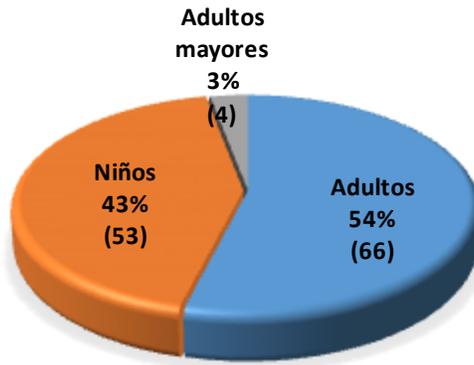


Figura 20. Representación demográfica de la cantidad de personas que habitan en la comunidad El Cacao y que son usuarios actuales de la fuente de agua en estudio.

▪ **Datos del jefe de familia**

En la Figura 21 se puede observar que los jefes de familia están compuestos mayoritariamente por mujeres con un 58% (14) y con un 42% (10) varones. La mayor concentración de las edades se da entre los rangos de 36 a 45 años con un 41,6% (6 mujeres y 4 varones).

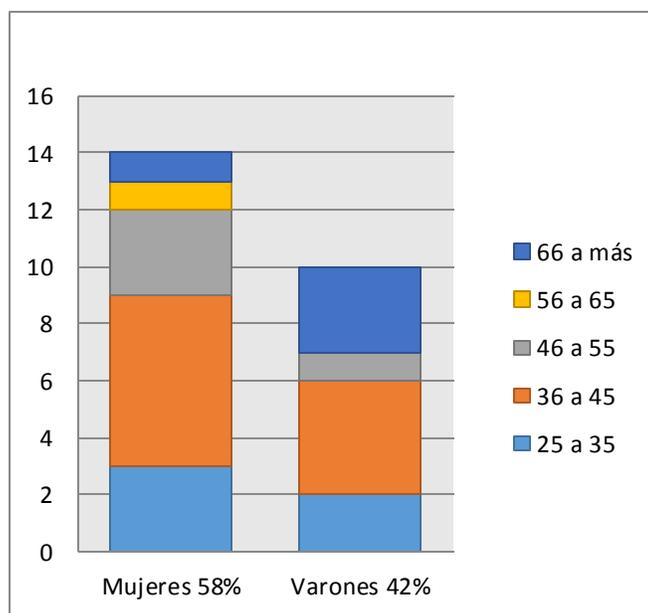


Figura 21. Sexo y edad de los jefes de familia de la comunidad El Cacao.

De acuerdo a la Tabla 15 las actividades que realizan los jefes de familia (10 varones) se concentran mayormente en las labores agrícolas para su sobrevivencia. En el caso de las mujeres (14) en su mayoría son amas de casa y sobre ellas recae la tarea de acarrear el agua desde la fuente hasta los hogares. Con respecto al estado civil 21 jefes de familia están casados, existen 2 solteros y un viudo. Según los datos reportados también en la Tabla 15 el nivel educativo en esta comunidad es bajo, ya que son 7 jefes de familia que no tienen nada de instrucción (debe entenderse que no saben leer y escribir), hay 9 alfabetizados, es decir que pocas personas saben leer y escribir y solo 8 personas han cursado máximo hasta el segundo grado de primaria.

Tabla 15: Ocupación, estado civil y nivel educativo de los jefes de familia de la comunidad El Cacao

Ocupación		Estado civil		Nivel educativo	
Agricultor	10	Casado	21	Ninguno	7
Doméstica	1	Soltero	2	Alfabetizado	9
Ama de casa	13	Viudo	1	2º grado de primaria	8

- **Ingreso mensual de los jefes de familia de la comunidad El Cacao**

Con respecto al ingreso mensual expresado en la Figura 22, el más alto salario reportado se encuentra en el rango de 3 001 a más córdobas mensuales pero solamente un 4,2% lo reporta (1 jefe de familia), la menor cantidad está en el rango de 500 a menos córdobas mensuales y lo reportan un 8,3% (2 jefes de familia). La mayor concentración de ingreso mensual está entre el rango de 1 001 a 1 500 córdobas con un 37,5% equivalente a 9 jefes de familia, seguido por el rango de 2 501 a 3 000 córdobas con un porcentaje de 20,8% (5 jefes de familia).

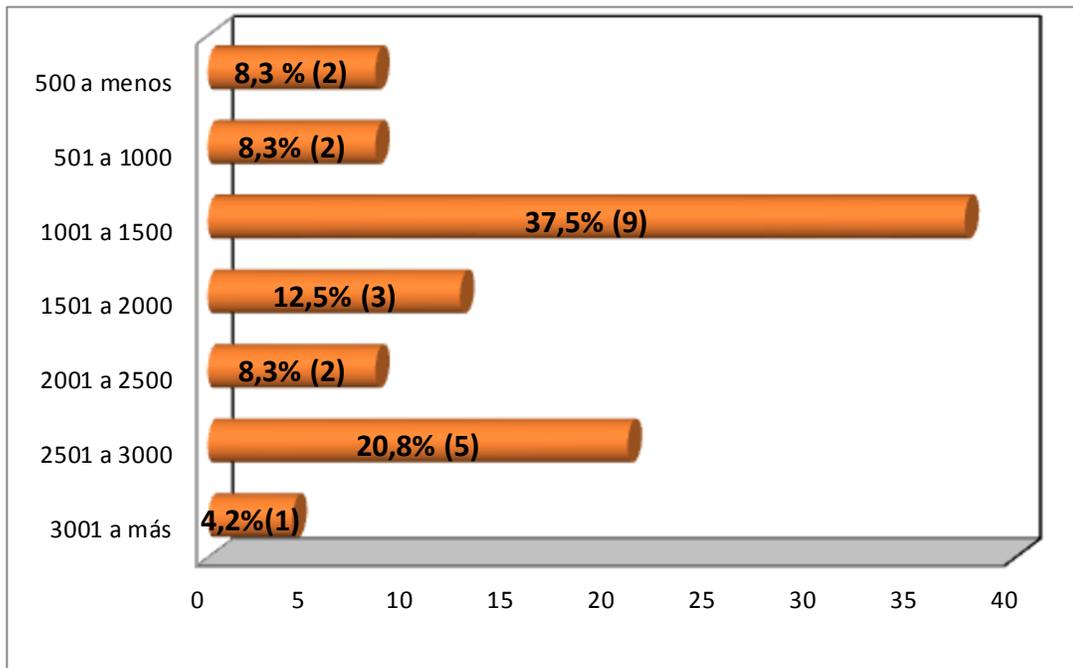


Figura 22. Ingreso económico mensual que tienen los jefes de familia de la comunidad El Cacao.

- **Número total de personas que habitan por vivienda en la comunidad El Cacao**

En la Figura 23 se muestra la cantidad de personas que habitan en una casa, que está mayormente concentrado de 4 a 6 personas con un porcentaje de 58% (14 viviendas), además existe un promedio de 7 a 9 personas por familia correspondiente al 21% (5 viviendas) y un promedio de 1 a 3 personas con un porcentaje de 21% equivalente a 5 viviendas respectivamente.

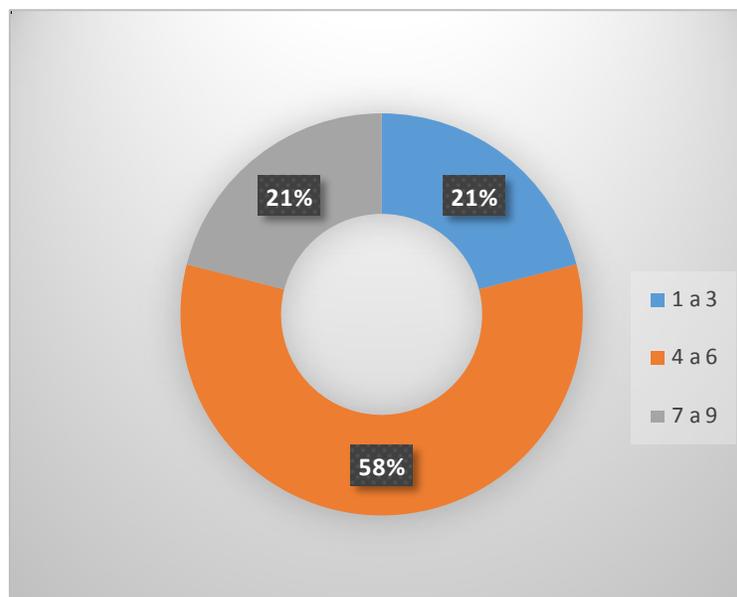


Figura 23. Cantidad de personas que habitan por casa en la comunidad El Cacao.

- **Número total de personas que trabajan por casa en la comunidad El Cacao**

Según los resultados mostrados en la Tabla 16, se aprecia que en la comunidad El Cacao trabajan un 36,5% equivalente a 45 personas, es decir que del total de 66 adultos, solamente 45 personas son el sostén de sus hogares. En 10 familias solamente trabaja una persona, en 7 familias trabajan dos personas y en otras 7 casas trabajan hasta tres personas.

Tabla 16: Cantidad de personas que trabajan por casa

Por cada casa	Nº de familias	Personas en total
Una	10	10
Dos	7	14
Tres	7	21
Gran total	24 familias	45 personas

▪ **Características de las viviendas de la comunidad El Cacao**

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la caracterización física de las viviendas, donde un 91,7% (22 casas) presentan las condiciones mínimas necesarias para ser llamadas casas, el 8,3% (2 casas) son improvisadas. Con respecto al tipo de techo hay un porcentaje de 87,5% (21 casas) que tienen techo de zinc, un 8,3% (2 casas) tienen techo de tejas y solamente un 4,2% equivalente a una casa tiene techo de paja. Aunque el 87,5% (21 casas) tienen techo de zinc, el 87,5% (casas) presentan paredes de taquezal (sistema de construcción fundamentalmente con madera o palos de cañas entretrejidos y barro, rellenos de tierra), un 8,3% (2 casas) las paredes son de madera y solamente un 4,2% equivalente a una casa las paredes son repelladas, lo que hace que sean casas muy inseguras y vulnerables ante los embates de la naturaleza, incluyendo también que el 91,7% (22 casas) el tipo de piso es de tierra, solamente el 8,3% equivalente a dos casas son embaldosadas. En la Figura 24 se puede apreciar las características físicas de las viviendas observadas durante las encuestas realizadas en la comunidad El Cacao.

Tabla 17: Resumen de la caracterización física de las viviendas de la comunidad El Cacao (tipo de vivienda, techo, paredes y piso)

Tipo de vivienda		Tipo de techo		Tipo de paredes		Tipo de piso	
Casa	91,7 (22)	Zinc	87,5 (21)	Repellada	4,2 (1)	Tierra	91,7 (22)
Improvisada	8,3 (2)	Tejas	8,3 (2)	Madera	8,3 (2)	Embaldosada	8,3 (2)
		Paja	4,2 (1)	Taquezal	87,5 (21)		



Figura 24. Fotografías de las viviendas de la Comunidad El Cacao. (A) Casa con paredes de taquezal. (B) La única casa con paredes repelladas.

▪ **Servicios básicos que tienen las viviendas de la comunidad El Cacao**

En cuanto a los servicios básicos (Figura 25), solamente el 4,2% (1 casa) posee energía eléctrica suministrada por paneles solares, el 95,8% correspondiente a 23 casas no tienen energía eléctrica. Un 83,3% tienen letrina para sus necesidades fisiológicas, pero todavía existe un 16,7%, (4 casas) que recurren al fecalismo al aire libre; con respecto al uso del celular, el 50% de las viviendas utilizan estos dispositivos.

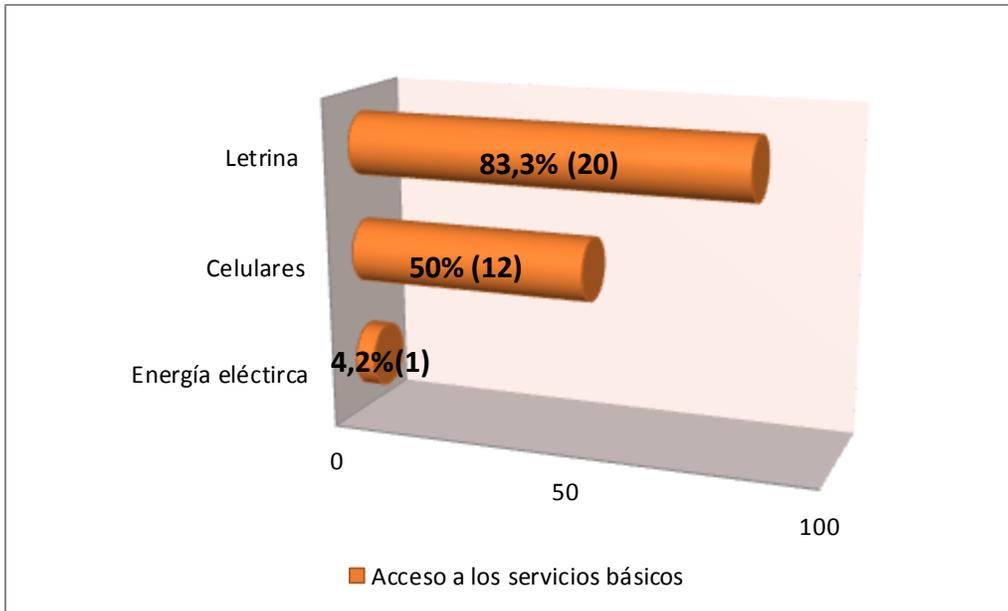


Figura 25. Acceso a los servicios básicos por casa en la comunidad El Cacao.

9.8. Anexo H. Cálculos de caudales y velocidades en la pila de captación y en la llave de chorro

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal, m³/s o L/h.
v: Volumen, m³ o L.
t: Tiempo, h o s.

▪ Caudal en la pila de captación (Punto 1)

Se consideraron los datos de volumen y tiempo proporcionados por el coordinador de la comunidad.

$$V = 20 \text{ L}$$
$$t = 20 \text{ min}$$

Convirtiendo litros a metros cúbicos

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \text{-----} 1000 \text{ L} \\ X \text{-----} 20 \text{ L} \end{array}$$

$$X = 0.02 \text{ m}^3$$

Convirtiendo de minutos a segundos

$$\begin{array}{l} 1 \text{ min} \text{-----} 60 \text{ s} \\ 20 \text{ min} \text{-----} X \end{array}$$

$$X = 1200 \text{ s}$$

Donde:

$$Q = \frac{V}{t} \implies 0.02 \text{ m}^3 / 1200\text{s}$$

$$Q = 0.0000166 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Caudal en la llave de chorro (Punto 3)**

Se consideró el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de 600 mL.

Media del tiempo

$$X_1 = 3.83$$

$$X_2 = 3.85$$

$$X_3 = 3.83$$

$$X_4 = 3.84$$

$$X_5 = 3.84 \quad \Sigma 19.19 / 5 \quad \Longrightarrow \quad X_m = 3.84s$$

Volumen

Convirtiendo de mililitros a litros

$$1L \text{-----} 1000 \text{ mL}$$

$$X \text{-----} 600 \text{ mL}$$

$$X = 0.6L$$

Convirtiendo de litros a metros cúbicos

$$1m^3 \text{-----} 1000 \text{ L}$$

$$X \text{-----} 0.6 \text{ L}$$

$$X = 0.0006m^3$$

- **Ecuación del caudal en la llave de chorro (Punto 3)**

Donde:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \Longrightarrow \quad 0.0006 \text{ m}^3 / 3.84s$$

$$Q = 0.000156 \text{ m}^3/s$$

- Cálculos de velocidad en la pila de captación y en la llave de chorro

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m}{s} \quad (2)$$

- Encontrando área en el (Punto 1)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

$$d = 2''$$

Convirtiendo de pulgadas a metros

$$1'' \text{-----} 0.0254 \text{ m}$$

$$2'' \text{-----} X$$

$$X = 0.05 \text{ m}$$

Donde:

$$A = \frac{(\pi)(0.05m)^2}{4}$$

$$A = 0.00196m^2$$

$$v = \frac{0.0000166 \frac{m^3}{s}}{0.00196m^2}$$

$$v = 0.00846 \frac{m}{s}$$

▪ **Velocidad en la llave de chorro (Punto 3)**

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{m}{s} \quad (2)$$

▪ **Encontrando área en el (Punto 1)**

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

$$d = \frac{1}{2}''$$

Convirtiendo de pulgadas a metros

$$\begin{array}{l} 1'' \text{ ----- } 0.0254 \text{ m} \\ \frac{1}{2}'' \text{ ----- } X \end{array}$$

$$X = 0.0125 \text{ m}$$

Donde:

$$A = \frac{(\pi)(0.0125m)^2}{4}$$

$$A = 0.000122m^2$$

$$v = \frac{0.0000166 \frac{m^3}{s}}{0.000122m^2}$$

$$v = 1.27868 \frac{m}{s}$$

9.9. Anexo I. Parámetros para determinar los niveles de calidad exigibles de los cuerpos de agua, de acuerdo a la categoría para uso doméstico

Parámetro	Límite o rango máximo	
	Categoría 1 A	Categoría 1 B
Oxígeno disuelto (OD)	> 4.0 mg/l (*)	> 4.0 mg/l (*)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ , 20)	2.0 mg/l	5.0 mg/l
pH	mín. 6.0 y máx. 8.5	mín. 6.0 y máx. 8.5
Color real	< 15 U Pt-Co	< 150 U Pt-Co
Turbiedad	< 5 UNT	< 250 UNT
Fluoruros	mín 0.7 y máx. 1.5	< 1.7 mg/l
Hierro Total	0.3 mg/l	3 mg/l
Mercurio Total	0.001 mg/l	0.01 mg/l
Plomo Total	0.01 mg/l	0.05 mg/l
Sólidos Totales disueltos	1000 mg/l	1500 mg/l
Sulfatos	250 mg/l	400 mg/l
Zinc	3 mg/l	5 mg/l
Cloruros	250 mg/l	600 mg/l
Organismos Colif. Totales	(**)	(***)

* También puede ser expresado como porcentaje de saturación y debe ser mayor de 50%.

(**) Promedio mensual menor de 2000 NMP por cada 100 ml.

(***) Promedio mensual menor de 10000 NMP por cada 100 ml.

Categorías 1A y 1B (Continuación)

Parámetro	Límite o rango máximo
Cianuro total	0.1 mg/l
Cobre total	2.0 mg/l
Cromo total	0.05 mg/l
Detergentes	1.0 mg/l
Dispersantes	1.0 mg/l
Dureza como CaCO ₃	400 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0.15 mg/l
Fenoles	0.002 mg/l
Manganeso total	0.5 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10.0 mg/l
Plata total	0.05 mg/l
Selenio	0.01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Organofosforados y Carbamatos	0.1 mg/l
Organoclorados	0.2 mg/l
Actividad α	max. 0.1 becquerelio por litro (Bq/l)
Actividad β	max. 1.0 becquerelio por litro (Bq/l)

Fuente: INAA, NTON 05-007-98.

X. LISTA DE ABREVIATURAS

A: Adenina.

ADN: Ácido Desoxirribonucleico.

APHA: American Public Health Association.

ARNr: ARN ribosómico.

AWWA: American Water Works Association.

BIBI: Bioinformatic Bacterial Identification.

C: Citosina.

°C: Grados Celsius.

cm: Centímetros.

Caldo EC: Caldo *Escherichia coli*.

Caldo EC+MUG: Caldo *Escherichia coli* más metil umberiferil glucurónido.

CAPRE: Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana.

CISTA: Centro de Investigación en Salud, Trabajo y Ambiente.

DDT: Dicloro Difenil Tricloroetano.

ECEH: *Escherichia coli* enterohemorrágica.

ECEI: *Escherichia coli* enteroinvasiva.

ECEP: *Escherichia coli* enteropatógena.

ECET: *Escherichia coli* enteroxigénica.

E. Coli: *Escherichia coli*.

EDTA: Ácido Etilendiaminotetraacético.

ENPHO: Organización del Medio Ambiente y de la Salud Pública.

EPA: Environmental Protection Agency.

G: Guanina.

INIDE: Instituto Nacional de Información de Desarrollo.

Km: kilómetro.

LB: Luria Bertani.

MIT: Instituto Tecnológico de Massachussets.

mm: milímetros.

NCBI: Nacional Center for Biotechnology Information.

NMP: Número más Probable.

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

THMs: Triahalometanos.

pb: Pares de bases.

PCR: Reacción en Cadena de la Polimerasa.

PDA: Potato Dextrosa Agar.

pH: Potencial de Hidrógeno.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente.

Q: Caudal.

RIDOM: Ribosomal Differentiation of Medical Microorganisms.

RWSSSP: Programa de Apoyo para el Agua y Saneamiento.

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences.

t: Tiempo.

T: Timina.

UNAG: Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos.

v: Volumen.

WPCF: Water Pollution Control Facility.

µS/cm: Microsiemens por centímetros.