



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ**

**MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE  
CONSUMO HUMANO EN LA COMUNIDAD DE Balsa EN  
MEDIO**

**AUTORA:**

**RENDÓN CHAVARRÍA MARÍA MONSERRATE**

**TUTOR:**

**ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, PhD.**

**CALCETA, DICIEMBRE 2019**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

MARÍA MONSERRATE RENDÓN CHAVARRÍA, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

---

**MARÍA MONSERRATE RENDÓN CHAVARRÍA**

## **CERTIFICACIÓN DE TUTOR**

**ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ**, certifica haber tutelado proyecto **EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA COMUNIDAD DE Balsa en Medio**, que ha sido desarrollada por **MARÍA MONSERRATE RENDÓN CHAVARRÍA**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D.**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA COMUNIDAD DE Balsa en Medio**, que ha sido propuesta, desarrollada por **MARÍA MONSERRATE RENDÓN CHAVARRÍA**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

**MIEMBRO**  
**ING. CARLOS FABIÁN SOLÓRZANO**  
**SOLÓRZANO MG.**

---

**MIEMBRO**  
**ING. JULIO ABEL LOUREIRO**  
**SALABARRÍA MG.**

---

**PRESIDENTA**  
**DRA. AIDA MAILIE DE LA CRUZ BALÓN MG.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecirme mi vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. También son mi motor y mi mayor inspiración que a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino.

A mis hermanos Juan José y Jacinta Lorenza Rendón Chavarría por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes.

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos. A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar mi proyecto de vida. “La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers.

## CONTENIDO GENERAL

<b>DERECHOS DE AUTORÍA.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....</b>	<b>iii</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>CONTENIDO GENERAL .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>ix</b>
<b>PALABRAS CLAVES:.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>KEY WORDS: .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPITULO I. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. VARIABLES.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. AGUA DE CONSUMO HUMANO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. POZO ARTESIANO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE POZOS EN COMUNIDADES .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. EL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y LA SALUD PÚBLICA .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6. PRINCIPALES ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA DE CONSUMO HUMANO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.7. LÍMITES PERMISIBLES TULSMA .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. UBICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4. MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5. TÉCNICAS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6. PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>20</b>

<b>3.6.1. FASE 1. SELECCIÓN DE LOS HOGARES PARA EL MONITOREO DEL AGUA DE POZO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6.2. FASE 2. SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS VALORES LÍMITES SUPERIORES DE LOS PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO .....</b>	<b>21</b>
<b>3.6.3. FASE 3. ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS APLICANDO EL MÉTODO DE OBSERVACIÓN Y LA TÉCNICA DE LA ENTREVISTA.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6.4. FASE 4. DETERMINACIÓN, LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA COMUNIDAD DE Balsa EN MEDIO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.5. FASE 5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON LOS LÍMITES SUPERIORES PERMISIBLES .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6.6. FASE 6. RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO CON LA SALUD DE LA POBLACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN POZOS DE AGUA.</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## RESUMEN

Se evaluó la relación entre calidad del agua de consumo humano extraída de pozos en la comunidad de Balsa en Medio y la salud de la población, empleando como referencia los límites establecidos en el TULSMA, contrastando la hipótesis de que la misma influye negativamente en la salud y que no cumple con dichos límites. Se muestrearon 8 pozos artesianos cuyas aguas fueron sometidas a análisis de laboratorio, con base en las técnicas descritas en los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas residuales, midiéndose 14 parámetros indicadores de calidad, cuyos valores medios, en mg/l, fueron 6,58 para el pH, 200 para la Dureza, 459 para los Sólidos Disueltos Totales, 2,20 para el Nitrato, 4,66 para el Oxígeno disuelto, 10 para la DBO5 a 20°C, 21,50 para Salinidad, 0,75 para el Fluoruro, 0,56 para el Hierro, 0,41 para el Cobre, menos de 0,01 para el Cadmio, 0,02 para el plomo, 102 para los Coliformes Totales y, 17 para los Coliformes Fecales, estos dos últimos medidos como NMP/100 ml. Los valores individuales para cada pozo fueron aproximadamente correspondientes con los promedios y, los resultados relativamente bajos del Coeficiente de Variación indicaron una apreciable homogeneidad en cuanto a la calidad del agua de las diferentes fuentes bajo estudio. También se aplicó la observación in situ y la técnica de entrevista a los jefes de núcleo propietarios de los pozos (percepción ciudadana), determinándose que las principales negatividades consisten en las posibilidades de contaminación por la cercanía de letrinas u otros dispositivos de manejo de heces fecales y orina, así como por el merodeo de animales domésticos y otros. Consideran que hay posibilidades de contaminación por inclusión de arrastre de agua de lluvia, así como deficiencias en la cantidad abastecida, apariencia en ocasiones no satisfactoria y falta de chequeo de su calidad. Algunos usuarios prefieren la adquisición de agua embotellada. El déficit de Oxígeno Disuelto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los Coliformes Totales, están significativamente por sobre los límites máximos normados. No se detectaron problemas de salud relacionados con la calidad del agua de consumo humano.

### **PALABRAS CLAVES:**

Calidad del agua, contaminación del agua, indicadores de calidad, pozo artesiano, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Totales.

## ABSTRACT

It was evaluated the relationship between the quality of water for human consumption extracted from wells in the community of Balsa en Medio and the population health, using as reference the limits established in the TULSMA, contrasting the hypothesis that it does not comply with these limits. It was sampled 8 artesian wells whose waters were subjected to laboratory analysis, based on the techniques described in the Standard Methods for Water and Wastewater Analysis, measuring 14 quality indicator parameters, whose average values, in mg/l, were 6,58 for pH; 200 for Hardness; 459 for Total Dissolved Solids; 2,20 for Nitrate; 4,66 for Dissolved Oxygen; 10 for BOD<sub>5</sub> at 20°C; 21,50 for Salinity; 0,75 for Fluoride; 0,56 for Iron, 0,41 for Copper; less than 0,01 for the Cadmium; 0,02 for lead; 102 for Total Coliforms and, 17 for the Fecal Coliforms, these last two measured as NMP/100 ml. The individual values for each well were approximately corresponding to the averages and, the relatively low results of the Variation Coefficient indicated an appreciable homogeneity in terms of the water quality of the different sources under study. Observation in situ and interview technique were also applied to the well owners (citizen perception), determining that the main negativities consist in the possibilities of contamination by the proximity of latrines or other stool handling devices and urine, as well as by the prowling of domestic animals and others. They consider that there are possibilities of contamination by inclusion of rainwater drag, as well as deficiencies in the quantity supplied, sometimes unsatisfactory appearance and lack of quality check. Some users prefer the purchase of bottled water. The deficit of Dissolved Oxygen, the Biochemical Oxygen Demand and the Total Coliforms, are significantly above the normed maximum limits. No health problems related to the quality of water for human consumption were detected.

### KEY WORDS:

Water quality, water pollution, quality indicators, artesian well, Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand, Total Coliforms.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

A nivel mundial, en el transcurrir del tiempo y, particularmente en los últimos 60 años, se han estado elaborando criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico, que tienen como propósito la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua y, así preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas, sus interrelaciones y, del ambiente en general.

En todos los países se aplican leyes y normas sobre calidad de las aguas de consumo humano, cuyos orígenes son los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución, pozos y tanqueros. Estas conceptualizan en breves palabras que el agua potable es aquella cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano; mientras que el agua cruda es la que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido tratamiento alguno para modificar dichas características.

Asimismo, la normativa establece lo que se conoce como límite máximo permitido, que representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

En el Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medioambiental del Ecuador (Presidencia de La República, 2015), en su Libro VI, Anexo I, así como por la OMS, se establecen los límites máximos permisibles para el agua de consumo humano, expresándose que el agua subterránea es toda agua del subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica. Es el caso que ocupa a la investigación que se propone desarrollar.

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (2006), en general, en la provincia de Manabí, la estación seca tiene una marcada duración

de 8 meses al año, lo que causa que las fuentes de agua superficial sean escasas y, en ocasiones, nulas. Los embalses como La Esperanza, Poza Honda y Daule Peripa no satisfacen los requerimientos de la población y el desarrollo de aguas subterráneas es muy limitado y sin planificación alguna, por lo que se hace necesario emprender acciones que permitan técnica y sosteniblemente, investigar la presencia de zonas acuíferas, con el fin de mejorar las condiciones de vida de las comunidades.

La comunidad de Balsa en Medio no escapa a esta situación, siendo el agua subterránea, a través de pozos artesianos, la fuente de abastecimiento casero de agua posiblemente potable. La comunidad no tiene información confiable acerca de las características del agua de pozos que consumen, ni de la relación que hay entre dichas características y la aparición de enfermedades, sobre todo, gastrointestinales y de la piel. Por lo que se deduce la siguiente interrogante:

¿Cómo se relaciona la calidad del agua de consumo humano en la comunidad Balsa en Medio con la establecida en la normativa correspondiente y con la salud de la población?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En el estudio propuesto, la interrogante de por qué y para qué se investiga, cuya respuesta accede a la justificación del mismo, se responde a través de dos de tres utilidades posibles, la práctica y la metodológica.

Desde el punto de vista práctico, los resultados de la investigación beneficiarán a la población de la comunidad de Balsa en Medio, a través de la certidumbre a obtenida sobre la calidad del agua que consumen, lo cual permitirá la elaboración y ejecución de medidas dirigidas al mejoramiento, de comprobarse su necesidad, de las características en cuanto a la potabilidad del agua disponible en las fuentes utilizadas en dicha comunidad.

Metodológicamente hablando, puede considerarse que los métodos, técnicas, herramientas, instrumentos, etc., a utilizar en la investigación, podrán ser extrapolados a otros contextos poblacionales, como otras comunidades vecinas del territorio, así como a poblaciones ubicadas geográficamente en localidades

no relacionadas con la que se encuentra bajo estudio, y que presenten o se sospecha presentan negatividades análogas a las que en Balsa en Medio existen.

Desde el ángulo legal, la Constitución de la República del Ecuador (2008), establece que toda la población del país tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano, lo que incluye a un aire limpio, un suelo de calidad suficiente para el sostenimiento de todas las formas de vida y, un líquido vital con características necesarias y suficientes como para servir para su consumo, tanto en ingestión como en usos domésticos y productivos. Asimismo, se ha establecido un cuerpo legal a través del instrumento legal TULSMA, ya mencionado y referido.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la relación entre calidad del agua de consumo humano extraída de pozos en la comunidad de Balsa en Medio y la salud de la población, empleando como referencia los límites establecidos en el TULSMA.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Identificar, empleando el instrumento legal correspondiente, los valores límites superiores de los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad de Balsa en Medio.
- ✓ Estimar la calidad del agua de consumo humano.
- ✓ Relacionar la calidad del agua de consumo humano con la salud de la población.
- ✓ Determinar, utilizando los métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (APHA, 2015), los valores de los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano en la comunidad de Balsa en Medio, así como la percepción ciudadana mediante el método de observación y la técnica de la entrevista.

- ✓ Comparar los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo en la comunidad de Balsa en Medio, con los identificados en el instrumento legal seleccionado.

## **1.4. HIPÓTESIS**

El agua de consumo humano en la comunidad de Balsa en Medio influye negativamente en la salud de la población y no cumple con los límites establecidos por el TULSMA, para los parámetros más importantes indicadores de su calidad.

## **1.5. VARIABLES**

### **1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Calidad del agua de consumo humano.

### **1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Salud de la población.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. AGUA DE CONSUMO HUMANO**

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficiales o subterráneas, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como: bebida y preparación de alimentos para consumo humano, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios. (Rodríguez – Lado *et al.*, 2013) realizaron el trabajaron sobre la complejidad del agua de pozo y su potabilidad en China, desarrollando un modelo estadístico de riesgo con respecto a la contaminación por arsénico, clasificando las áreas como seguras o inseguras para el consumo de agua de pozos.

En España, el Real Decreto 140/2003 (Ministerio de la Presidencia, 2003), de 7 de febrero, se establecen la definición de agua de consumo humano, así como los criterios sanitarios de la calidad de las aguas de consumo humano. Así, se plantea que son:

- a) Todas aquellas aguas, ya sea en su estado original, ya sea después del tratamiento, utilizadas para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y para otros usos domésticos, sea cual fuere su origen e independientemente de que se suministren al consumidor, a través de redes de distribución públicas o privadas, de cisternas, de depósitos públicos o privados.
- b) Todas aquellas aguas utilizadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, así como a las utilizadas en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos.
- c) Todas aquellas aguas suministradas para consumo humano como parte de una actividad comercial o pública, con independencia del volumen medio diario de agua suministrado.

En el 2015, el Instituto federal suizo de ciencia acuática y tecnología (Eawag), estableció la relativamente alta peligrosidad del arsénico y del fluoruro para la salud humana, en el agua de beber.

## **2.2. POZO ARTESIANO**

El pozo artesiano es el pozo perforado hasta un punto, generalmente a gran profundidad, en el que la presión del agua es grande. A menudo esto supone que al pinchar el acuífero el agua sale por presión hasta la superficie, en cuyo caso se habla de pozo artesiano surgente. El nombre deriva del de la región francesa de Artois donde, en 1126, fue perforado el pozo más antiguo de Europa. (Vilanova, 1861). En las zonas rurales de países en desarrollo, donde hay escasez de suministros de agua utilizable para el consumo humano, se practican los pozos artesianos manuales, excepto en los casos más modernos, mediante la excavación manual del suelo (con picos, palas, etc.). En general son poco profundos (entre 8 y 20 metros). Debido a esta escasa profundidad, son los que presentan mayor riesgo de contaminación. (RÉFEA , s/f).

## **2.3. CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE POZOS EN COMUNIDADES**

En general se considera que el agua subterránea es toda la que se encuentra en el subsuelo, que se encuentra en la zona de saturación (se sitúa debajo del nivel freático donde todos los espacios abiertos están llenos con agua, con una presión igual o mayor que la atmosférica).

Bracho y Fernández (2017) investigaron la potabilidad del agua para consumo humano en la comunidad de San Valentín, ubicada en el sector Ancón Bajo II, en el municipio venezolano de Maracaibo. Los resultados obtenidos mediante técnicas estándar fueron comparados con los valores establecidos como aceptables por las normas sanitarias venezolanas para la calidad del agua potable y los catálogos de calidad de agua emitidos por la Organización Mundial de la Salud. Concluyeron que el agua de la tubería de aducción requiere tratamiento convencional completo para su purificación, mientras que el agua de los pozos requiere tratamiento de desalinización y, que la cañada Irragorry está

altamente contaminada por lo que no es una opción como fuente de abastecimiento.

González y otros (2007) estudiaron la calidad del agua de consumo humano del sector rural noreste de León, Nicaragua. Los análisis microbiológicos mostraron que un 96% de los resultados no cumplieron con los requisitos establecidos en las normas CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana); el 97% de las muestras estaban contaminadas; el 19% de los pozos presentaba contaminación físico – química y el 31% de ellos mostraron contaminación con plaguicidas. La contaminación microbiana la relacionaron con la presencia de animales cerca del pozo. La físico – química por introducciones directas de mecates (cuerda hecha de fibras de maguey, planta de hojas radicales largas) contaminadas a los pozos.

Castillo (2013) evaluó la calidad organoléptica, bacteriológica y fisicoquímica del agua en el sistema de abastecimiento del casco urbano del municipio de La Concordia durante cinco semanas en los meses de abril y junio del 2013, tomando como referencia las normas CAPRE, en el sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua. Concluyeron que el sistema presenta serias deficiencias de administración, operación y mantenimiento que deterioran la calidad del agua, encontrándose además una alta vulnerabilidad del sistema ante la contaminación microbiana. Así mismo verificaron que la calidad del agua disminuye por el efecto de las escorrentías producto de las precipitaciones, que arrastran material sedimentario e incrementan los niveles de turbiedad a cantidades muy por encima de las recomendadas por las normas CAPRE, con lo cual la cloración es ineficiente aun cuando se dosifique con las cantidades recomendadas.

En general, Zhen (2009) concluyó que la mayoría de la materia orgánica presente en el agua para consumo humano se encuentra en forma de sólidos disueltos y consiste en sales y gases disueltos. Los iones predominantes son el bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias influyen sobre otras características del agua, tales como el sabor, dureza y tendencias a la incrustación.

## **2.4. EL AGUA DE CONSUMO HUMANO Y LA SALUD PÚBLICA**

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales, y junto con el aire, el suelo y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda.

La finalidad principal de las Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano (OMS, 2011) es la protección de la salud pública. Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo humano representan una carga importante en la salud humana. Las intervenciones para mejorar la calidad del agua de consumo humano proporcionan beneficios significativos para la salud. Muchos componentes microbiológicos y químicos del agua de consumo humano pueden causar potencialmente efectos adversos en la salud humana.

La detección de estos componentes, tanto en el agua cruda como en el agua que se provee a los consumidores es a menudo lenta, compleja y costosa, lo que limita la capacidad de alerta temprana y la asequibilidad. La confianza en la determinación de la calidad del agua por sí sola no es suficiente para proteger la salud pública. Además, no es factible, en términos prácticos y económicos, analizar todos los parámetros de calidad del agua de consumo humano, por lo que el uso de los esfuerzos de monitoreo y de los recursos se debe planificar cuidadosamente y dirigir a las características claves o significativas.

Los estándares nacionales de calidad de agua potable se concentran en el establecimiento de límites para regular los contaminantes que presentan un alto riesgo de afectar la salud pública, al mismo tiempo que su establecimiento se basa en su factibilidad según los recursos económicos y ambientales disponibles por cada país.

## **2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO**

### **2.5.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO**

El potencial de hidrógeno (pH), es el término que se refiere a la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez o por el contrario, la basicidad de una disolución. Se define como el logaritmo en base diez de la concentración de iones hidrógeno, ( $H^+$ ), cambiado de signo:

$$pH = -\log c(H^+)$$

Donde  $[H^+]$  es la concentración de iones hidrógeno en moles por decímetro cúbico de disolución, más bien, agua. Como los iones  $H^+$  se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio ( $H_3O^+$ ), el pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio:

$$pH = -\log c(H_3O^+)$$

En agua pura a 25 °C de temperatura, existen cantidades iguales de iones  $H_3O^+$  y de iones hidróxido ( $OH^-$ ); la concentración de cada uno es  $10^{-7}$  moles/dm<sup>3</sup>. Por lo tanto, el pH del agua pura es  $-\log(10^{-7})$ , que equivale a 7,0. Sin embargo, al añadirle un ácido al agua, se forma un exceso de iones  $H_3O^+$ ; en consecuencia, su concentración puede variar entre  $10^{-6}$  y  $10^{-1}$  moles/dm<sup>3</sup>, dependiendo del ácido. Así, las disoluciones ácidas tienen un pH que varía desde 6,99 (ácido débil) hasta 1 (ácido fuerte). En cambio, una disolución básica tiene una concentración baja de iones  $H_3O^+$  y un exceso de iones  $OH^-$ , y el pH varía desde 7,01 (base débil) hasta 14 (base fuerte). (De la Cruz, 2011)

### 2.5.2. DUREZA

El término dureza del agua se refiere a la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. Estos minerales tienen su origen en las formaciones rocosas calcáreas, y pueden ser encontrados, en mayor o menor grado, en la mayoría de las aguas naturales. A veces se da como límite para denominar a un agua como dura una dureza superior a 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Veamos que sucede con la dureza en las aguas naturales.

La dureza del agua se reconoció originalmente por la capacidad que tiene el agua para precipitar el jabón, esto es, las aguas requieren de grandes cantidades de jabón para producir espuma. La dureza de las aguas naturales es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio. También llamada grado hidrotimétrico, la dureza corresponde a la suma de las concentraciones de

cationes metálicos excepto los metales alcalinos y el ion hidrógeno. En la mayoría de los casos se debe principalmente a la presencia de iones calcio y magnesio, y algunas veces otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza como son, estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado ya que generalmente están contenidos en pequeñas cantidades.

El agua adquiere la dureza cuando pasa a través de las formaciones geológicas que contienen los elementos minerales que la producen y por su poder solvente los disuelve e incorpora. El agua adquiere el poder solvente, debido a las condiciones ácidas que se desarrollan a su paso por la capa de suelo, donde la acción de las bacterias genera  $\text{CO}_2$ , el cual existe en equilibrio con el ácido carbónico. En estas condiciones de pH bajo, el agua ataca las rocas, particularmente a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), entrando los compuestos en solución. (Rodríguez y Rodríguez, 2010).

### **2.5.3. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES**

Son el conjunto de todos los sólidos en disolución, tanto volátil como no volátil, en el agua. Los SDT se pueden definir como los sólidos que quedan como residuo al evaporar agua, antes filtrada a un nivel de 2 micras y, secar el residuo. Los sólidos suelen ser en su mayoría de origen inorgánico, aunque también pueden presentarse algunos orgánicos. Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. (Organización Mundial de la Salud, 2003, Bustamante, 2013).

### **2.5.4. NITRATO**

Los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa ( $\text{NO}_3^-$ ), no tienen color ni sabor y se encuentran en la naturaleza disueltos en el agua. Su presencia natural en las aguas superficiales o subterráneas es consecuencia del ciclo natural del nitrógeno, sin embargo, en

determinadas zonas ha habido una alteración de este ciclo en el sentido de que se ha producido un aumento en la concentración de nitratos, debido fundamentalmente a un excesivo uso de abonos nitrogenados y a su posterior arrastre por las aguas de lluvia o riegos.

Los efectos nocivos de los nitratos sobre la salud humana, aunque se conocen desde la mitad del siglo XX, no están totalmente claros. Así, en 1945 Comly relacionó la cianosis (falta de oxígeno en la sangre) de los niños, de 33 a 27 días de edad, con los nitratos del agua de un pozo, lo que dio pie a que se abriese una larga controversia sobre la toxicidad de los mismos en el organismo. De hecho, los nitratos como tales no son tóxicos, incluso a dosis considerables, ya que son eliminados por el riñón. El problema es que, en el organismo, especialmente en personas con problemas gástricos o en niños de menos de tres meses, el nitrato puede reducirse a nitrito, el cual se absorbe en los glóbulos rojos de la sangre, oxidando el hierro de la hemoglobina a metahemoglobina, disminuyendo la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno. Asimismo, algún tipo de cáncer del tracto gastrointestinal ha sido atribuido a la acción de compuestos nitrosos, formados en el interior del organismo a partir de los nitritos, los que a su vez proceden de la reducción de los nitratos consumidos con el agua. Es por ello que para que un acuífero sirva de abastecimiento a una población es obligatorio que contenga menos de 50 mg/dm<sup>3</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y si los contiene, éstos deben ser eliminados antes de que el agua llegue al consumidor. (Palomares, 2013).

#### **2.5.5. OXÍGENO DISUELTO**

El (OD), es el oxígeno que está disuelto en el agua y es más importante en las aguas superficiales que soportan la vida acuática. La disolución del oxígeno en agua se produce por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos; y como un producto de desecho de la fotosíntesis. El oxígeno afecta a un vasto número de indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como el olor, claridad del agua, y sabor. Consecuentemente, el oxígeno es quizás el más estabilizado de los indicadores de calidad de agua. El oxígeno disuelto afecta al suministro de agua. Un alto nivel de oxígeno disuelto en una comunidad de suministro de agua es bueno porque esto hace que el

gusto del agua sea mejor. La concentración de OD disminuye al aumentar la temperatura del agua.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación. Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de aguas residuales ya sean de origen doméstico, agropecuario, industrial u otros) está en descomposición. Las bacterias que se encuentran en el agua requieren oxígeno disuelto para biooxidar la materia orgánica en ella y, por lo tanto, la concentración de este en el agua. (Milacron Mexicana Sales S. A. de C. V., 2004).

#### **2.5.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (5 DÍAS) A 20°C**

La demanda bioquímica de oxígeno es importante porque muestra la cantidad de materia orgánica presente en el agua. Es la medida que representa la cantidad de oxígeno que se consumiría si las bacterias y los protozoos oxidaran toda la materia orgánica existente en un litro de agua. Si el nivel es demasiado bajo, los organismos acuáticos quedarían en situación de riesgo. Es una prueba que se realiza normalmente en 5 días y a 20°C. En una corriente de agua, una concentración de DBO<sub>5</sub> por sobre los 5 mg/dm<sup>3</sup> es indicativa de contaminación por materia orgánica, particularmente soluble. (Metcalf y Eddy Inc., 1995).

#### **2.5.7. METALES PESADOS**

Los metales pesados, también llamados tóxicos, son aquellos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Algunos metales son indispensables para el cuerpo humano – *en bajas concentraciones* – ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones. Entre ellos se encuentran Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn).

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando numerosos

efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas. Se incorporan con los alimentos o como partículas que se respiran y se van acumulando en el organismo, hasta llegar a límites de toxicidad. Si la incorporación es lenta se producen intoxicaciones crónicas, que dañan los tejidos u órganos en los que se acumulan.

Durante muchos años se usaba el óxido de plomo como pigmento blanco en las pinturas (hoy reemplazado por óxido de titanio). Durante la combustión de éstas, las partículas del metal pasan al aire y quedan en el polvo de los caminos. Se usa en soldaduras y como cobertura maleable de algunas pilas, y como elementos en las baterías de los autos.

El mercurio se usa puro o en forma de amalgamas. Su uso en la medicina dental y en algunas pilas es frecuente. El cadmio se usa en diversas aleaciones y también en pilas. La mayor parte de agua que consumimos viene del suelo. El agua toma las propiedades del suelo de donde proviene. Por eso es importante tener un sistema de filtración que sea capaz de remover eficientemente Metales Pesados, si es que son detectados en pruebas de calidad. (PURAMATIC, 2018).

#### **2.5.8. COLIFORMES TOTALES Y FECALES**

Las bacterias Coliformes son un grupo de microorganismos relativamente inofensivos que viven en grandes cantidades en los intestinos de seres humanos y animales de sangre caliente o fría. Colaboran en la digestión de alimentos. Las bacterias Coliformes Fecales son un subgrupo específico en el que la más común es la *Escherichia-coli*. Por su capacidad de crecer a temperaturas elevadas, estos organismos se pueden separar del grupo Coliformes y se asocian solamente con la materia fecal de animales de sangre caliente.

La presencia de bacterias Coliformes Fecales indica que el agua está contaminada con materia fecal de seres humanos o animales. En ese momento, el agua de origen puede haber estado contaminada con patógenos o con bacterias o virus que producen enfermedades, que también pueden existir en la materia fecal. Entre las enfermedades patógenas que se transmiten por el agua podemos mencionar la fiebre tifoidea, la gastroenteritis viral y bacteriana y la hepatitis A. La presencia de contaminación fecal indica que existe riesgo potencial para la salud de los individuos expuestos a esta agua. Las bacterias

Coliformes fecales pueden aparecer en las aguas ambientales debido al desborde de aguas residuales domésticas o provenientes de fuentes no específicas de desecho humano y animal. Concentraciones de Coliformes Totales superiores a 3000 células/100 cm<sup>3</sup> presuponen una presencia importante de Coliformes Fecales. (Acevedo, Severiche y Castillo, 2013).

## **2.6. PRINCIPALES ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA DE CONSUMO HUMANO**

Las enfermedades gastrointestinales son aquellas que atacan el estómago y los intestinos; en general, son ocasionadas por bacterias, parásitos, virus y ciertos alimentos, aunque algunos medicamentos también pueden provocarlas. Entre los síntomas más comunes de estas enfermedades están la diarrea y su consiguiente deshidratación, la cual, si no se atiende, puede convertirse en un problema mortal especialmente en el caso de los niños y los adultos mayores.

Es sabido que la contaminación hídrica es una de las principales fuentes de enfermedad gastrointestinales en niños menores de un año; padecimientos causados por bacterias, virus y protozoarios patógenos que se dispersan a través de la ruta fecal-oral y que potencialmente pueden ser transmitidos por el agua de consumo, utilizada para diversas actividades en el hogar (higiene personal, y recreación). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80 % de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por éstas, se deben al uso y consumo de agua contaminada; este organismo internacional también reconoce que solo un 41 % de la población mundial consume agua tratada y desinfectada como para ser considerada “segura”. (Echarri, 2007).

Según la Organización Mundial de la Salud el 80 % de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales y una tercera parte de las defunciones causadas por éstas se deben al uso y consumo de agua insalubre, también reconoce este organismo internacional que solo un 41% de la población mundial consume agua tratada y desinfectada como para ser considerada “segura”. En congruencia con lo anterior en los países donde las enfermedades microbianas y las parasitarias muestran elevados índices de prevalencia, la

importancia primaria de la calidad del agua para uso y consumo humano está centrada en las características microbiológicas y se considera que la contaminación química al no estar asociada con efectos inmediatos y agudos tiene una importancia secundaria. (Castillo, 2005)

El agua, el saneamiento y la higiene tienen consecuencias importantes sobre la salud y la enfermedad. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos. (OMS, 2018)

Según OXFAM Intermón (2017), la conciencia sobre la importancia del derecho al agua empieza en el momento en que la población se informa sobre ello. A continuación, se describirán algunas de las enfermedades transmitidas por el agua contaminada:

- ✓ **Diarrea:** provoca que las personas pierdan líquido y electrolitos, lo que supone la deshidratación y lleva en algunos casos a causar la muerte en el paciente. Los niños y las niñas que padecen episodios repetidos de esta dolencia son más vulnerables ante la desnutrición y otras enfermedades.
- ✓ **Disentería:** provocada por bacterias, esta enfermedad causa diarrea en los pacientes. En las personas adultas rara vez sucede, aunque bien es cierto que los niños y las niñas son sus principales víctimas.
- ✓ **Cólera:** es una infección bacteriana aguda del intestino que provoca numerosos episodios de diarrea y vómitos intensos, los cuales, a su vez, pueden generar deshidratación aguda y provocar la muerte.
- ✓ **Paludismo:** es una enfermedad provocada por un parásito transmitido a través ciertos tipos de mosquitos que habitan en zonas de aguas estancadas o en sitios donde el agua no goza de la calidad suficiente.
- ✓ **Esquistosomiasis:** esta anomalía es causada por parásitos que penetran la piel de las personas que se están lavando o bañando en fuentes de

agua contaminado, provocando infecciones que dañan el hígado, los intestinos, los pulmones y la vejiga, entre otros órganos.

- ✓ Tifus: enfermedad provocada por bacterias que causa fiebres, diarreas, vómitos e inflamación del bazo y del intestino.
- ✓ Tracoma: es una infección de los ojos provocada por las deficientes prácticas higiénicas debido a la falta de agua o la existencia de condiciones insalubres. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a ella.

Fiebre tifoidea: es una infección bacteriana causada por la ingesta de agua contaminada. Los pacientes a quienes se les diagnostica sufren dolor de cabeza, náuseas y pérdida de apetito, entre otros síntomas.

## 2.7. LÍMITES PERMISIBLES TULSMA

Son los valores máximos permitidos de los diferentes parámetros indicadores de la contaminación según lo normado en el TULSMA, en este caso para el agua, de consumo humano, que bien necesite tratamiento o desinfección. Por ejemplo, en el Libro VI Anexo 1, bajo la norma técnica ambiental dictada al amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, el TULSMA establece como límite máximo superior, una dureza al  $\text{CaCO}_3$  de 500 mg/dm<sup>3</sup>. Otros ejemplos de estos límites se presentan en el Cuadro 2.1, que se muestra a continuación.

**Cuadro 2.1.** Ejemplos de límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6 – 9
Dureza	$\text{CaCO}_3$	mg/l	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	1000
Nitrato	$\text{N} - \text{NO}_3^-$	mg/l	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	$\text{DBO}_5$	mg/l	2,0

Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	250
Fluoruro	F <sup>-</sup>	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	50
Coliformes Fecales	C. F.	NMP/100 ml	20 (40% de los C.T., TULSMA, 2015)

**Fuente:** TULSMA en Presidencia de la República, 2015.



### **3.3. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación será de alcance descriptivo con algunos elementos de “correlacional”, al describir la relación entre las variables, de una parte y, de la otra, establecer relaciones con base en la estadística inferencial, para demostrar la aceptación o rechazo de la hipótesis del estudio. Será no experimental, puesto que no se manipularán las variables de investigación, para obtener relaciones causa – efecto, vía experimentación.

### **3.4. MÉTODOS**

#### **3.4.1. DEDUCTIVO**

Mediante la utilización del método deductivo se propiciará la elaboración de conclusiones específicas para cada objetivo y por tanto para cada resultado de la investigación, partiendo de criterios más generales.

#### **3.4.2. INDUCTIVO**

A través del método inductivo se obtendrán conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se seguirán cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; propiciándose la derivación inductiva partiendo de los hechos y llegando a generalizaciones y a la contratación de la hipótesis.

#### **3.4.3. ANALÍTICO**

Este método se utilizó, al realizar la medición de parámetros indicadores de la contaminación y por tanto, de la calidad del agua, a través de análisis de laboratorio, aplicando las técnicas estandarizadas en APHA (2015).

### **3.5. TÉCNICAS**

#### **3.5.1. OBSERVACIÓN**

En este caso como no estructurada, la observación será utilizada mediante la visita a los pozos de las viviendas seleccionadas en la comunidad de Balsa en Medio, para constatar el aspecto general del agua cuyas muestras se enviarán al laboratorio de análisis, así como visualizar es estado general de los pozos y, la forma en que el agua se transporta de estos a las viviendas. Asimismo,

verificar posibilidades de contaminación de la fuente por cercanía de algún medio contaminante, como letrinas, desechos sólidos y otros. En el Anexo 2 se muestra la guía de observación.

### **3.5.2. ENTREVISTA**

La entrevista estará dirigida a los jefes de núcleos familiares, así como a las autoridades de la comunidad, con el propósito de ahondar en el conocimiento del estado del agua de consumo humano, particularmente desde el punto de vista de la percepción social. Por ejemplo, saber si culpan a la calidad del agua del padecimiento de alguna enfermedad gastrointestinal, dermatológica, etc. En el Anexo 3 se muestra la guía de entrevista a aplicar.

## **3.6. PROCEDIMIENTO**

### **3.6.1. FASE 1. SELECCIÓN DE LOS HOGARES PARA EL MONITOREO DEL AGUA DE POZO**

Se seleccionaron 8 hogares de los 31 que existen en la comunidad de Balsa en Medio. Estos 8 escogidos cuentan con pozos artesianos como fuente de agua para consumo humano. El cálculo de la muestra se realizó empleando la ecuación descrita por Jiménez et al. (1999).

$$n = \frac{N(P \cdot Q)}{(N-1) \frac{\alpha^2}{K^2} + (P \cdot Q)}$$

Dónde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$PQ$  = Probabilidad de ocurrencia por la de no ocurrencia =  $0,5 \times 0,5 = 0,25$

$N$  = tamaño de la población = 31 hogares

$\alpha$  = intervalo o nivel de confianza = 0,1 (90% de confianza)

$K$  = constante de corrección del error = 2

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$n = \frac{31(0,25)}{(30 - 1) \frac{0,1^2}{2^2} + 0,25}$$

$$n = 7,75 \cong 8 \text{ hogares o pozos}$$

### **3.6.2. FASE 2. SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS VALORES LÍMITES SUPERIORES DE LOS PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO**

#### **ACTIVIDAD 2.1. SELECCIÓN DEL CUERPO LEGAL A UTILIZAR**

Como primer paso se seleccionó el instrumento legal vigente para la verificación de la calidad del agua de consumo humano, en comparación con los límites superiores permitidos en los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano seleccionados. El instrumento legal escogido fue el TULSMA (2015). Los valores fueron mostrados en el Cuadro 2.1.

#### **ACTIVIDAD 2.2. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES**

Se seleccionaron los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano, limitando los mismos a su importancia y factibilidad económica dentro del estudio. En el Cuadro 2.1 se presentaron los 14 parámetros y sus límites superiores permitidos según TULSMA (2015).

### **3.6.3. FASE 3. ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS APLICANDO EL MÉTODO DE OBSERVACIÓN Y LA TÉCNICA DE LA ENTREVISTA**

#### **ACTIVIDAD 3.1. APLICACIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN**

Se realizó la observación visual in situ de los 8 pozos previamente seleccionados, considerando los diferentes puntos expresados en el instrumento guía de observación.

#### **ACTIVIDAD 3.2. APLICACIÓN DE LA GUÍA DE ENTREVISTA**

Se realizó la aplicación in situ del cuestionario o guía de entrevista a los propietarios de los 8 pozos previamente seleccionados, considerando los diferentes puntos expresados en el instrumento para esta técnica de investigación, con base a indagaciones sobre Derecho Ambiental y otros aspectos del entorno, planteados por González y Lorca (2004).

#### **3.6.4. FASE 4. DETERMINACIÓN, LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN LA COMUNIDAD DE Balsa EN MEDIO**

##### **ACTIVIDAD 4.1. MUESTREO**

Se tomaron muestras de agua de cada uno de los pozos de los 8 escogidos en la comunidad, mediante muestreo aleatorio simple, según estudios de Ochoa (2015), ya que la distribución espacial de los posibles contaminantes en los pozos presenta homogeneidad y, cualquier punto de muestreo presenta la misma probabilidad de ser seleccionado, es decir, es un procedimiento de muestreo horizontal. Las muestras se conservaron en recipientes herméticamente cerrados de 300 cm<sup>3</sup>, almacenados en neveras de poliespuma enfriadas con hielo seco (CO<sub>2</sub> sólido), hasta que fueron llevadas al laboratorio, según recomendaciones de este (LABCESTTA).

##### **ACTIVIDAD 4.2. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS**

Las muestras fueron analizadas en LABCESTTA (laboratorio certificado N° OAEE LE 2C 06 – 008), ubicado en la ciudad de Riobamba, provincia Chimborazo, donde se le practicarán las técnicas estándar para la determinación de los parámetros indicadores de la calidad del agua: Potencial de hidrógeno, Dureza, Sólidos disueltos totales, Nitrato, Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C, Cloruro, Fluoruro (total), Hierro (total), Cobre, Cadmio, Plomo (total) y, Coliformes Totales.

#### **3.6.5. FASE 5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON LOS LÍMITES SUPERIORES PERMISIBLES**

##### **ACTIVIDAD 5.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS CON LOS LÍMITES SUPERIORES PERMISIBLES**

Se compararon los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo en la comunidad de Balsa en Medio, con los límites superiores permisibles, identificados en el instrumento legal seleccionado. Para los valores medios de los parámetros se aplicó la teoría de las muestras pequeñas, a través del estadígrafo “t” de Student, para las pruebas de hipótesis correspondientes (Estadística Inferencial).

### **3.6.6. FASE 6. RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO CON LA SALUD DE LA POBLACIÓN**

A través del último ítem de la guía de entrevista y de una indagación (**actividad 5.2**) realizada en el Dispensario del IESS, ubicado en El Desvío, km 39 vía Pichincha, a donde acuden regularmente los habitantes de Balsa en Medio cuando creen tener algún problema de salud.

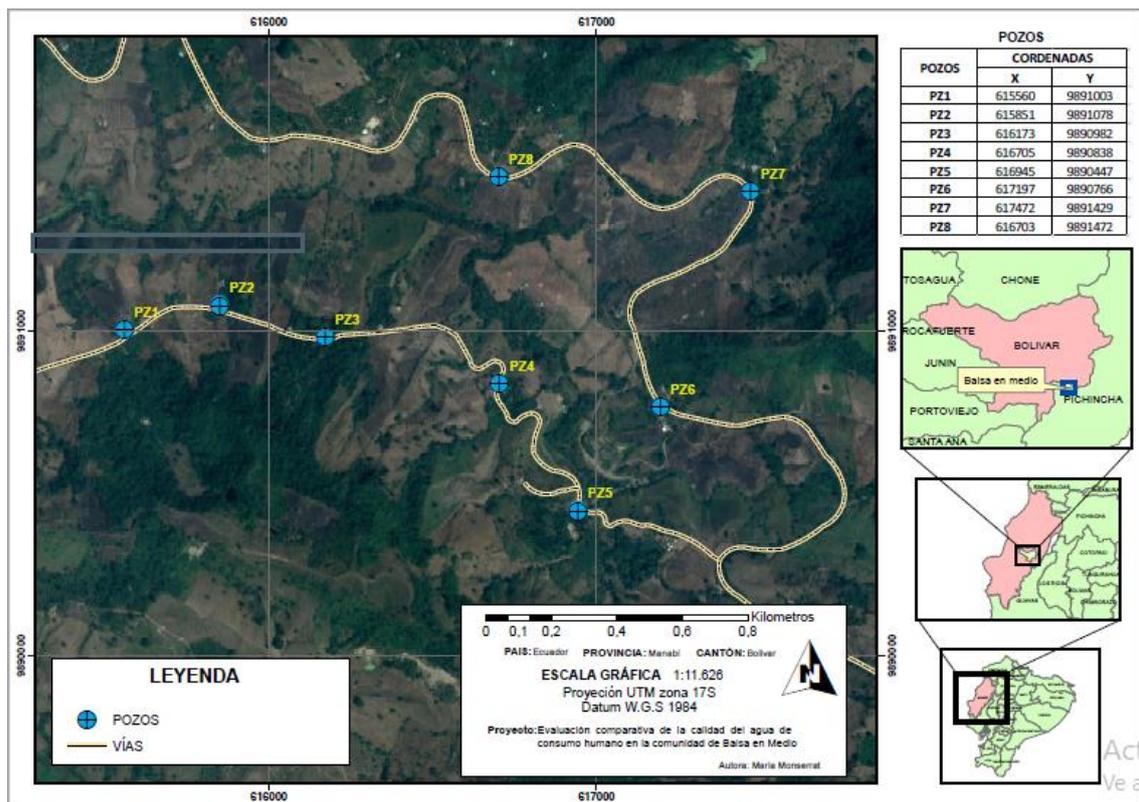
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN POZOS DE AGUA

#### 4.1.1. SELECCIÓN DE LOS HOGARES PARA EL MONITOREO DEL AGUA DE POZO

En el Cuadro 4.1 se refieren los 8 pozos artesianos de abastecimiento del agua de consumo humano seleccionados para el estudio. En el mismo se muestran cuatro columnas: número del pozo, propietario o jefe de núcleo familiar y la ubicación X, Y en las dos últimas.

Figura 4.1. Pozos seleccionados



Fuente: La Autora, 2018

#### 4.1.2. RESULTADOS DE LA PARÁMETROS ANÁLIZADOS

En los Cuadros del 4.2 al 4.9 se aprecian los valores característicos de los parámetros reportados por el laboratorio, así como sus límites máximos permitidos, para agua de consumo humano que sólo requieran desinfección, según la normativa TULSMA (2015).

**Cuadro 4.2.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 1

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	7,2	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	57	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	204	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	4,7	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	9	2,0
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	mg/l	26	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	1,1	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,9	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,8	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,01	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	110	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	17	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.2, aparecen los resultados del agua del primer pozo monitoreado, se aprecia que, con excepción del Oxígeno disuelto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C y los Coliformes Totales, todos los parámetros monitoreados cumplen con la normativa vigente ya referida (TULSMA, como Presidencia de la república del Ecuador, 2015). El Oxígeno disuelto tiene un déficit del 22% y, la DBO<sub>5</sub>, del 350%.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 1 de 110 NMP/100 ml sobre pasa en un 120% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 110 NMP de CT/100 ml equivale a 44 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 17 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo del permitido.

Aunque la concentración de Coliformes Fecales se encuentra por debajo de los límites permisibles para requerir tratamiento convencional, se infiere la conveniencia de algún tratamiento que asocie la desinfección con el incremento del oxígeno disuelto y la reducción de la DBO<sub>5</sub>. Una propuesta al efecto podría ser la ozonización del agua, que resolvería los tres problemas detectados.

**Cuadro 4.3.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 2

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,4	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	136	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	638	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2,1	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	4,7	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	11	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	21	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	1,1	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,6	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,4	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,01	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	97	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	15	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.3, aparecen los resultados del agua del segundo pozo, los que guardan cierta similitud con los del primer pozo, se aprecia que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C sobre pasa el límite permitido en un 450% y los Coliformes Totales en un 52%. Los demás parámetros monitoreados cumplen con la normativa vigente ya. El Oxígeno disuelto tiene un déficit del 22% al igual que el pozo anterior. Aquí cabe el comentario hecho anteriormente sobre concentración de Coliformes Fecales.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 2 de 97 NMP/100 ml sobre pasa en un 94% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 110 NMP de CT/100 ml equivale a 39 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 15 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo del permitido. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

**Cuadro 4.4.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 3

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,5	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	144	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	516	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3,0	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	4,9	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	9	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	32	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,9	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,5	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,4	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,02	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	121	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	12	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.4, aparecen los resultados del agua del tercer pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 18% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 350.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 3 de 121 NMP/100 ml sobre pasa en un 142% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 121 NMP de CT/100 ml equivale a 48 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 12 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo del permitido. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

**Cuadro 4.5.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 4

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo
-----------	----------------	--------	-----------	---------------

				<b>Permisible (requiere desinfección)</b>
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,7	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	188	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	475	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3,7	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	5,1	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	13	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,6	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,4	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,3	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,01	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	88	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	20	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.5, aparecen los resultados del agua del cuarto pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 15% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 400% con relación al máximo permitido.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 4 de 88 NMP/100 ml sobre pasa en un 76% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 88 NMP de CT/100 ml equivale a 35 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 20 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo de los 35 permitidos. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

**Cuadro 4.6.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 5

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permissible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,5	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	208	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	491	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1,9	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	4,6	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	11	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	17	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,4	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,7	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,1	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,03	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	113	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	17	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.6, aparecen los resultados del agua del quinto pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 23% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 450% con relación al máximo permitido.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 5 de 113 NMP/100 ml sobre pasa en un 126% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 113 NMP de CT/100 ml equivale a 45 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 17 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo de los 45 permitidos. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permissible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,2	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	249	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	497	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,9	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	4,2	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	8	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	24	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,3	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,2	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,3	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,01	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	98	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	19	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.7, aparecen los resultados del agua del sexto pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 30% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 300% con relación al máximo permitido.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 6 de 98 NMP/100 ml sobre pasa en un 96% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 98 NMP de CT/100 ml equivale a 39 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 19 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo de los 39 permitidos. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

**Cuadro 4.8.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 7

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,7	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	301	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	520	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1,7	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	3,9	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	12	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	12	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,7	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,5	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,4	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,03	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	82	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	18	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.8, aparecen los resultados del agua del séptimo pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 35% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 500% con relación al máximo permitido.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 7 de 82 NMP/100 ml sobre pasa en un 64% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 82 NMP de CT/100 ml equivale a 33 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 18 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo de los 33 permitidos. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

**Cuadro 4.9.** Caracterización analítica del agua de consumo humano extraída del pozo No. 8

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6,4	6 – 9
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	318	500
Sólidos disueltos totales	SDT	mg/l	327	1000
Nitrato	N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2,3	10,0
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	5,2	No menor a 6 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C	DBO <sub>5</sub>	mg/l	10	2,0
Salinidad (Cloruro)	Cl <sup>-</sup>	mg/l	27	250
Fluoruro (total)	F <sup>-</sup>	mg/l	0,9	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,7	1,0
Cobre	Cu	mg/l	0,6	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	< 0,01	0,01
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,04	0,05
Coliformes Totales	C.T.	NMP/100 ml	105	50
Coliformes Fecales	C.F.	NMP/100 ml	15	Menos del 40% de los C.T.

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.9, aparecen los resultados del agua del octavo pozo, que se corresponden con los de los pozos anteriores: el Oxígeno disuelto tiene un déficit del 13% con respecto al mínimo normado y la DBO<sub>5</sub> un exceso del 400% con relación al máximo permitido.

La concentración de Coliformes Totales obtenida en este pozo No. 8 de 105 NMP/100 ml sobre pasa en un 110% a los 50 NMP/100 ml, como límite superior que establece la normativa referida. El 40%, señalado por la normativa referida, de los 105 NMP de CT/100 ml equivale a 42 NMP de CF/100 ml como máximo permitido. La concentración obtenida fue de 18 NMP de CF/100 ml, que está significativamente por debajo de los 42 permitidos. Puede plantearse la misma propuesta, ya realizada.

#### 4.1.3. RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS PARÁMETROS ANÁLIZADOS EN LOS OCHO POZOS

En el Cuadro 4.10 se muestran los valores medios de los 14 parámetros analizados, con sus correspondientes promedios, desviaciones estándar (D. C.) y coeficientes de variación (C. V.).

**Cuadro 4.10.** Valores promedios de los resultados de análisis de laboratorio de los 8 pozos monitoreados

Parámetro	Unidad	Media	Límite Máximo Permisible (requiere desinfección)	D. E.	C.V. (%)
Potencial de hidrógeno	-----	6,58	6 – 9	0,30	4,58
Dureza	mg/l	200,13	500	88,17	44,06
Sólidos disueltos totales	mg/l	458,50	1000	133,19	29,05
Nitrato	mg/l	2,20	10,0	0,84	38,34
Oxígeno disuelto	mg/l	4,66	No menor a 6 mg/l	0,44	9,38
DBO <sub>5</sub> a 20°C	mg/l	10,00	2,0	1,31	13,09
Salinidad (Cloruro)	mg/l	21,50	250	7,07	32,89
Fluoruro (total)	mg/l	0,75	1,5	0,30	40,32
Hierro (total)	mg/l	0,56	1,0	0,21	37,94
Cobre	mg/l	0,41	1,0	0,21	50,91
Cadmio	mg/l	-----	0,01	-----	-----
Plomo (total)	mg/l	0,02	0,05	0,01	59,76
Coliformes Totales	NMP/100 ml	101,75	50	13,05	12,82
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	16,63	40 (40% de los C.T.)	2,56	15,40

Fuente: La Autora, 2018

En el Cuadro 4.10 se muestran los valores medios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de los parámetros indicadores de la contaminación del agua de consumo humano que fueron analizados. El Oxígeno disuelto, que promedia 4,66 mg/l, tiene un déficit del 22% con respecto al mínimo permitido y un coeficiente de variabilidad del 9,38%, indicando que, al menos en cuanto a este parámetro, la población de pozos estudiada, presenta similitudes significativas.

Otro parámetro cuyo valor promedio se correspondió con lo planteado y discutido sobre los pozos individuales, fue la DBO<sub>5</sub> a 20°C. La cifra fue de 10 mg/l, es decir, 400% por sobre el límite máximo permitido de 2 mg/l. En este caso, el coeficiente de variabilidad de 13%, aunque no tan bajo como el del Oxígeno Disuelto, también da señales de cierta uniformidad en las características del agua de los 8 pozos monitoreados.

En cuanto al tercer parámetro que individualmente rebasó en cada pozo el límite de NMP/100 ml, fueron los Coliformes Totales, con una media de 101,75 que implica un 104% por sobre dicho límite. La variabilidad de 13% también implica

homogeneidad en cuanto a las características microbiológicas del agua bajo estudio.

En general, el resto de los once parámetros, mantuvieron valores medios por debajo de los límites máximos establecidos por la normativa de referencia. Todo esto es implicativo de que, en todo caso, el agua de consumo humano en la comunidad Balsa en Medio, sólo necesita de desinfección como tratamiento, para reducir las concentraciones de Coliformes Totales y en consecuencia la de los Fecales que, aunque por debajo del límite normado (40% de los C. T.), está cerca de este (17 NMP/100 ml).

#### **4.1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA GUÍA DE OBSERVACIÓN Y DE ENTREVISTA**

A continuación, en el Cuadro 4.11 y 4.12 se muestran los resultados de la guía de observación aplicada in situ a los 8 pozos y de la entrevista, a los correspondientes jefes de núcleo, respectivamente.

Cuadro 4.11. Resultados de la guía de observación para los 8 pozos

Contenido del ítem	Pozo 1				Pozo 2				Pozo 3				Pozo 4				Pozo 5				Pozo 6				Pozo 7				Pozo 8					
	M P	P	P P	N P																														
El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por la cercanía de letrinas u otros dispositivos de manejo de heces fecales y orina			1				1				1				2				1				1				2						1	
El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por el manejo de desechos líquidos			1				1				1				1				1				1				1						1	
El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por el merodeo de animales domésticos y otros	3						1				2				2				1				1				2						1	
	<b>Pozo 1</b>				<b>Pozo 2</b>				<b>Pozo 3</b>				<b>Pozo 4</b>				<b>Pozo 5</b>				<b>Pozo 6</b>				<b>Pozo 7</b>				<b>Pozo 8</b>					

Contenido del ítem	M	P	PP	NP	M	P	PP	NP																									
El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por inclusión de arrastre de agua de lluvia			1				1				1			2					1				1				2					1	
El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por alguna vía diferente de las anteriores ya mencionadas		2					1				1			2					1				1				2					1	
<b>TOTAL</b>		<b>8</b>				<b>5</b>				<b>6</b>				<b>9</b>				<b>5</b>				<b>5</b>				<b>9</b>					<b>5</b>		
<b>% DE NEGATIVIDAD</b>		<b>40</b>				<b>25</b>				<b>30</b>				<b>45</b>				<b>25</b>				<b>25</b>				<b>45</b>					<b>25</b>		

Legenda: MP = Muy probable (3); P = Probable (2); PP = Poco probable (1); No probable (0)

Cuadro 4.12. Resultados de la guía de entrevista aplicada a los 8 jefes de núcleo

Contenido del ítem	Pozo 1				Pozo 2				Pozo 3				Pozo 4				Pozo 5				Pozo 6				Pozo 7				Pozo 8							
	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N
Usted considera que la calidad del agua de su pozo es más mala que la del agua que se vende embotellada			1				1				1				2				1				1				2								1	
En general el pozo no le abastece de agua con suficiente cantidad			1				2				2				1				2				1				2								1	
Usted considera que el agua del pozo de su vivienda tiene un aspecto no satisfactorio		2					1				2				2				1				1				2				2	1				
	<b>Pozo 1</b>				<b>Pozo 2</b>				<b>Pozo 3</b>				<b>Pozo 4</b>				<b>Pozo 5</b>				<b>Pozo 6</b>				<b>Pozo 7</b>				<b>Pozo 8</b>							

Contenido del ítem	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N	S	F	O	N						
La calidad del agua del pozo de su vivienda no se chequea de forma apropiada	3						1				1				2				1				1				2						1	
Usted considera que el origen de enfermedades gastrointestinales o de la piel en las personas que consumen el agua extraída del pozo de su vivienda son causadas, probablemente, por dicha agua			1				1				1				1				1				1					1				1		
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>				<b>6</b>				<b>7</b>				<b>8</b>				<b>6</b>				<b>5</b>				<b>9</b>				<b>6</b>					
<b>% DE NEGATIVIDAD</b>	<b>40</b>				<b>30</b>				<b>35</b>				<b>40</b>				<b>30</b>				<b>25</b>				<b>45</b>				<b>30</b>					

Leyenda: S = Siempre (3); F = Frecuentemente (2); O = Ocasionalmente (1); N = Nunca (0)

De acuerdo con los resultados de la guía de observación mostrados en el Cuadro 4.11, se observa que los pozos cuarto y séptimo poseen porcentajes de negatividades de 45%, mayores que el obtenido para el resto de las fuentes de agua. Esta negatividad es causada, sobre todo, porque estos pozos presentan posibilidades de contaminación por la cercanía de letrinas u otros dispositivos de manejo de heces fecales y orina, así como que por el merodeo de animales domésticos y otros. Asimismo, tienen posibilidades de contaminación por inclusión de arrastre de agua de lluvia y, por alguna vía diferente de las anteriores ya mencionadas.

A los dos pozos anteriores le sigue en porcentaje de negatividad el primer pozo, particularmente debido a que presenta posibilidades de contaminación por el merodeo de animales domésticos.

El tercer pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por el merodeo de animales domésticos y otros; por ello obtuvo un porcentaje de negatividad de del 30%, ubicándose en tercer lugar en este sentido.

Los pozos segundo, quinto, sexto y octavo, aunque con ciertas negatividades son, desde el ángulo del método de observación, los más aceptables, con 25%, el cual, aunque es indicativo de ciertas dificultades, puede ser aceptado.

Según los resultados de la técnica de entrevista que aparecen en el Cuadro 4.12, se aprecia que el séptimo pozo es el de mayor porcentaje de negatividad (40%), con dificultades en cuanto a que las personas prefieren el agua embotellada, que estiman de mayor calidad que la de la fuente de abasto familiar, que no les abastece de agua en suficiente cantidad y con un aspecto no satisfactorio, así como porque su calidad no se chequea siempre de forma apropiada.

Le siguen en porcentajes de negatividad los pozos primero y cuarto (40%), en los cuales los usuarios estiman que la calidad de sus aguas es inferior a la que se vende embotellada, así como porque su calidad no se chequea siempre de forma apropiada.

El tercer pozo, con un 35%, se caracteriza por tener aspecto no satisfactorio y porque su calidad no se chequea siempre de forma apropiada. Los pozos

segundo, quinto y octavo (30% de negatividad para ambos), en general abastecen el agua en suficiente cantidad, principalmente, así como calidad no satisfactoria, particularmente el octavo.

Del análisis de los dos instrumentos (guía de observación y de entrevista), se infiere que los resultados en cuanto a calidad del agua de los pozos, cantidad que abastecen y otros aspectos medidos al valorar la negatividad de los mismos, se corresponden aproximadamente.

#### **4.1.5. RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO CON LA SALUD DE LA POBLACIÓN**

Según los resultados del último ítem de la guía de entrevista, los jefes de núcleo que constituyeron la muestra, no relacionan la calidad del agua de consumo humano con la salud de la población, es decir, con algún problema significativo de salud de los miembros de su familia. Este resultado se corresponde con los de la indagación realizada en el Dispensario del IESS al que atiende a la población bajo estudio, donde se detectó que la significatividad de la relación estudiada no se ha producido con el agua de consumo, sino más bien, con el insumo de alimentos no apropiados y la deficiencia de la higiene alimentaria y doméstica en los hogares.

#### **4.1.6. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

La hipótesis de investigación planteada acerca de que

“El agua de consumo humano en la comunidad de Balsa en Medio influye negativamente en la salud de la población y no cumple con los límites establecidos por el TULSMA, para los parámetros más importantes indicadores de su calidad”, puede ser aceptada, ya que tanto la concentración Oxígeno Disuelto, la de Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días y la de Coliformes Totales no cumplen con los límites normados. Sin embargo, los otros once parámetros cumplen con la normativa y, sólo puede dudarse de los Coliformes Fecales que, aunque por debajo del límite, es una cualidad muy importante, indicativa de posible contaminación fecal, y por ende peligro para la salud.

De otra parte, los resultados indican que, en cuanto a la salud de la población, como parte principal de la hipótesis, esta puede ser rechazada, al no encontrarse

indicios de problemas de salud relacionados con el agua de consumo humano. Sin embargo, se propone la ozonización del agua, resolviéndose a la vez, la negatividad de los tres parámetros mencionados y cualquier consideración sobre problemas de salud.

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- ✓ En el Cuadro 3.1 se identifican los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano seleccionados y sus límites máximos permitidos para aguas de consumo humano que sólo requieran desinfección. Según TULSMA (2015) estos fueron, Dureza, Sólidos disueltos totales, Nitrato, Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) a 20°C, Salinidad (Cloruro), Fluoruro (total), Hierro (total), Cobre, Cadmio, Plomo (total), Coliformes Totales y, Coliformes Fecales.
- ✓ Se determinaron los valores individuales y promedios de los ocho pozos estudiados, con base en los métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales (APHA, 2015). Los valores medios en mg/l, fueron de 200 para la Dureza, 459 para los Sólidos Disueltos Totales, 2,20 para el Nitrato, 4,66 para el Oxígeno disuelto, 10 para la DBO5 a 20°C, 21,50 para Salinidad, 0,75 para el Fluoruro, 0,56 para el Hierro, 0,41 para el Cobre, menos de 0,01 para el Cadmio, 0,02 para el plomo, 102 para los Coliformes Totales y, 17 para los Coliformes Fecales, estos dos últimos medidos como NMP/100 ml y, el pH cercano a la neutralidad (6,58 prácticamente adimensional). Los resultados relativamente bajos del Coeficiente de Variación indicaron una apreciable homogeneidad en cuanto a la calidad del agua de las diferentes fuentes bajo estudio.
- ✓ Empleando la observación in situ y la técnica de la entrevista a los jefes de núcleo propietarios de los pozos (percepción ciudadana), se determinó que las principales negatividades consisten en las posibilidades de contaminación por la cercanía de letrinas u otros dispositivos de manejo de heces fecales y orina, así como por el merodeo de animales domésticos y otros. Asimismo, tienen posibilidades de contaminación por inclusión de arrastre de agua de lluvia, así como deficiencias en el abastecimiento de suficiente cantidad, apariencia en ocasiones no satisfactoria y falta de chequeo de su calidad de forma apropiada y con

frecuencia. Algunos usuarios prefieren la adquisición de agua embotellada. Los resultados obtenidos a través de ambos instrumentos se corresponden con una buena aproximación.

- ✓ Se compararon los resultados obtenidos para los 14 parámetros indicadores, concluyéndose que el agua de consumo humano extraída de pozos en la comunidad de Balsa en Medio, no cumple con los límites establecidos por el TULSMA, principalmente en cuanto al Oxígeno Disuelto, a la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días y al contenido de Coliformes Totales, estando los Coliformes Fecales por debajo del límite, pero cercano a este en algunos casos, lo que implica cierto riesgo para la salud.
- ✓ No se detectó significatividad de problemas de salud relacionados con el agua de consumo humano.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ Implementar el chequeo frecuente de la calidad del agua de los pozos que abastecen de agua de consumo humano radicados en la comunidad de Balsa en Medio y, ampliar el número de parámetros indicadores con relación a los utilizados en esta investigación.
- ✓ Coordinar con las autoridades y miembros principales de la comunidad, la implementación de sistemas de desinfección del agua, particularmente se sugiere la ozonización, la cual resolvería el riesgo de los Coliformes fecales, la elevada DBO<sub>5</sub> del agua, así como su déficit de Oxígeno disuelto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, R. L., Severiche, C. A., Castillo, M. E. (2013). *Biología y Microbiología Ambiental, Prácticas de Laboratorio*. Ed. EUMED.NED, Madrid, España.
- American Health Association (APHA). 2015. *Standard Methods for the Examination of wáter and wastewater*. Ed. Elsevier, New York, USA.
- Asamblea Nacional Constituyente. 2008. *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial No. 449 de 20-oct-2008. Última modificación: 13-jul-2011.
- Bracho, I. A. y Fernández, M. F. (2017). Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo. *Minería y Geología*. Vol. 33, No. 3, pág. 341 – 352.
- Bustamante, K. E. (2013). *Las actividades agrícolas (arroceras) y domésticas y sus relaciones con la calidad del agua del estero Chiquito, parroquia La Victoria, cantón Salitre, provincia Guayas*. Tesis de Maestría en Administración Ambiental. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Castillo, I. S. (2013). *Evaluación físico-química y bacteriológica del agua en el sistema de abastecimiento del casco urbano del Municipio de La Concordia durante cinco semanas de abril y junio del año 2013*. Tesis para Obtener el Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua "UNAN-Managua". Facultad de Ciencias E Ingeniería. Departamento de Construcción. Managua, Nicaragua.
- Castillo, I. S. (2013). *Evaluación físico-química y bacteriológica del agua en el sistema de abastecimiento del casco urbano del Municipio de La Concordia durante cinco semanas de abril y junio del año 2013*. Tesis para Obtener el Título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua "UNAN-Managua". Facultad de Ciencias E Ingeniería. Departamento de Construcción. Managua, Nicaragua.
- De la Cruz, J. D. (2011). *Mi Ciencia Química: Potencial de Hidrógeno*. Biblioteca Virtual MiCienciaQuímica (MCQ). Disponible en: <https://micienciaquimicas.blogspot.com/2011/12/potencial-de-hidrogeno.html>.
- Eawag. (2015). *Addressing Arsenic and Fluoride in Drinking Water. Geogenic Contamination Handbook*. Ed. C.A. Johnson, A. Bretzler. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Duebendorf, Switzerland.
- Echarri, L. (2007). *Contaminación del agua*. Universidad de Navarra. España.

- EcuRed. 2018. Pozos artesianos. Disponible en [https://www.ecured.cu/Pozos\\_artesianos](https://www.ecured.cu/Pozos_artesianos).
- González, M. y Lorca, L. M. (2004). Técnicas para una adecuada entrevista. Clínica Derecho Ambiental. Departamento de enseñanza clínica del Derecho. Facultad de Derecho Universidad de Chile, Santiago de Chile. Chile.
- González, O. D. y otros. (2007). Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural Noreste del municipio de León, Nicaragua. Universitas (León). Vol. 1, No. 1, pág. 7 – 13.
- Guzhanin (s/f).. Molécula de agua. Russian Federation. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_35894175\\_mol%C3%A9cula-de-agua-ox%C3%ADgeno-rojo-el-hidr%C3%B3geno-blanco.html](https://es.123rf.com/photo_35894175_mol%C3%A9cula-de-agua-ox%C3%ADgeno-rojo-el-hidr%C3%B3geno-blanco.html)
- INAMHI. 2006. Caracterización hidrogeológica de las cuencas Chone – Portoviejo. Quito, Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable. Requisitos. Adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011. Quito, Ecuador.
- Jiménez, C. et al. (1999). Módulo de tutoría I. Programa de capacitación en liderazgo educativo. Ed. Unidad técnica EB/PRODEC. Ecuador.
- Metcalf y Eddy Inc., 1995. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., Barcelona, España.
- Milacron Mexicana Sales S. A. de C. V. División CIMCOOL. 2004. Querétaro, México.
- Ochoa, C. (2015). Muestreo probabilístico: muestreo aleatorio simple. Netquest, Barcelona, España.
- Organización Mundial de la Salud, OMS. 2011. Guías para la calidad del agua de consumo humano. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Agua, saneamiento e higiene: Enfermedades relacionadas con el agua. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/16).

- OXFAM. (2017). Agua, Higiene y Saneamiento: La importancia del Agua, la Higiene y el Saneamiento en situaciones de crisis humanitarias. Generalitat de Catalunya, Barcelona, España.
- Palomares, A. E. (2013). Agua y tecnología: Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento. Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC). Ministerio de Economía y Competitividad. Madrid, España.
- Pauling, L. 1970. Química General. Ed Dover. México, D.F.
- Presidencia de La República. 2015. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental (última modificación 29-marzo – 2017). Decreto Ejecutivo 3516.
- PURAMATIC. (2018). Disponible en: <https://puramatic.com/metales-pesados-agua/>.
- RÉFEA (Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement) (s/f). Tecnologías de bajo coste: fichas técnicas, pozos tradicionales, pozos modernos. Disponible en: <http://www.oieau.fr/ReFEA/module3.html>.
- Rodríguez-Lado, L. y otros. (2013). Groundwater arsenic contamination throughout China. *Science*, 341(6148), 866-868.
- Rodríguez, S. A. y Rodríguez, R. (2010). La Dureza del Agua. Seminario: Agua, Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad Regional Bahía Blanca Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe.
- Vera, A. P. y Cevallos, E. X. 2013. Aprovechamiento sostenible de plantas medicinales en la implementación de una farmacia natural en la comunidad balsa en medio del cantón Bolívar. Tesis previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Calceta, Ecuador.
- Vera, A. P. y Cevallos, E. X. 2013. Aprovechamiento sostenible de plantas medicinales en la implementación de una farmacia natural en la comunidad balsa en medio del cantón Bolívar. Tesis previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Calceta, Ecuador.
- Vilanova, P. J. (1861). Teoría y práctica de pozos artesianos y arte de alumbrar aguas de. Madrid, España.
- Zhen, B. (2009). Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. Tesis de grado obtenida no publicada, Universidad Estatal A Distancia de San José de Costa Rica. Recuperado el 31 de julio del 2012.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. GUÍA DE OBSERVACIÓN

- a) El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por la cercanía de letrinas u otros dispositivos de manejo de heces fecales y orina

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Muy probable	
Probable	
Poco probable	
No probable	

- b) El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por el manejo de desechos líquidos

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Muy probable	
Probable	
Poco probable	
No probable	

- c) El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por el merodeo de animales domésticos y otros

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Muy probable	
Probable	
Poco probable	
No probable	

- d) El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por inclusión de arrastre de agua de lluvia

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Muy probable	
Probable	
Poco probable	
No probable	

- e) El pozo de agua que abastece a la vivienda presenta posibilidades de contaminación por alguna vía diferente de las anteriores ya mencionadas

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Muy probable	
Probable	
Poco probable	
No probable	

## ANEXO 2. GUÍA DE ENTREVISTA A APLICAR

1. Usted considera que la calidad del agua de su pozo es más mala que la del agua que se vende embotellada

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Siempre	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Nunca	

2. En general el pozo no le abastece de agua con suficiente cantidad

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Siempre	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Nunca	

3. Usted considera que el agua del pozo de su vivienda tiene un aspecto no satisfactorio

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Siempre	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Nunca	

4. La calidad del agua del pozo de su vivienda no se chequea de forma apropiada

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Siempre	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Nunca	

5. Usted considera que el origen de enfermedades gastrointestinales o de la piel en las personas que consumen el agua extraída del pozo de su vivienda son causadas, probablemente, por dicha agua

ALTERNATIVA	RESPUESTA
Siempre	
Frecuentemente	
Ocasionalmente	
Nunca	