



Universidad Tecnológica de Honduras

Facultad de Ciencias De la Salud.

**Estudio piloto para evaluar la presencia de microbiota en fuentes de agua para consumo humano en comunidades ubicadas en la zona de influencia de los estudiantes en el Servicio Médico Social, FCS-UNITEC, noviembre 2021**

**Tesis presentada por:**

- Ana Salgado
- Ángela Miralda
- Dafne Murillo
- Fabiola Linares
- Juan Diego Matamoros
- Juan Gerardo Cálix
- Kimberly Saucedo

Como requisito parcial para optar por el Título de: Doctor en Medicina y Cirugía

**Asesor**

Dr. Bulnes

Dra. Sara Rivera

**Co-Asesores**

Dra. Xiomara Erazo

Tegucigalpa, Municipio del Distrito Central, Francisco Morazán, Honduras

Febrero, 2022

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	5
<b>PAGINA CON AUTORIZACIÓN PARA USO DEL CRAI</b> .....	6
<b>RESUMEN</b> .....	8
<b>ABSTRACT:</b> .....	9
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	10
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA</b> .....	11
<b>1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	12
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	13
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>CAPÍTULO II MARCO TEORICO</b> .....	16
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA</b> .....	39
<b>CAPÍTULO IV. ANALISIS Y RESULTADO</b> .....	42
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....	55
<b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....	56
<b>BIBLIOGRAFIAS</b> .....	58
<b>ANEXOS</b> .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	18
Tabla 2. Adaptada de Principales fuentes de Agua 20 .....	23
Tabla 3: Tipos contaminantes del agua y su efecto en el humano. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 4: Límites Máximos permisibles para parámetros microbiológicos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

A Dios en primer lugar y por encima de todos, por su forma de obrar a veces de forma incierta y en ocasiones con señales francas que nos han guiado en el camino correcto para vencer cada uno de los obstáculos de la vida. Es a Él a quien debemos la inteligencia, motivación, instrumentos, oportunidades y bendiciones que nos han permitido culminar nuestros estudios en esta prestigiosa carrera.

### **A Nuestras Familias.**

Por amor, el apoyo incondicional, la motivación que siempre nos han brindado desde que tomamos la decisión de estudiar esta carrera hasta la fecha. Porque son un ejemplo de perseverancia en ocasiones sacrificio, siendo comprensibles cuando en muchas ocasiones tocó poner el estudio y trabajo antes que la familia. Eternamente agradecidos por habernos dado el ejemplo en casa para ser buenos profesionales con amor a la carrera y al trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA UNITEC A NUESTROS ASESORES**

Quienes dedicaron su tiempo, esfuerzo y conocimiento para guiarnos en este camino para ser excelentes profesionales en este rubro. A ellos quienes son los expertos de la educación que hoy se recibe, para seguir formando profesionales capaces de enfrentar los obstáculos que presenta este mundo cada vez más cambiante.

### **A LA UNIVERSIDAD UNITEC**

A nuestros catedráticos por brindarnos todas sus enseñanzas y todo ese conocimiento que tienen y motivarnos para seguir adelante y triunfar en la carrera, gracias porque son personas que dejaron huellas en nuestras vidas y que recordaremos con cariño siempre.

### **AL CENTRO DE SALUD INTEGRAL DE VALLE DE ÁNGELES**

Por su amabilidad, tiempo y servicio abriéndonos las puertas tanto a las instalaciones como al pueblo de Valle de Ángeles. Al Personal médico y administrativo por apoyarnos con guías, expertos en la demografía y geografía de la zona, así como en las juntas de agua correspondiente a los distintos barrios y viviendas.

### **AL INSTITUTO BAXTER**

Al Instituto Baxter con reconocimiento a la Dra Xiomara Erazo por abrirnos las puertas a las instalaciones del instituto, así como acceso a su instrumental y laboratorio para poder filtrar las muestras de agua obtenidas en el campo. Asimismo, por su asesoría y rol de intermediario con la universidad de Virginia Via College of Osteopathic Medicine (VCOM).

Nombre completo y Firma

Nombre completo y Firma

Número de cuenta

Número de cuenta

## RESUMEN

**Introducción.** El término de calidad de agua es un conjunto de propiedades el cual permite ser evaluada, estadificada y comparada según el resto de su especie. Dentro de esto, existe lo conocido como junta de agua las cuales están organizadas para brindar el servicio potable a diferentes comunidades. Se conocen diversas técnicas para evaluar las acciones del ser humano y el impacto negativo o positivo en el ecosistema. **Objetivos.** Determinar la presencia de microbiota en fuentes de agua para el consumo humano y su relación con enfermedades transmitidas por la misma. **Materiales y métodos.** Se trata de un estudio observacional cuantitativo descriptivo realizado en noviembre de 2021 en las comunidades ubicadas en la zona de influencia en Valle de Ángeles. Para el estudio se aplicó una encuesta a cada casa donde se encontraban las principales juntas de agua y se realizó recolección de muestra de agua en recipiente estéril. **Resultados.** El 96.6% de la población de Valle de Ángeles su principal fuente de abastecimiento son las juntas de agua. El principal método de almacenamiento de agua en 36.6% predomina el uso de pila. El principal síntoma de la muestra es la diarrea 37.5%. Del 100% de la población muestra se desparasitan ocasionalmente. **Conclusiones.** El método de detección del ADN será de gran ayuda para identificar patógenos que están en las juntas de agua de esta comunidad, ya que por sus características físicas se puede concluir que estas son inadecuadas para el consumo directo y conducen a enfermedades. **Palabras claves:** Enfermedades hídricas, calidad de agua, microbiota

## **ABSTRACT:**

**Introduction.** The term of water quality is a set of properties which can be evaluated, staged, and compared according to the rest of its species. Within this, there is what is known as a water board which are organized to provide drinking service to different communities.

Various techniques are known to evaluate the actions of the human being and the negative or positive impact on the ecosystem. **Objectives.** Determine the presence of microbiota in water sources for human consumption and its relationship with diseases transmitted by it. **Materials and methods.** This is a non-experimental quantitative descriptive study conducted in November 2021 in the communities located around the area of influence in Valle de Ángeles. For the study, a survey was applied to each house where the main water joints were located, and a water sample was collected in a sterile container. **Results.** 96.6% of the population of Valle de Ángeles its main source of supply are the water boards. The main method of water storage in 36.6% predominates the use of battery. The main symptom of the sample is diarrhea 37.5%. 100% of the sample population are occasionally dewormed. **Conclusions.** The DNA detection method will be of major help to identify pathogens that are in the water joints of this community, since by their physical characteristics it can be concluded that these are inadequate for direct consumption and lead to diseases.

**Keywords:** Water diseases, water quality, microbiota

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El agua potable ha sido reconocida por las Naciones Unidas como un derecho fundamental, al que todos los seres humanos deben tener acceso. El agua contaminada y con un inadecuado proceso de saneamiento son las principales causas de mortalidad infantil asociada a enfermedades infecciosas, como la diarrea en menores de cinco años.

En Honduras, se ha visto desigualdad en cuanto a la disponibilidad de agua potable, el abastecimiento se ve afectado por el crecimiento demográfico y aumento de número de habitantes, además de que los habitantes hacen uso de otras fuentes de agua.

En el municipio de Valle de Ángeles en Francisco Morazán, sus fuentes de agua además de ser suministradas por el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados se suministran por las distintas juntas de agua en el municipio.

Por lo que, en esta investigación se tomaron muestras de conveniencia de fuentes de agua usadas para el consumo humano en Valle de Ángeles, las cuales se enviaron a Estados Unidos de América para determinar la microbiota mediante técnica de secuenciación genética.

Mediante la aplicación de la encuesta se recopilaron los datos sobre las características físicas del agua y los principales síntomas asociados al consumo de estas.

Los datos obtenidos se correlacionaron con observaciones in situ de la vivienda y su entorno, la comunidad y estadísticas sobre enfermedades transmitidas por agua (ETA) tanto de la vivienda como de la comunidad.

## **1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En Latinoamérica la falta de un adecuado suministro de agua potable es uno de los grandes problemas que está afectando a la población generando un impacto en la morbimortalidad de sus habitantes debido a las enfermedades hídricas relacionadas al déficit en la calidad de agua que se utiliza para el consumo humano debido a la presencia de diversos patógenos.

El agua como derecho de las personas además de ser un recurso valioso para la población por su importancia para el desarrollo humano y la salud, se debe asegurar que esta sea obtenida de manera igualitaria y cumpliendo todas las normas de calidad necesarias para su consumo.

Como es conocido por la mayoría de las personas, el agua ha sido y continúa siendo parte de investigaciones que se centran en determinar la calidad, es decir en el hallazgo de componentes que no se deben encontrar en el agua, debido a que es una de las fuentes culpables de la transmisión de enfermedades. A pesar de que estos estudios se han llevado a cabo desde bastante tiempo atrás y que ya se han tomado medidas para disminuir estas transmisiones, se continúa reportando enfermedades transmitidas mediante el agua.

Para disminuir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua, existen varias compañías u organizaciones que han estudiado el agua con el fin de implementar medidas de purificación y de esta forma abastecer a los habitantes con agua de calidad para el consumo e ingesta humana.

Sin embargo, se ha observado que las técnicas empleadas para purificar el agua no están siendo suficientes para lograr obtener agua libre de cualquier componente u patógeno dando esto como respuesta al aumento o permanencia de las enfermedades transmitidas por el agua.

### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Según la OMS, se calcula que más de 842, 000 personas al año mueren a causa de diarrea secundario a la insalubridad del agua, siendo la población más vulnerable los niños.

En Honduras, la población tiene acceso a diferentes fuentes de agua, ya sea agua tratada proveniente de acueductos o diversas fuentes superficiales como ser ríos, quebradas o pozos. Estas fuentes son utilizadas por los habitantes para realizar actividades domésticas y para su consumo.

Valle de Ángeles es un municipio que se encuentra en Francisco Morazán a aproximadamente 20 kilómetros de Tegucigalpa, su población se dedica en gran parte a actividades turísticas. Este municipio cuenta con aproximadamente 25 juntas de agua de las cuales abastecen a la población de Valle de Ángeles y Tegucigalpa.

Las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento son organizaciones sociales cuyo objetivo es brindar el servicio de agua potable a la comunidad.

Las fuentes superficiales de agua no están sometidas a tratamientos para eliminar los distintos microorganismos o contaminantes químicos que estas pueden presentar, lo que vuelve a la población que las consume vulnerable a enfermedades hídricas.

Por esta razón, nuestro grupo de investigación propone investigar las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es la factibilidad para implementar un sistema de detección de microbiota en fuentes de agua para el consumo humano?

2. ¿Existe una asociación entre la presencia de microbiota y con observaciones in situ de la vivienda y su entorno, la comunidad y estadísticas sobre enfermedades transmitidas por agua (ETA) tanto de la vivienda como de la comunidad?

## **1.4 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Demostrar la presencia de microbiota en fuentes de agua para el consumo humano y su relación con ETAs.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

1. Caracterizar las fuentes de agua para el consumo humano usadas en la comunidad estudiada.
2. Establecer la carga de ETAs en la comunidad y en las viviendas seleccionadas.
3. Caracterizar la microbiota encontrada en las fuentes de agua para el consumo humano.
4. Determinar la asociación que existe entre la presencia de microbiota con observaciones in situ de la vivienda y su entorno, la comunidad y estadísticas sobre enfermedades transmitidas por agua (ETAs) tanto de la vivienda como de la comunidad.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

Las enfermedades hídricas son un problema de salud pública que afecta a la población en general. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que alrededor del 10% de la población mundial consume alimentos lavados con aguas sin tratar, y que el 32% de la población no tiene acceso a servicios adecuados de saneamiento básico del agua, generando 280,000 muertes anuales asociadas a enfermedades de origen hídrico. <sup>1</sup>

La capacidad que tiene el agua para transmitir enfermedades depende de la calidad microbiológica que aporta el agua. La falta de acceso al agua potable, junto al saneamiento y la higiene deficientes, es lo que más contribuye a las más de 1.8 millones de defunciones anuales debidas a enfermedades diarreicas. <sup>2</sup>

Se estima que aproximadamente el 4% de las muertes mundiales están relacionadas con la calidad y saneamiento del agua. En América latina las enfermedades diarreicas agudas forman parte de las diez principales causas de muerte relacionadas a la calidad de agua.

El municipio de Valle de Ángeles no cuenta con una política municipal para el manejo y gestión de los recursos hídricos, por lo cual es necesario conocer la calidad de agua que se abastece en este municipio. Además de ser una zona turística se realizan cuidados al sistema de agua potable por medio de limpiezas de las tuberías y revisiones al acueducto.

Se realiza vigilancia para evitar el acceso a animales y el mal uso del agua como es el desperdicio de esta, ya que en épocas de verano se encuentra con problemas sobre todo la escasez de agua, por lo que el municipio de Valle de Ángeles impone horarios para el uso del agua. De los 25 sistemas de agua potable, 11 se ubican dentro del Parque Nacional La Tigra.

La mayoría de las presas/tomas administradas por Juntas de Agua no cumplen con las normas establecidas por la Ley Forestal en cuanto a la protección de infraestructuras y de las áreas circundantes. De los sistemas ubicados fuera de La Tigra, seis no están cercados y en seis hay cultivos por encima de la presa. De los 25 casos, en 11 el área circundante a la fuente no está protegida y en 14 los bosques ribereños no están protegidos.<sup>1</sup> Dicha características de la zona nos dan a conocer como está distribuida las juntas de agua en todo el municipio.

Es conocido por los pobladores que ciertos lugares sobre todo aledaños al centro del municipio, hace muchos años se encontraban a la población con varias enfermedades sobre todo gastrointestinales y neoplásicas por lo que se asoció al consumo de agua, de las juntas que están cerca de antiguas minas.

Es por esta razón que tenemos iniciativa de realizar un análisis de las fuentes de agua de donde las comunidades de Valle de Ángeles se abastecen para correlacionarlo con las enfermedades asociadas a su consumo y la influencia de su entorno.

## **CAPÍTULO II MARCO TEORICO**

### **A. DEFINICIÓN**

A.1 Calidad de Agua: El término 'calidad' se define como un conjunto de propiedades que le pertenecen a una cosa que le permite ser evaluada, estratificada, comparada y contrastada con el resto.<sup>4</sup> La definición de calidad de agua, son todas sus características macroscópicas, microscópicas, físicas, químicas, y biológicas. Estos componentes de calidad de agua indican si el agua es apta o no para su destino o uso.<sup>5</sup>

Es decir, no existe agua buena o mala, sino agua que cumpla o no los requisitos para el uso predeterminado. Por ejemplo, existe agua apropiada para regar un jardín, agua apta para lavar vajillas y agua para ingesta, todas con cualidades diferentes, pero con la calidad requerida para su utilización.

A.2 Junta de Agua: Las Juntas Administradoras de Agua Potable y Saneamiento son organizaciones sociales cuyo objetivo es brindar el servicio de agua potable a la comunidad. Se les denomina así estrictamente cuando ofrecen ambos servicios.<sup>6</sup> Su objetivo es optimizar y brindar un servicio sin fines de lucro ofreciendo acceso de agua potable en las comunidades que las solicitan, de ellas depende el abastecimiento, saneamiento, distribución y garantizar la entrega del agua potable para satisfacer las necesidades del vecindario o comunidad.

A.3 Enfermedades Hídricas: Las Enfermedades hídricas o de origen hídrico son aquellas patologías cuyo origen puede atribuirse con el uso o consumo del agua. Las enfermedades hídricas abarcan un amplio espectro de etiologías porque pueden ser transmitidas por el agua en sí, ser originadas en el agua, o bien cuentan con un origen vectorial relacionado con el agua, y son patologías asociadas con la escasez de agua<sup>7,8</sup>.

Uno de los principales problemas que enfrenta Latinoamérica y en otros países en vías de desarrollo es la escasez de agua potable y saneamiento adecuado del agua causando múltiples enfermedades hídricas afectando las zonas rurales.<sup>9</sup>

## **B. GENERALIDADES EL AGUA**

### B.1 Determinantes y características fisicoquímicas y biológicas del agua

Existen diversas técnicas para evaluar la calidad de agua evaluando las acciones del ser humano y su impacto negativo en el ecosistema, para lo cual se han empleado la evaluación de las características fisicoquímica y microbiológica del agua que permite investigar la calidad del agua para el consumo humano.<sup>10</sup>

Las características físicas (temperatura, color, turbidez, transparencia, sólidos totales disueltos, sólidos suspendidos, color), químicas (conductividad, pH, alcalinidad, acidez, dureza, oxígeno disuelto, demanda de oxígeno, concentraciones de nitrógeno y fósforo, cloruros, metales pesados, biocidas, entre otros) y microbiológicas (presencia de bacterias patógenas, virus, helmintos y protozoarios, entre otras consideraciones son determinantes de la calidad de agua.<sup>11</sup>

## B.2 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: <sup>10</sup>

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

<b>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</b>	<b>Limite permisible</b>
<b>Colorantes artificiales</b>	Solo los removibles por coagulación, sedimentación y filtración convencional.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	5 mg/L
<b>OD</b>	No menor 5mg/LO <sub>2</sub>
<b>Turbidez</b>	Hasta 100 UNT
<b>Ph</b>	6.0 a 9.0
<b>Coliformes fecales</b>	Hasta 1000 microorganismos/100MI
<b>Fósforo total</b>	Hasta 0.05 mg/L
<b>Nitrógeno total</b>	Hasta 0.6 mg/L

*DBO: Demanda bioquímica de oxígeno. OD: Oxígeno disuelto*

*Fuente: Resolución SEAM N° 222/02*

Evaluación del color: se debe a la presencia de varios iones metálicos característicos como el hierro y el manganeso, materia orgánica diversa y en algunos casos residuos contaminantes, Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores.

Evaluación del olor: En su forma pura no produce sensaciones olfativas. La presencia de un olor desagradable es un indicador subjetivo para evaluar cualitativamente su calidad porque se modifica ante la presencia de compuestos químicos como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición.

Evaluación del sabor: El sabor del agua es producido especialmente por el fitoplancton, este puede ser amargo o áspero, ácido, dulce y salado. <sup>10</sup>

## B.3 Indicadores biológicos

Son métodos útiles para predecir los efectos dañinos y la respuesta de los organismos frente a los contaminantes, esto se identifica mediante cambios en la estructura y composición del agua en los ríos. <sup>11</sup>

#### B.4 Paramentos ambientales

Estos se usan como indicadores de calidad de agua, entre los que se encuentran los siguientes:<sup>12</sup>

Temperatura: las altas temperaturas pueden ocasionar mayor crecimiento de bacterias, incremento de la turbidez y aumento masivo de algas a su vez se incrementa, la velocidad de las reacciones químicas.

pH: El pH normal del agua es de 6,5 a 8,5 esto varía según la composición química del suelo y otros factores.

Oxígeno disuelto: En aguas naturales el O<sub>2</sub> varía con la temperatura, salinidad, turbulencia, actividad fotosintética y presión atmosférica.

Turbidez: Se identifica cuando la luz no traspasa el agua esto genera disminución de la fotosíntesis y el aporte de oxígeno disuelto.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): esto se determina mediante la materia orgánica biodegradable.

Nitratos y Fosfatos: son producidos por la descomposición de materias vegetales y animales, así mismo producto de la disolución de las rocas y minerales.

Coliformes fecales: Esto se identifica y se puede prevenir mediante un análisis bacteriológico para evitar epidemias secundario a la contaminación de agua.

Sólidos disueltos totales: se obtienen mediante la evaporación entre 103-105°C al someter materia del agua.

Todos los países tienen sus determinantes de la calidad de agua que permiten identificar y evaluar los principales factores que afectan su calidad se han relacionado con los grandes depósitos de basura, construcciones y el traslado de animales cerca del agua. <sup>13</sup>

Ya que el agua es imprescindible para los seres vivos, incluyendo flora y fauna, es entendible que las nuevas construcciones sean cerca de las fuentes de agua, evitando la presencia de los desechos cerca de estas fuentes porque disminuyen la calidad del agua.

En México, poseen un método creado para valorar cuales son los determinantes y los que ellos utilizan son los relacionados con la materia orgánica y la dividen de la siguiente manera: materia orgánica que es biodegradable, la no biodegradable y todos los sólidos suspendidos teniendo cada una un puntaje y dependiendo del resultado catalogan la calidad del agua.<sup>14</sup>

## **C. EPIDEMIOLOGÍA**

### C.1 Situación actual del sector de agua a nivel mundial, Latinoamérica y Honduras

La Organización de las Naciones Unidas ha reconocido el derecho humano al agua y al saneamiento y que todo ser humano debe de tener acceso a una cantidad de agua suficiente para uso doméstico y personal, se supone entre 50 y 100 litros de agua por persona y por día, que esta sea accesible económicamente su costo no debe superar el 3% de los ingresos y de forma física, esta no debe de estar a más de 30 min o a más de 1000 metros del hogar.<sup>15</sup>

El cambio climático esta relacionado con el agua, nueve de cada diez desastres naturales están relacionados a estas, los riegos climáticos se ven vinculados con el agua desde los sistemas alimentarios, urbanos y ambientales.<sup>15</sup>

Se ha observado un ascenso de la población mundial del año 1950 en la cual se estimaba de 2536 millones de habitantes y en el año 2018 había aumentado a 7 632 millones, a medida que crece la población también crece la necesidad de conciliar la competencia entre la demanda comercial y de las comunidades para poder satisfacer sus necesidades, sea visto una mayor concentración de población en las regiones urbanas con énfasis en las regiones menos desarrolladas, esto impactara al uso de agua potable disminuyendo la disponibilidad per cápita. <sup>16</sup>

Según la OMS en el año 2017, alrededor de 2200 millones de personas no tenían acceso a agua potable de forma segura, más de la mitad de la población mundial no tenían servicios de saneamiento seguro y 297,000 niños menores de cinco años mueren al año debido a enfermedades asociadas a malas condiciones sanitarias o a falta de agua potable. <sup>17</sup>

## C.2 Sostenibilidad de los sistemas de agua

La relación de la sostenibilidad, su calidad y la salud es una prioridad sanitaria, así como se ve reflejado en el Alma ata en cual el lema fue “salud para todos en el año 2000”, en el cual se priorizo la importancia del agua y el desarrollo de fuentes adecuadas de agua potable, además la organización mundial de la salud identifica una relación directa entre la calidad del agua y la pobreza. Los recursos hídricos se han visto afectados por actividades humanas en particular por la agricultura, construcción y tratamiento de aguas de desecho, así como las actividades humanas y las condiciones naturales. <sup>18</sup>

En septiembre del año 2015 se celebró la Asamblea General de las Naciones Unidas en la cual se formularon nuevos objetivos de desarrollo sostenible, donde uno de ellos es agua limpia y saneamiento, donde se pretende garantizar la disponibilidad del agua, gestión sostenible y saneamiento para todos, para el año 2030 haya un acceso universal al agua potable. <sup>19</sup>

A nivel mundial se construyen presas o embalses para poder gestionar los recursos hídricos y tener la capacidad de cubrir las demandas de agua, su uso se ha destinado para irrigación en mayor parte, abastecimiento de agua, control de avenidas, actividades de recreación y navegación y pesquería. <sup>19</sup>

Honduras cuenta con ocho embalses de los cuales abastecen la capital en un 80%.<sup>19</sup>

#### D. FUENTES DE AGUA <sup>17</sup>

Tabla 2. Principales fuentes de Agua

Agua dulce	
Agua Comunitaria	Su origen puede ser de diferentes lados como ser aguas subterráneas o precipitaciones, se conoce que esta agua es más común o adecuada en sistemas abiertos y es aquella agua que es suministrada por comunidades de riego.
Agua subterránea	Es mejor utilizada en lugares abiertos donde hay disponibilidad de pozos y esta agua puede variar de lugar a lugar.
Agua desalinizada	Es el agua es proveniente del mar para el suministro de agua dulce a través de una red especial en la cual ayuda a llegar a diferentes comunidades, en este caso de este tipo de fuente de agua se menciona que da un poco más de problemas debido a la acumulación de sodio que es traída desde el mar.
Aguas residuales urbanas depuradas	Esta es conocida como las aguas grises, ya que estas provienen de una planta depuradora que lo que hace es que convierte el agua residual en agua dulce para

	así permitir el riego de diferentes comunidades. Es más accesible al tener sistemas abiertos.
Agua de la red principal	Conocida como el agua potable, la cual es suministrada en diferentes puntos, es más accesible en sistemas cerrados (casas, apartamentos, lugares de trabajo).
Agua de lluvia	Proveniente de una precipitación ya sea lluvia, nieve o granizo. La ventaja de este es que el contenido de sodio es bajo y esta fuente de agua es recirculante por lo que permite ser apta para lugares abiertos o cerrados.
Aguas superficiales	Fuente de agua proveniente de ríos, canales o estanques. Se sabe que este tipo de agua suele estar más contaminada de sodio y materia orgánica, la desventaja de este es que la cantidad de agua es menor que de otras fuentes y es más útil en lugares abiertos.
Agua reutilizada	
Agua de drenaje	Es aquella agua proveniente del suelo de invernadero en el cual tiene mayor fuente nutritiva y así proporcionar mayor fuente de cultivo y es de origen reciclado y es útil en sistemas cerrados.
Agua de lixiviado	También conocido como aquella que se forma a partir del paso o colarse a través de un sólido, estos residuos suelen ser inertes y no son solubles o biodegradables (ejemplo piedras).

Fuente: Villena Chávez J. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2018;35(2):304

## **E. RELACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA Y LA SALUD**

### **E.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación hídrica se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química.<sup>21</sup> El problema de la contaminación del agua y de medio ambiente es uno de los principales problemas que enfrentan los países subdesarrollados esto tiene origen a la actividad antropogénica y a la vulnerabilidad del suelo en pequeños y grandes áreas urbanas ya que estas aguas están contaminadas con excretas humanas y animales.<sup>22</sup>

Hay un gran número de principales contaminantes del agua que se pueden clasificar en los siguientes ocho grupos:<sup>23</sup>

1. Microorganismos patógenos
2. Desechos orgánicos
3. Sustancias químicas inorgánicas
4. Nutrientes vegetales inorgánicos
5. Compuestos orgánicos.
6. Sedimentos y materiales suspendidos
7. Sustancias radiactivas
8. Contaminación térmica

Los contaminantes del agua pueden presentarse en forma de materiales químicos, biológicos o físicos, dentro de los contaminantes químicos podemos mencionar.<sup>24</sup>

- Los agentes químicos llamados pesticidas incluyen herbicidas, insecticidas y fungicidas.
- Metaloides pesados El plomo, el mercurio, el cobre y el selenio son algunos de los metales pesados nocivos.

- Los residuos peligrosos se clasifican en tóxicos, reactivos, corrosivos e inflamables.

## E.2 TIPOS DE CONTAMINANTES Y SUS CONSECUENCIAS EN LA SALUD

Tabla 3: Tipos contaminantes del agua y su efecto en el humano

<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Efectos en el ser humano</b>
Agentes infecciosos	Virus, bacterias, hongos, parásitos.	Hepatitis, poliomielitis, cólera, disentería, amebiasis, parasitismo intestinal, anemia secundaria.
Materia orgánica en suspensión	Materiales de granjas e instalaciones agrícolas.	Agotamiento del oxígeno, diarreas, muerte de los animales.
Productos químicos inorgánicos	Ácidos, sales que contienen metales pesados (mercurio, plomo y cadmio).	Defectos congénitos relacionados al químico.
Exceso de fertilizantes inorgánicos	Fosfatos y nitratos solubles.	Disminución del oxígeno disuelto por tanto disminuye la vida animal y humana
Productos químicos orgánicos	Petróleo, gasolina, plaguicidas, solventes orgánicos, aceites, etc.	Puede ir desde trastornos leves de la salud hasta diversos tipos de CA. Asimismo, puede provocar alteraciones genéticas.
Sustancias radioactivas	Instalaciones nucleares.	Defectos genéticos, CA.

Calor de refrigeraciones industriales	Especialmente centrales eléctricas	Disminuye la cantidad de oxígeno, disminución de la vida humana.
---------------------------------------	------------------------------------	--

1. Información extraída de: Guevara Calero K, Claret Perez J. Causas y consecuencias de la contaminación en el lago de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad Regional Multidisciplinaria UNAN Managua. 2015; 1:4-67.

Alguna de las consecuencias derivadas de la contaminación del agua de lagos, ríos y mares, podemos destacar: <sup>26</sup>

- ✓ Desaparición de vida marina y destrucción de ecosistemas acuáticos, debido a la extrema toxicidad de los desechos industriales.
- ✓ Generación enfermedades en la población humana, como hepatitis, cólera y disentería
- ✓ Fuerte repercusión por envenenamiento en especies pertenecientes a otros ecosistemas, debido al consumo del agua o por la falta total de ella.

Muchos de los compuestos que entran en el cuerpo de un organismo se sabe que causan daños al ADN generando ciertos cambios en el organismo como ser: <sup>26</sup>

- ✓ Carcinogenicidad
- ✓ Neurotoxicidad
- ✓ Descenso de fertilidad

Según la OMS, el déficit en la gestión de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas se ve contaminada por diversos microorganismos y agentes químicos causantes de múltiples enfermedades como ser cólera, diarrea, disentería, hepatitis A, etc., estos exponen la salud del ser humano se estima que aproximadamente 15% de la población que contraer estas infecciones son hospitalizados y su porcentaje es mayor en los países en desarrollo. <sup>26</sup>

Nuevos estudios han identificados nuevas cepas como el *Burkholderia cepacia* es un grupo de betaproteobacterias que son gram negativas no fermentadores que se encuentran en el medio ambiente, el cual ha provocado un estado de preocupación ya que se ha visto que estas bacterias son oportunistas y tienen mayor afinidad para producir infecciones respiratorias graves llegando a causar fibrosis quística y enfermedad granulomatosa crónica. Asimismo, se ha reportado que se está presentando en aquellos pacientes inmunodeprimidos que incluyen las personas de la tercera edad, pacientes con VIH y pacientes oncológicos que están siendo sometidos a quimioterapia.<sup>27</sup>

Estas bacterias tienen la capacidad que se adaptan a cualquier condición de estrés que el pulmón este pasando en la fibrosis quística lo que favorece a la bacteria para que sea difícil de erradicar llevando al paciente a ser un portador asintomático y en el peor de las cosas provocar un rápido deterioro que termina en una neumonía necrosante conocida ya como el síndrome de cepacia.<sup>28</sup>

La razón de mencionar dicho patógeno, dar a conocer ciertas características y consecuencias de su transmisión es porque estas bacterias tienen la capacidad para sobrevivir y proliferarse en los cuerpos de agua, en lagos, ríos y el agua para consumo humano; asimismo estas bacterias contaminan productos estériles y no estériles de las compañías farmacéuticas, como ser medicamentos, enjuagues, desinfectante, etc; a pesar de encontrarse con antimicrobianos y desinfectantes estas pueden continuar colonizando. El agua es el entorno más común en el que pueden causar la contaminación, generando preocupación a las casas farmacéuticas al recibir los suministros de agua.<sup>29</sup>

## E.3 PATOGENOS ASOCIADOS A LA CONTAMINACION DEL AGUA

### 3.1 GENERALIDADES

El consumo de agua contaminada, el contacto con la misma o la inhalación de partículas de agua (aerosoles) se ha asociado un riesgo importante en la salud del ser humano, ya que el agua de consumo humano no debería presentar microorganismos debido a que esto es perjudicial para la salud humana generando diversas patologías. La OMS recomienda que en el agua para beber no exista ninguna colonia de coliformes por 100 ml de agua.<sup>29</sup>

La contaminación del agua incluye no solo patógenos sino también otros tipos de elementos químicos y biológicos que se consideran dañinos e incluso tóxicos para el organismo, en este apartado nos vamos a enfocar en los patógenos que se encuentran en el agua y hay que tomar en cuenta que dependiendo de que microorganismos se encuentra se puede determinar cuál es la fuente de contaminación.<sup>29</sup>

### 3.2 BACTERIAS

La contaminación fecal se da mediante las bacterias coliformes, las enterobacterias, anaerobias facultativas, productoras de gas son algunos de los patógenos que se han encontrado en el agua y que son parte de los microorganismos presentes a nivel intestinal tanto en humanos como en animales, a su vez las esporas del *Clostridium perfringens*, el *Escherichia coli* y los *Enterococcus* también son indicadores de material fecal sin embargo los que más se utilizan para darle un seguimiento de la calidad del agua son *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp y esto es porque a pesar de que no pueden durar mucho en el agua hay mayores concentraciones de estos en las heces.

El agua procedente de ríos y presas contienen microorganismos como: *pseudomonas*, *Achromobacteria*, *Flavobacteris*, *Micrococos aerobios esporulados*, *Enterobacterias* y *estreptomycetos*. El agua procedente de tuberías contiene bacterias de hierro y reductoras de sulfatos. Uno de los microorganismos que se menciona que son inteligentes y capaces de sobrevivir las técnicas de purificación de agua son las pertenecientes al género de *Pseudomonas* ya que se ha visto que dichos bacilos anaerobios, gram negativos, tienen la capacidad de resistir al cloro y la razón por la que sucede esto es por presentar una capa de polisacáridos densa que les sirve como una barrera, incluso el uso de varios compuestos orgánicos con el fin de eliminarlo termina brindándole mayor capacidad para que resisten los factores ambientales. Dicho patógeno se ha aislado en varias fuentes de almacenamiento y redes de abastecimiento para el consumo humano, demostrando que a pesar de los procesos de desinfección a los que son sometidos, conservan su habilidad para sobrevivir y seguir multiplicándose.<sup>30</sup>

Otros microorganismos que se han detectado en el agua son las bacterias Gram negativas que pertenecen a: *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Flavobacterium*, *Bordetella*, *Gallionella*, *Moraxella*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter* y *Neisseria*. También se enumeran otros géneros como ser *Enterobacter* y *Klebsiella* que llegan a colonizar la superficie en el interior de las tuberías de agua y en los tanques de almacenamiento teniendo una característica peculiar que, al estar expuestos a temperaturas cálidas, a nutrientes, a desinfectantes en bajas concentraciones y a tiempos prolongados en almacenaje llegan a formar una biopelícula como protección.<sup>31</sup>

### 3.3 VIRUS

Siguiendo con los virus, estos no se encuentran en la flora ni de los humanos ni animales y la mayoría de las enfermedades víricas por la contaminación del agua son causadas por Rotavirus, virus de Hepatitis, enterovirus y Adenovirus, hasta el momento se conoce que hay más de 140 patógenos que se están transmitiendo por el agua. Los virus adquieren importancia especial en la salud pública ya que se evacuan en gran cantidad a través de las heces de los individuos infectados.<sup>32</sup>

### 3.4 Protozoos

Sin dejar a un lado a los parásitos, aquellos que pertenecen a los protozoos y a los helmintos también se han detectado en las fuentes de agua, estos en sus formas de ooquistes y trofozoitos, la mayoría logran ser detectados y eliminados en la filtración sin embargo hay otros en forma de ooquistes que llegan a ser resistentes al cloro logrando pasar de manera desapercibida por los procesos de desinfección hasta llegar a los hogares.<sup>30</sup>

Los helmintos se caracterizan por ser muy resistentes a los cambios que puedan ocurrir tanto en el pH como en la humedad y las temperaturas que se encuentran en el ambiente, a parte que no es necesario que haya una gran cantidad de ellos para poder infectar a las personas que lleguen a consumir el agua contaminada de los huevos. *Áscaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Paragonimus spp.*, *Schistosoma spp.*, *Necator americanus* y *Ancylostoma duodenale* son los principales helmintos que se ha demostrado que se encuentran en la transmisión de enfermedades por medio del agua.<sup>30</sup>

Algunos parásitos que se pueden mencionar que han sido detectados en el agua son los siguientes: *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Blastocystis* spp., *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *Cryptosporidium* spp. y ciertas especies de *coccidias*, siendo una de ellas la *Cystoisospora belli* y *Cyclospora cayetanensis*.

### 3.4 VECTORES

Los vectores como las moscas y mosquitos se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas, estos vectores infectan al ser humano con enfermedades como malaria, dengue, zika, etc siendo endémico en más de 100 países subdesarrollados.<sup>32</sup>

### 3.5 OTROS

Existen diversos agentes biológicos no patógenos que no son aptos para consumo humano y que contaminan el agua como ser algas verdes azuladas, diatomeas, algas flageladas, algas verdes y formas asociadas.<sup>31</sup>

### 3.6 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Los criterios para determinar la calidad del agua se determinan mediante la clase y número de bacterias que se encuentran en la muestra. Los métodos más usados son el aislamiento y el recuento del microorganismo.<sup>33</sup>

Existen diversos parámetros que podemos tomar en cuenta para determinar la calidad del agua, que se muestran en el siguiente recuadro.

Tabla 4: Límites Máximos permisibles para parámetros microbiológicos

Parámetros	Unidad de medida (UFC)	Límite máximo permisible
Bacterias coliformes totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
<i>Escherichia coli</i>	FC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
Virus	UFC / mL	0

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

Adaptada de: DS N°031-2010-SA, Dirección general de salud ambiental (DIGESA)- Perú.

## F. ENFERMEDADES HIDRICAS

### F.1 Hepatitis A y E:

Es una enfermedad antigua desde el siglo XVII, a principio de 1940 se inicia a hablar de esta enfermedad la cual es transmitida por la ingesta de material fecal, se conoce que tiene un periodo de incubación de aproximadamente 14-15 días y suele afectar más a la población pediátrica. Se conoce que es un virus ARN citopático, que es transmitida vía fecal oral y que se suele dar por la presencia de alimentos o aguas contaminadas con heces.<sup>33</sup>

Los síntomas de la hepatitis A y E son variables e incluso inespecíficos, por lo que se puede llegar a confundir con los demás tipos de hepatitis. Puede llegar a ser asintomática y la única manifestación va a ser laboratorialmente donde se observa la elevación de las aminotransferasas e incluso ya se observaría a un paciente icterico, a su vez puede ser sintomática desde el primer día hasta catorce días donde se observan los síntomas constitucionales como la pérdida de apetito, fatiga, fiebre y síntomas parecidos a los de la gripe.<sup>34</sup>

## F.2 PARASITISMO INTESTINAL:

La parasitosis intestinal es una enfermedad común durante la niñez y causan problemas de salud. La prevalencia y como afecta esta enfermedad esta asociada a mayor riesgo de morbilidad<sup>35</sup>. Los parásitos son vivos los cuales pueden ser uni o multicelulares y se alimentan del huésped (niños, adultos e incluso animales).<sup>35</sup>

En los países en desarrollo se conoce que esta enfermedad afecta en un 90% de la población y que se relaciona directamente con las condiciones socioeconómicas y ambientales, dentro de las socioeconómicas se conoce la desnutrición, características culturales, la contaminación de los suelos, aguas no potables, hábitos no higiénicos, la ausencia de saneamiento y dentro de los naturales se encuentra la humedad del suelo, lo que ayuda a la maduración de los huevos del parásito.<sup>36</sup>

## F.3 FIEBRE TIFOIDEA:

La fiebre tifoidea deriva su nombre del latín typhos, que significa “oscurecimiento de los sentidos o mente turbia”. Es una de las enfermedades sistémicas que es ocasionada por la bacteria gramnegativa Salmonella del serotipo typhi.<sup>36</sup>

Los seres humanos es el único huésped y reservorio de esta patología, la diseminación es por medio de las heces y orina contaminada, y se transmite por medio de la ingesta de estos mismos por medio de alimentos o agua. Este microorganismo también puede transmitirse por medio de las moscas las cuales portan las heces.<sup>37</sup>

Es necesaria la ingesta de grandes cantidades de este microorganismo para que llegue a afectar el sistema gastrointestinal y así causar las diferentes manifestaciones clínicas como ser fiebre, cefalea, artralgia, faringitis, estreñimiento, anorexia y dolor abdominal. Las manifestaciones clínicas pueden variar y presentarse hasta 14 días o incluso menos dependiendo de la cantidad del microorganismo en el cuerpo.<sup>38</sup>

#### F.4 DIARREA AGUDA Y CÓLERA

Se define como el aumento en el número de las evacuaciones, acompañadas de una reducción de su consistencia, así como de un incremento de su contenido líquido y a veces de constituyentes anormales en las heces, como sangre, moco o pus.<sup>38</sup>

Se trata de diarrea aguda aquella que tiene un periodo menor a 15 días, generalmente suelen ser casos de leves a severos dependiendo del agente causal. Entre las diarreas agudas encontramos por causa bacteriana *Vibrio cholerae* que es la causante de la enfermedad del cólera, esta afectaba con mayor auge en el territorio hondureño antes de la vacunación.<sup>38</sup>

#### El cólera

Su medio de transmisión es por agua y alimentos contaminados. El hombre es el único huésped natural. En zonas endémicas la mayor frecuencia ocurre en niños mayores, es raro en lactantes y la mayoría de los adultos adquieren inmunidad natural.<sup>38</sup>

Los síntomas gastrointestinales son los principales en esta enfermedad sobre todo los episodios diarreicos que suelen comenzar de manera brusca, si no es tratada a tiempo puede traer consigo síntomas acompañantes como la deshidratación, vómitos, cólicos, trastornos electrolíticos. También complicaciones como: alteración de conciencia, hipotonía, choque hipovolémico, íleo paralítico, insuficiencia renal aguda y arritmias cardíacas.<sup>39</sup>

Para evitar estas enfermedades es necesario tener cuidado con el uso de agua o la ingesta de alimentos que no estén contaminados, sobre todo en aquellas comunidades donde es imposible abastecer con agua potable a toda la población se debe de tener la limpieza de estas mismas para evitar complicaciones.

En múltiples estudios se han reportado la mortalidad es de 50% sin tratamiento, pero con el surgimiento de la terapia de rehidratación oral, ha disminuido a 1%.<sup>39</sup>

La clave para controlar el cólera y reducir el número de muertes consiste en adoptar un criterio multidisciplinario basado en la vigilancia, el agua, el saneamiento y la higiene, la movilización social, el tratamiento y la vacunación oral.<sup>40</sup>

#### F.5 Poliomiелitis

Es una enfermedad sumamente contagiosa ocasionada por el virus de la poliomiелitis. Se caracteriza por una parálisis flácida asimétrica.

Su manera de transmisión se da por contacto con las secreciones respiratorias y las heces de los individuos infectados, de forma esporádica por el contacto con objetos contaminados y aguas residuales.<sup>41</sup>

Gran parte de los infectados no presentan síntomas, pero los que manifiestan síntomas suelen dividirse en dos grupos principales:<sup>42</sup>

- Poliomiелitis abortiva: fiebre, vómitos, diarrea, cefalea y malestar.
- Poliomiелitis paralitica: fiebre elevada, cefalea intensa, vómitos y dolor en la región lumbar y cuello afectando a grupos musculares impidiendo la marcha.

Su prevención radica en la limpieza de alimentos, del consumo de agua potable, higiene tanto personal como comunitario. Sobre todo, la aplicación de la vacuna en edades pediátricas que ha sido uno de los principales métodos que ha ido mermando la enfermedad.

## **G. PREVENCIÓN DE LAS ENFERMEDADES Y TRATAMIENTO DEL AGUA**

La manera más efectiva para la promoción de salud es proporcionar el acceso al agua potable a la población, la calidad del agua es fundamental para tener un adecuado bienestar humano, cada tipo de agua para consumo humano tiene que cumplir con valores específicos para estas poder ser aptas para su utilización y estar libre de los distintos tipos de microorganismos que pueden causar distintas enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada o con un tratamiento inadecuado, el agua potable debe de ser sometida a distintos métodos de tratamiento ya sean físicos, químicos, biológicos o una combinación de ellos, esta debe de ser tratada antes de que lleguen a su consumidor ya sean utilizadas para consumo, higiene personal y limpieza de utensilios y electrodomésticos, sin embargo el derecho a esta no comprende el uso en la agricultura, solo en caso que sea utilizada para la prevención del hambre.<sup>43</sup>

Existen distintos tipos de procesos empleados para el tratamiento de agua para consumo humano entre los cuales se encuentran:<sup>43</sup>

1. Cribado: En el cual se eliminan elementos de mayor tamaño que podrían llegar a encontrarse en el agua como ser plásticos, piedras, madera etcétera; mediante su filtrado en los cuales los materiales se retienen.

2. Coagulación-floculación: consiste en la adición de coagulantes en el cual se desestabiliza partículas coloidales y luego estas formaran los floc mediante su aglomeración.
3. Sedimentación: proceso en el cual se remueven las partículas restantes en el agua.
4. Filtración: proceso en el cual se separan partículas y microorganismo, es la fase responsable de que la calidad de agua sea adecuada.
5. Desinfección: último proceso al cual es sometido el agua en el cual se destruyen los organismos que sean potencialmente infecciosos.

Toda el agua que está destinada para su consumo o para su utilización en un ámbito de viviendas se debe procurar que pase por los pasos correctos para que sea apta para su utilización y consumo, ya que en una reunión en el 2002 el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la ONU se reconoció el derecho al agua y el derecho al saneamiento ya que esta es indispensable para el cumplimiento de todos los derechos humanos.<sup>44</sup>

El poco control que esto tiene puede repercutir en gran parte de la población, el agua de consumo humano debe de estar en constante vigilancia, para conocer su calidad, las fuentes de consumo y la manera de potabilización, además de identificar los distintos microorganismos que esta pueda contener, a manera de prevenir enfermedades que pueda ser transmitida por el agua a la población, ya que estas se han visto ligadas a un menor rendimiento en la población y se asocia a mortalidad infantil y el aumento de casos de diarrea en las personas.<sup>45</sup>

## H. BENEFICIOS DEL CONTROL Y VIGILANCIA E LA CALIDAD DE AGUA

La calidad de agua y la salud se relacionan mutuamente para el bienestar de la población, en la declaración del ama ata habla de la importancia de atención primaria en salud y como la calidad de agua se debe priorizar por su relación con la salud de la población, en el año 1992 se establecen principios para la relación del agua y el desarrollo sostenible los cuales aún continúan vigentes, estos principios nos dicen que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable pero esencial para el desarrollo y que para mantener estos recursos se debe educar a la población sobre su importancia y que el agua es un derecho fundamental de todo ser humano, el tener el acceso a agua potable y a un precio adecuado.<sup>46</sup>

Existen diversos grupos biológicos que se utilizan para la vigilancia de la calidad de agua en los cuales se buscan macroinvertebrado los cuales son organismos bioindicadores particulares y la alteración de estos indican un alteración de la calidad de agua, cada uno de los micro invertebrados son especializados para reconocer un ambiente específico, lo que indica una buena calidad de agua es la presencia de efemerópteros, plecópteros y tricópteros los cuales se van a encontrar en agua oxigenadas y poco profundas, a diferencia que se encuentran quironómidos y ceratopogónidos indican que la procedencia de agua es fangosa y profunda.<sup>47</sup>

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### Diseño de la investigación

Estudio observacional cuantitativo descriptivo que consta de tres fases:

- Recolección de muestras de agua en las viviendas seleccionadas de la comunidad.
- Recolección de datos epidemiológicos comunitarios y en viviendas incluidas en el estudio.
- Análisis descriptivo de datos.

### Enfoque de la investigación

El presente proyecto de investigación fue elaborado el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo. Puesto que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

### Población

Las comunidades que se beneficiaron de los afluentes principales del municipio de Valle de Ángeles en el departamento de Francisco Morazán.

### Duración del Estudio

El estudio se realizó entre los meses de 1 de octubre al 30 de diciembre del año 2021, en el mes de octubre se formularon las preguntas que se aplicaron en la encuesta, posteriormente se envió para su aprobación, en el mes de noviembre se planificó las fechas probables para la aplicación de la encuesta y la toma de muestras en las diferentes fuentes de abastecimiento de agua en el municipio de Valle de Ángeles, entre el mes de noviembre y diciembre se realizó el análisis de los datos obtenidos en las encuestas realizadas.

El procesamiento de las muestras para la detección microbiológica se encuentra aún pendiente de analizar. La presentación del informe final se realizó en febrero 2022.

### Muestra y muestreo

Se seleccionaron 7 de las 25 juntas de agua siendo estas las principales fuentes de abastecimiento en el municipio de Valle de Ángeles en Francisco Morazán tomando en cuenta que son las de mayor abastecimiento y otras juntas dependen de estas. A su vez se seleccionaron 30 hogares de estas zonas para colocar la encuesta se eligió por conveniencia por su cercanía a las juntas de agua. Se escogió al jefe del hogar para el llenado de la encuesta.

Cada uno de los hogares se recogió una muestra de agua de 2 litros de acuerdo con la técnica descrita en el anexo 1. Esta muestra se transportó al Instituto Baxter en Tegucigalpa donde será analizada la plataforma de secuenciación Oxford Nanopore MinION en el país de Estados Unidos.

En cada hogar se tomaron datos epidemiológicos de acuerdo con cuestionario de las del anexo 2.

Se llevó registro de gasto incurridos en todo el proceso para el informe final de gasto del proyecto, determinar costo, inversión en tiempo y otros detalles socio culturales.

### **Técnicas de recolección de datos**

#### Encuesta epidemiológica (Anexo 2)

Se realizó una encuesta la cual consta de 16 preguntas cerradas enfocadas en los habitantes del municipio de Valle de Ángeles, en las cuales se tomó en cuenta medioambiente, población en riesgo y presencia de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada, se aplicó a cada jefe de hogar, con un tiempo aproximado de llenado de 5 minutos.

Recolección de muestra de agua en recipiente estéril. (Anexo 3)

Se realizó la toma de muestras en distintas juntas de agua en conjunto con un técnico en saneamiento ambiental, siguiendo los lineamientos de recolección brindados, estos posteriormente fueron almacenados en hieleras para mantener su temperatura fueron transportadas al laboratorio para su procesamiento.

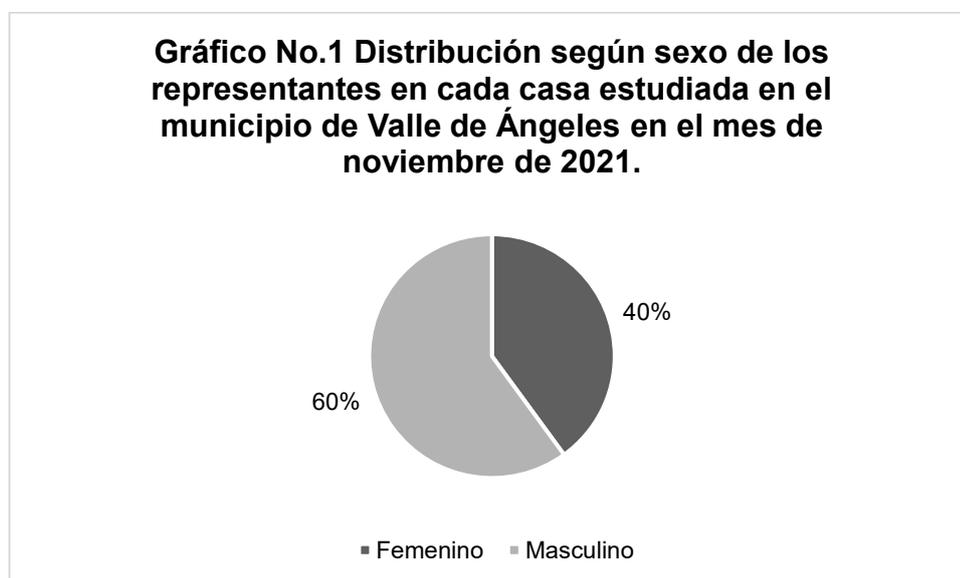
### **Técnicas de procesamiento de datos**

Los datos se recopilarán durante secuenciación mediante el software MinKNOW en Linux, las lecturas de los resultados se almacenarán en FASTQ y FASTA archivos para análisis posteriores uso de rutina el Laboratorio integrado de análisis del genómicos del Dr. Machalak en la Universidad de VCOM. Esto está en proceso en este momento.

El análisis de datos de las encuestas se realizo con el programa de Epi-Info 7, SPSS versión 26 y MS Excel.

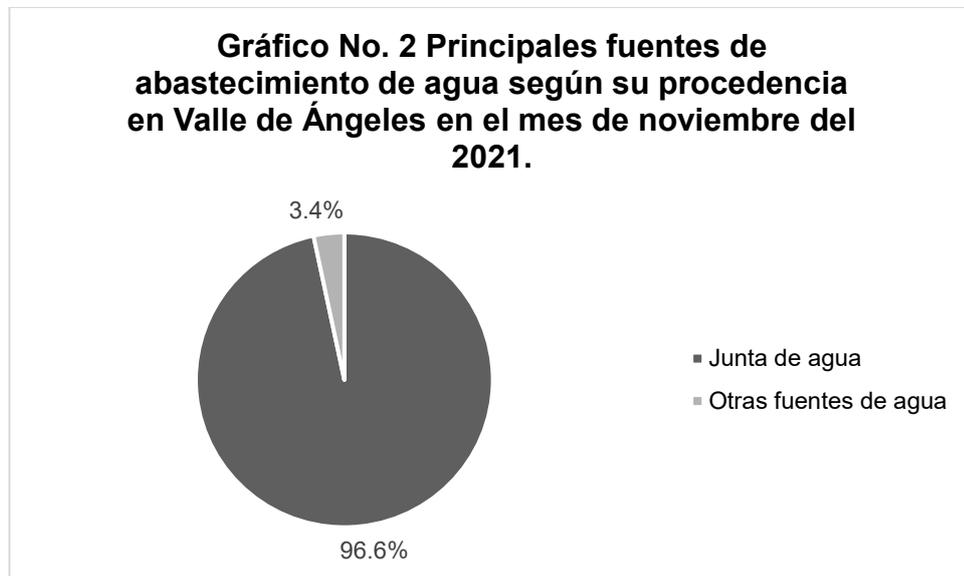
## CAPÍTULO IV. ANALISIS Y RESULTADO

El municipio de Valle de Ángeles cuenta con 25 juntas de agua. Para nuestro estudio se decidió seleccionar 7 por ser las principales fuentes de abastecimiento y 30 viviendas por conveniencia debido a su cercanía con dichas fuentes. Se tomaron muestras de agua y se entrevistó al jefe de familia de cada vivienda siendo un promedio de 4 casas por junta.



De las 30 casas estudiadas, se observó que en 60% (18/30) casas el representante es del sexo masculino y 40% (12/30) es del sexo femenino. Es común que en países en desarrollo el sostén de la familia sea del sexo masculino.

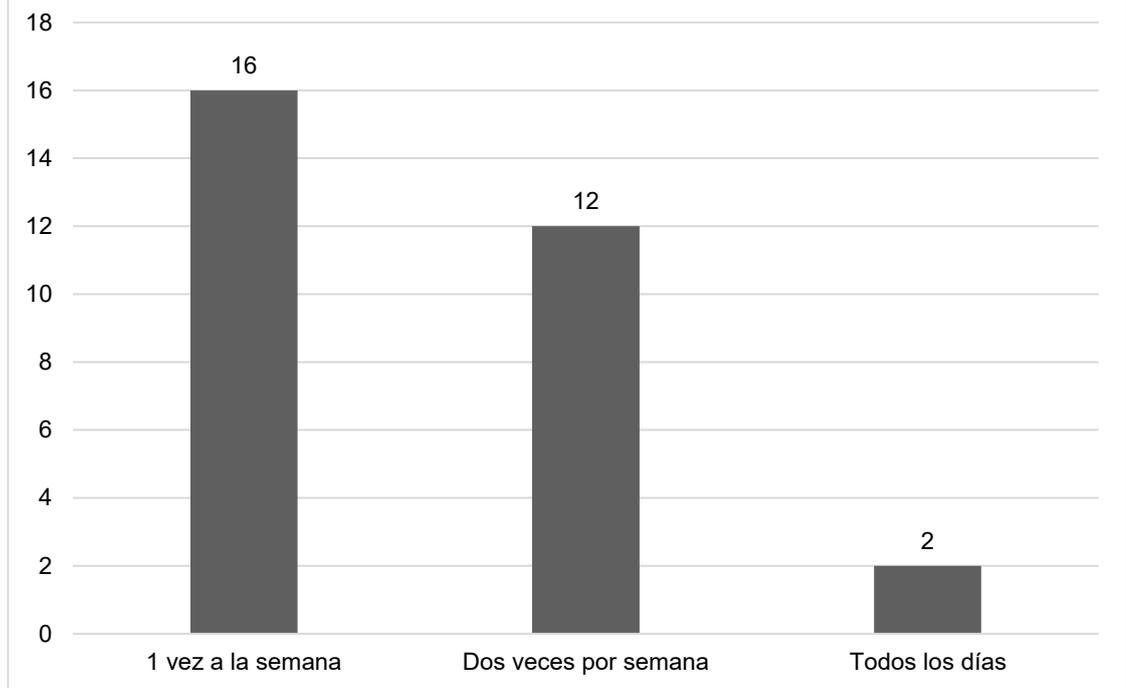
**Gráfico No. 2 Principales fuentes de abastecimiento de agua según su procedencia en Valle de Ángeles en el mes de noviembre del 2021.**



El municipio de Valle de Ángeles cuenta con 25 sistemas de agua que son administradas por las juntas de agua. De las cuales se tomó como muestra 7 sistemas de agua (el Molino, el Tablón, la Esperanza, Cerro Grande, Miravalle, SANAA, Liquidámbar.).

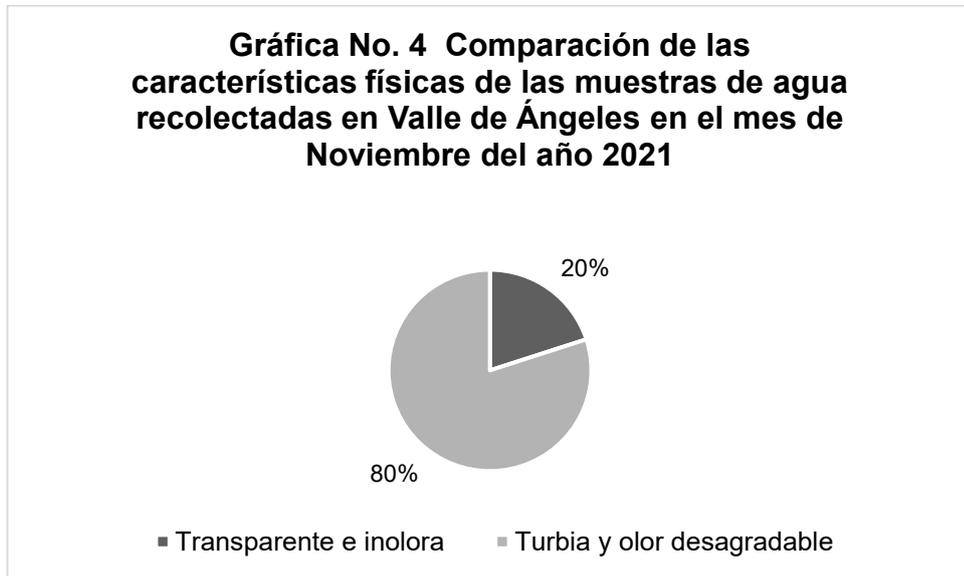
La principal fuente de abastecimiento en el municipio de Valle de Ángeles es por juntas de agua con un 96.6% (29/30), y el 3.4% (1/30) de otras fuentes de agua (quebradas, lagunas, lluvia, pozos)

**Gráfico No. 3 Frecuencia de abastecimiento de agua en las viviendas encuestadas en el municipio de Valle de Ángeles en el mes de noviembre de 2021**



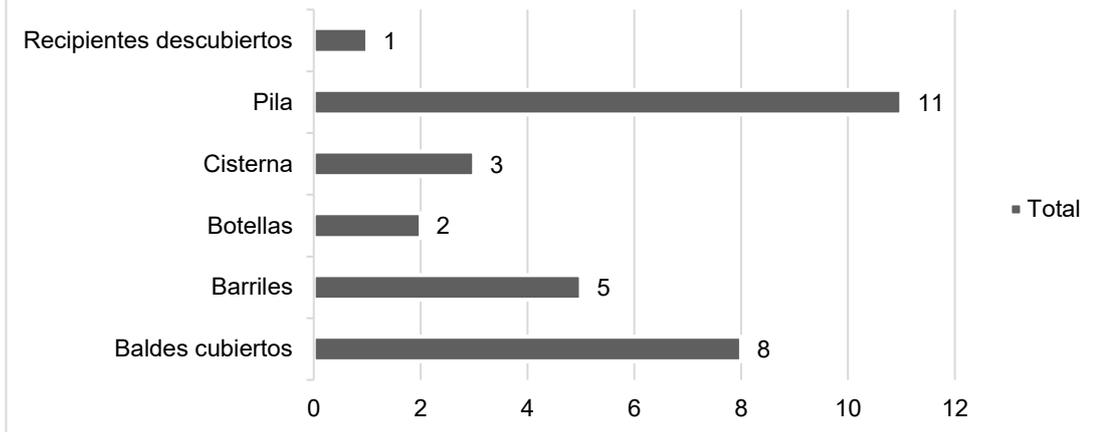
En un estudio encontrado en el 2008 se reportó que las juntas de agua se abastecen 4 veces por semana y en nuestro estudio se observó un cambio en la frecuencia del abastecimiento de agua en el municipio, donde se abastecen 1 vez a la semana siendo este un 53.3% (16/30), dos veces por semana en un 40% (12/30) y todos los días 6.7% (2/30); esto puede deberse al aumento de la población y a los cambios climáticos que han afectado a nivel mundial provocando la escasez de agua.

**Gráfica No. 4 Comparación de las características físicas de las muestras de agua recolectadas en Valle de Ángeles en el mes de Noviembre del año 2021**



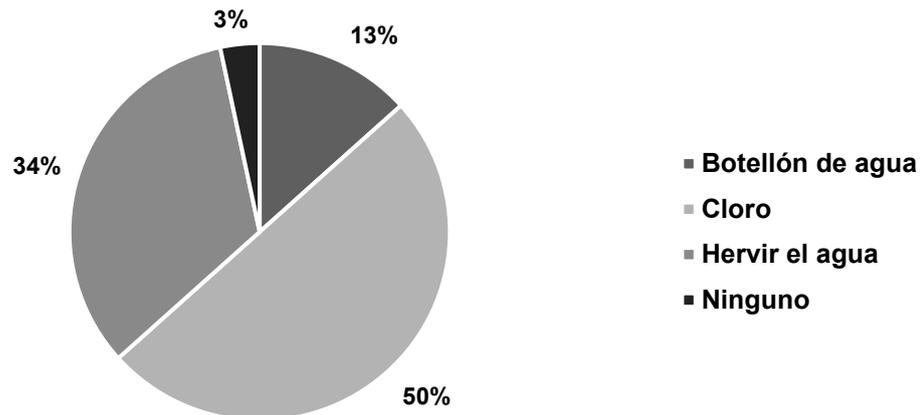
De las características físicas encontradas en el agua que es distribuida en el municipio de Valle de Ángeles el 80% (24/30) se encontraba turbia y olor desagradable y el 20% (6/30) es transparente e inolora; según los pobladores refieren un incremento en la turbidez durante los periodos de invierno, esto podría deberse según bibliografía consultada que los sistemas de agua no están cerrados y hay algunas fuentes con cultivos alrededor de estas; tomando en cuenta las características físicas del agua debe ser incolora, inolora e insípida para ser de calidad.

**Gráfica No. 5 Principales Formas de almacenamiento del agua para consumo en Valle de Ángeles en el mes de noviembre del 2021**



De los principales métodos de almacenamiento de agua predomina el uso de pila 36.6% (11/30) seguido de baldes cubiertos 26.6% (8/30), siendo en su minoría recipientes descubiertos y botellas, pese a que las cisternas cuentan con gran capacidad de almacenamiento, la minoría de las casas visitadas cuentan con estas. Según la OMS recomienda almacenar el agua que será consumida en botes estériles, rotulados que incluyan fecha, reemplazar el agua cada 6 meses, con una temperatura fresca entre 10-21°C y debe evitarse el contacto con herbicida o sustancias químicas/tóxicas.

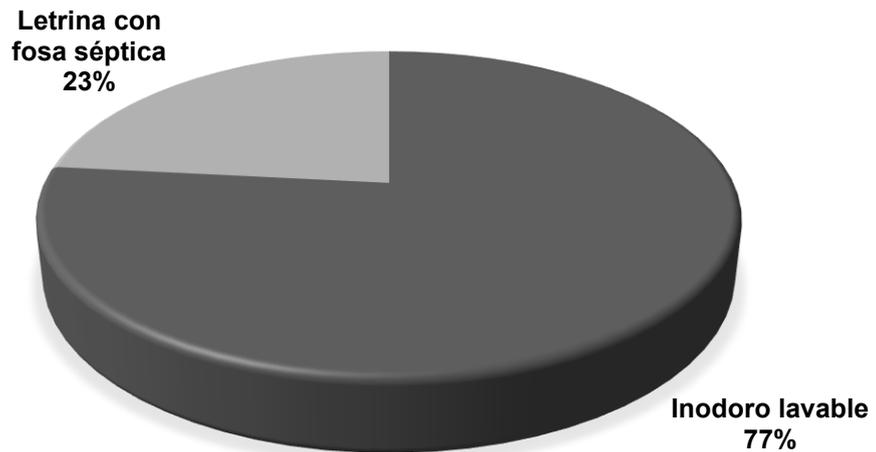
**Gráfica No. 6 Métodos de purificación del agua para ingesta humana utilizada en las viviendas encuestadas de Valle de Ángeles en el mes de Noviembre del 2021**



La mayoría de la población muestra consumen agua purificada, utilizando como método de purificación el cloro en un 50% (15/30) y hervir el agua en un 34% (10/30), esto favorece a disminuir la incidencia de síntomas gastrointestinales asociados a la ingesta de agua no tratada.

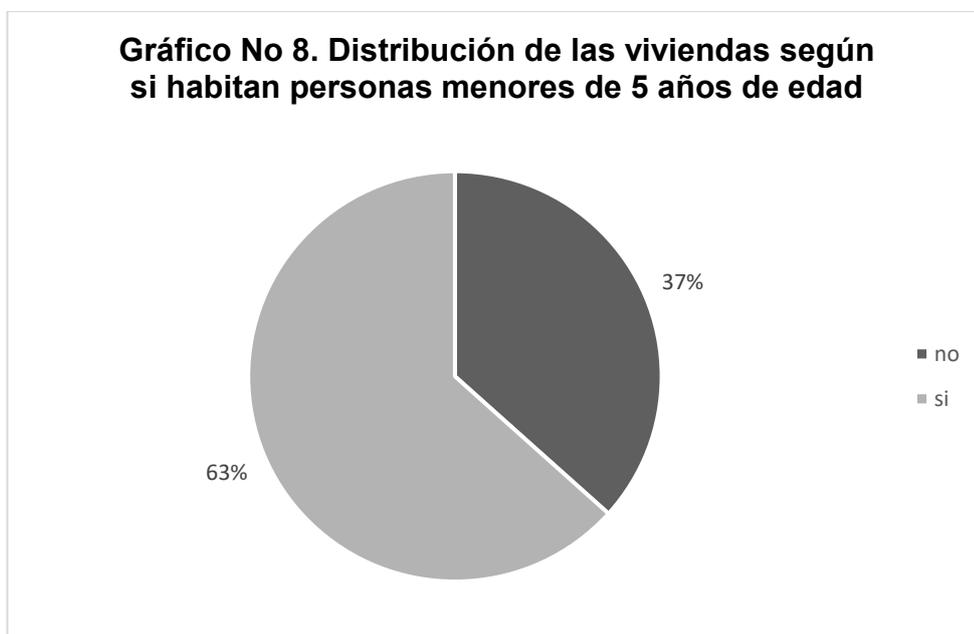
Según la OMS, el nivel óptimo para la purificación del agua debe andar entre 0.2 a 0.5 mg/L, de las 7 juntas que fueron analizadas en su mayoría se encontraban en 0.2 - 0.3 mg/l.

**Gráfica no. 7 Tipo de servicio sanitario disponible en el hogar en Valle de Ángeles en el mes de noviembre del 2021**



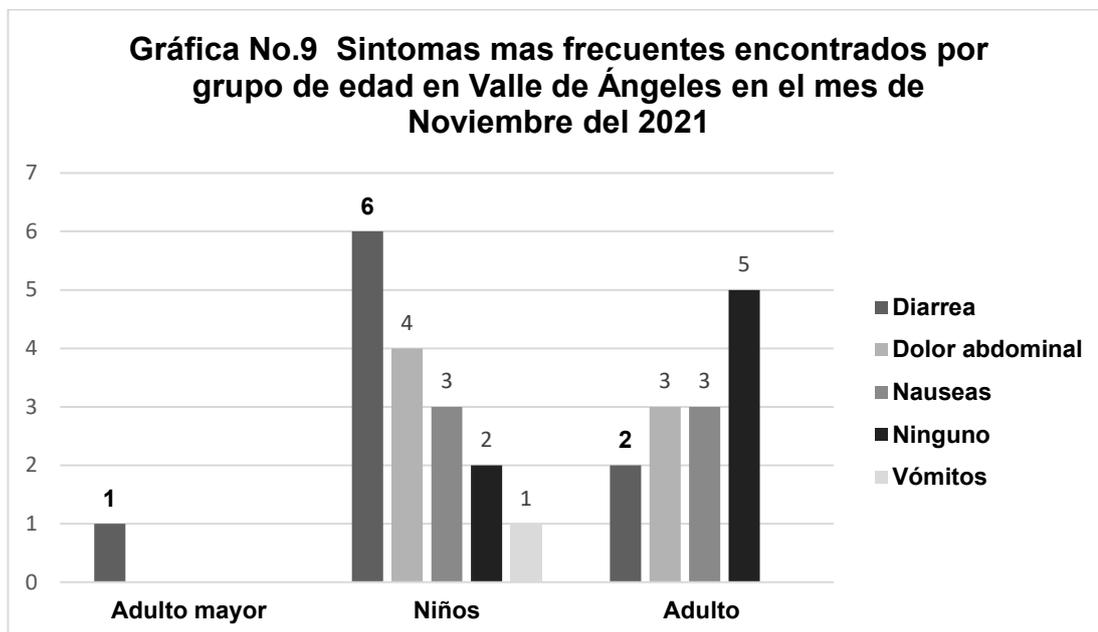
Según la alcaldía municipal del municipio de Valle de ángeles en el año 2019 el 71.4% de las personas cuenta con servicio sanitario en sus casas, seguido con un 45.5% letrinas de fosas sépticas. En nuestro estudio se reportan datos similares predominando el uso de inodoro lavable en un 77% (23/30), en comparación a su contraparte letrina con fosa séptica con un 23% (7/30) encontradas en zonas aledañas del centro de la municipalidad.

**Gráfico No 8. Distribución de las viviendas según si habitan personas menores de 5 años de edad**



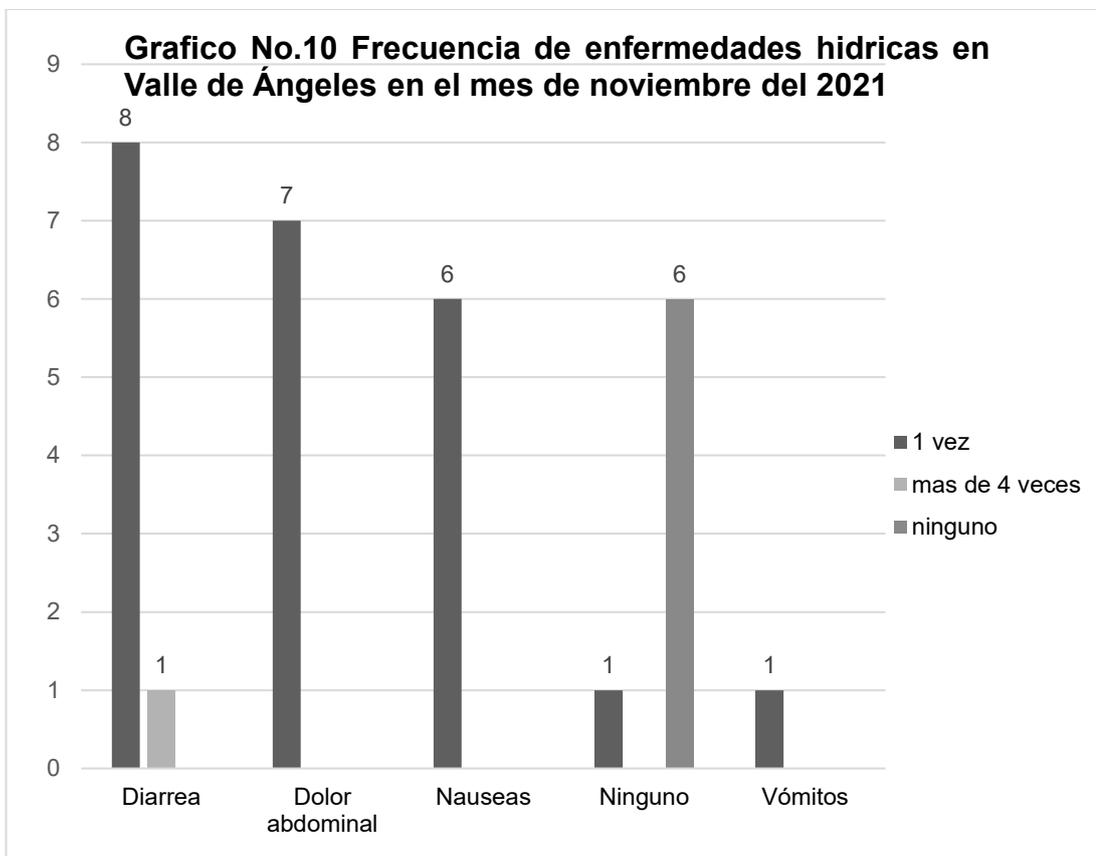
De las casas encuestadas en 63% (19/30) afirmó la presencia de menores de 5 años, siendo estos los más susceptibles a desarrollar enfermedades asociadas al consumo de agua.

Según la OMS, aproximadamente 297,000 niños menores de cinco años mueren debido a enfermedades asociadas a malas condiciones sanitarias o falta de agua potable.

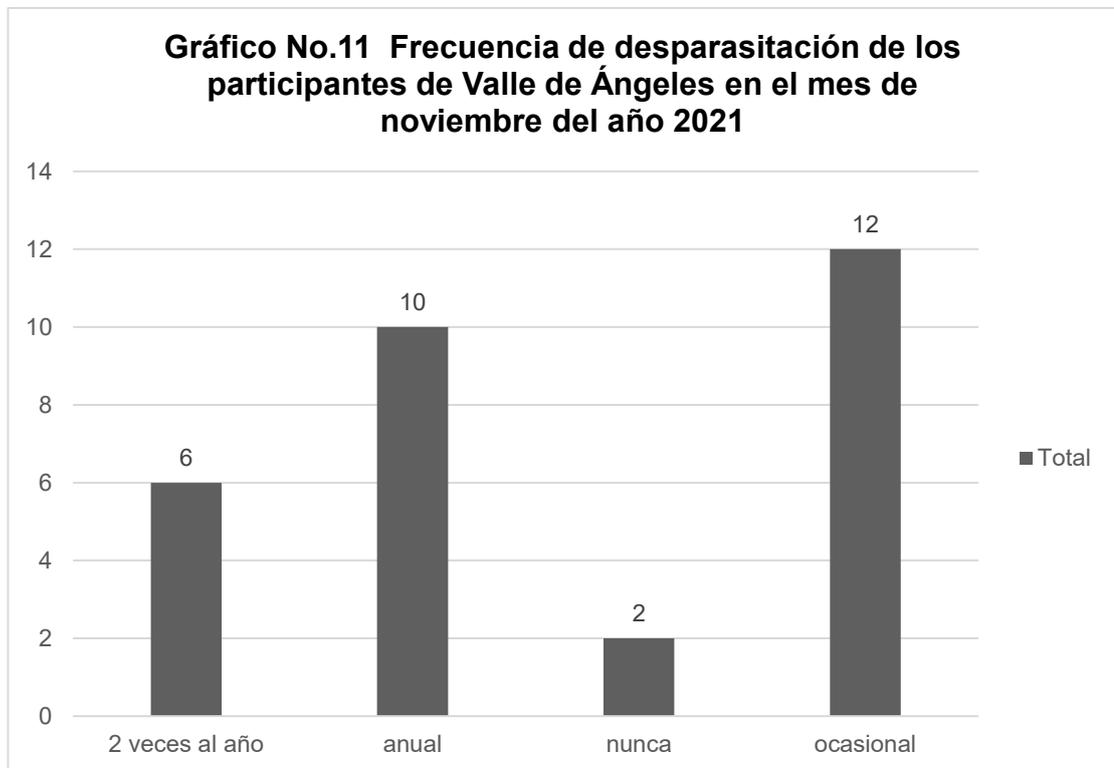


Según bibliografía consultada datos estadísticos de la alcaldía municipal de Valle de Ángeles en el año 2019, reportan que entre las enfermedades más comunes que afectan a la población se encuentra con un 21.6% de personas con IRAS, un 17.5% de personas con hipertensión arterial, un **11% de personas con diarrea**, y con un 10.3% presentaron asma bronquial.

La encuesta de este estudio contenía una pregunta que pretendía evaluar si al menos un miembro del hogar había presentado síntomas relacionados a enfermedades transmitidas por el agua en el último año. Se encontró que los miembros del hogar más afectados eran los infantes. La principal manifestación clínica fue la diarrea 20% (6/30), seguido de dolor abdominal 13.3% (4/30). Por lo cual, es necesario tomar medidas preventivas para el adecuado saneamiento del agua y así evitar enfermedades asociadas a estas.

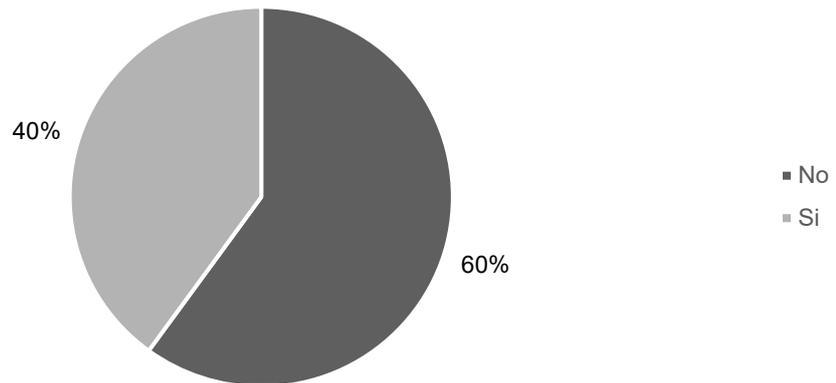


El 73.3% (22/30) de los miembros de los hogares a los que se les aplicó la entrevista han presentado al menos 1 vez al año enfermedades relacionadas al consumo de agua, siendo la principal manifestación los síntomas gastrointestinales sobre todo diarrea 26.6% (8/30) por lo que se debe tomar en cuenta ya que esta es la principal causa de mortalidad infantil, la cual es causada por la ingesta de agua contaminada o a través de sus diversos usos cotidianos: preparación de comidas, aseo o incluso inhalación.



Casi todos los encuestados se desparasitan (93%, 28/30), algunos ocasionalmente 40% (12/30), otros al menos una vez al año 33% (10/30). Debemos tomar en cuenta que el parasitismo intestinal es un problema de salud mundial principalmente en países subdesarrollados, por lo cual el antiparasitario tiene como objetivo reducir la morbilidad mediante la disminución de la carga o intensidad parasitaria, por lo cual se realizan campañas masivas en grupos en riesgo para mantener la infección controlada. Podemos observar que en el municipio de Valle de Ángeles presenta una tasa baja de desparasitación según datos obtenidos en nuestra investigación, por lo que es necesario tomar medidas preventivas mediante la educación de la población para disminuir síntomas gastrointestinales asociado a enfermedades hídricas.

**Gráfico No. 12 Medidas higienicas en las viviendas y su entorno en Valle de Ángeles en el mes de noviembre 2021**



El 60% (18/30) de las viviendas no cuenta con medidas higienicas adecuadas tampoco en su entorno, basándonos en los siguientes parámetros: presencia de criaderos de zancudos, presencia de basura, casa y patio limpios.

Por lo que se determina que la higiene de la vivienda y su entorno es un factor influyente en la calidad de agua según nuestra investigación. Además de tener en cuenta el cuidado y tratamiento del agua se debe de tomar medidas de higiene necesarias en las viviendas y su entorno, ya que estos dos factores sumados influyen considerablemente en las enfermedades transmitidas por alimentos

**Tabla No. 5. Asociación entre medidas higiénicas de la vivienda y el entorno con la frecuencia de personas que han presentado diarrea en el último año.**

¿Alguien de la familia ha presentado al menos un cuadro de diarrea en el último año?	Se observa la vivienda y entorno con medidas higiénicas		Total
	No	Si	
Al menos un cuadro de diarrea en el último año	13	11	24
Niegan	5	1	6
Total	18	12	30

$$\text{Pearson } \chi^2(1) = 1.7014 \quad \text{Pr} = 0.192$$

Se encontró que no existe asociación estadísticamente significativa entre las medidas higiénicas de la vivienda y el entorno con la presencia de enfermedades diarreicas en las personas que habitan en la vivienda. Sin embargo, se requerirá de una muestra más grande para corroborar este dato.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

El municipio de Valle de Ángeles cuenta con 25 juntas de agua de las cuales estudiamos 7 de ellas, que abastecen a la comunidad. Durante la recolección de muestras se logró identificar las características físicas del agua como el aspecto el cual fue turbio, olor: desagradable e insípida, macroscópicamente no se observó presencia de materia fecal, larvas u otro elemento forme. En los parámetros químicos solo se determinó las concentraciones de cloro las cuales se encontraban dentro de los parámetros permitidos por la OMS. Sin embargo, no se logró determinar parámetros biológicos debido a que las muestras se encuentran pendientes de analizar. Por lo que se determina que el agua no es apta para consumo humano tomando en cuenta los elementos ya estudiados.

La carga de ETAs encontradas en el municipio de Valle de Ángeles fueron los síndromes diarreicos en un 20%, parasitismo intestinal, síndrome emético afectando principalmente a la población infantil menor de 5 años en un 63%.

No se logró caracterizar la microbiota en las fuentes de Valle de Ángeles, debido que aún no se han procesado las muestras en el laboratorio de de análisis genómicos del Dr. Machalak en la Universidad de VCOM de Estados Unidos por motivos de la pandemia Sars-Cov2 2019.

No se logró determinar la relación entre la presencia de microbiota y las observaciones in situ de la vivienda. Además, se encontró que las medidas higiénicas de la vivienda y el entorno demuestra en nuestro estudio que no existe relación significativa para el desarrollo de enfermedades diarreicas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

A las distintas juntas de agua y SANAA, estandarizar el tratamiento, sistema de filtro y manejo que se le brinda al agua previo a su distribución a los diferentes barrios y viviendas para mantener un control óptimo de la calidad del agua de forma global.

A la alcaldía de Valle de Ángeles, crear conciencia en los centros de atención médica y escuelas sobre el manejo, recolección y almacenamiento correcto del agua potable para sus distintos usos. Así como la limpieza de su entorno y la eliminación de desechos orgánicos e inorgánicos.

Promover jornadas de salud sobre desparasitación al menos una vez al año a la población en general además de concientizar sobre la prevención de las patologías asociadas al consumo de agua contaminada o mal tratadas.

Dar seguimiento al proceso de análisis microbiológico de estas fuentes para identificar los principales patógenos que afectan la calidad del agua.

## **DIFICULTADES**

Al llevarse a cabo esta investigación se presentaron ciertos problemas los cuales no estaban previstos, sin embargo, se trabajó en encontrar soluciones para evitar el atraso de todo el proceso de investigación. Se revisó que se tuvieran todos los materiales necesarios siendo botellas de vidrio Fisherbrand™, hieleras, marcadores para rotular cada muestra, solución de cloro, alcohol, guantes; el primer problema fue que se tuvo que reducir la cantidad de muestras ya que no se contaban con la cantidad suficiente de botes estériles, por lo que también se tuvo que tomar las muestras en dos días separados ya que se tenían que esterilizar los botes para reutilizarlos.

En el filtrado de las muestras se nos presentaron dos problemas, el primero fue que la máquina del filtrado se encontraba en mal estado ya que solo se podía filtrar 1 litro de agua y se recalentaba. El segundo problema es que no se contaba con suficientes filtros, los cuales se investigó para poder adquirirlos, pero al ser filtros específicos no se pudieron encontrar en nuestro país, se cotizó en Estados Unidos pero su precio era elevado.

Las muestras procesadas que se almacenó en el congelador preparadas para ser enviadas a Edward Vía College of Osteopathic Medicine (VCOM) en el estado de Virginia, Estados Unidos, no pudo llevarse a cabo en este momento por la situación del COVID, siendo difícil poder enviarlas e incluso que los encargados de VCOM viajaran a Honduras a llevarse las muestras, por lo que este proceso todavía se encuentra atrasado y en espera de poder procesarse

## BIBLIOGRAFÍAS

1. Gundry S, Wright J, Conroy  
A systematic review of the health outcomes related to household water quality in developing countries. *J Water & Health*. 2003; 2(1):1-13.
2. Aguilar O, Prins C, Faustino J, Madrigal R. La gestión del agua en Valle de Ángeles, Honduras. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) [Tesis Pregrado]. 2018;1-56.
3. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. *Water for Life: Making it Happen*. Geneva. 2005-2015.
4. Término calidad [Internet]. Cambridge dictionary. [citado el 3 de febrero de 2022]. Disponible en:  
<https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/spanish-english/calidad>
5. Calidad del Agua [Internet]. Usgs Science for a changing world. 2017. Disponible en: <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>
6. Pogrebinschi, Thamy. *LATINNO Dataset*. Berlin: WZB. 2017.
7. Enfermedades relacionadas con el agua. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinkingwater#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,muertes%20por%20diarrea%20al%20a%C3%B1o>.

8. Agua Segura, agua saludable. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43840/9789241596435\\_eng.pdf;jsessionid=D95692954BE580FF2E80CA3786DB7498?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43840/9789241596435_eng.pdf;jsessionid=D95692954BE580FF2E80CA3786DB7498?sequence=1)
  
9. Molinas M. Determinación de calidad de agua del Arroyo Guasú mediante parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y macroinvertebrados (Tesis de Licenciatura). FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION, SAN LORENZO, Paraguay. 2018; 14(6):1-79. Disponible en: <https://www.academica.org/maria.gregoria.galeano.molinas/2.pdf>.
  
10. Calidad del agua en las Américas, riesgos y oportunidades. La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). 2019. Disponible en: [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Am%C3%A9ricas\\_2019.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/Calidad-de-agua-en-las-Am%C3%A9ricas_2019.pdf)
  
11. Minchan Calderon A, Vasquez Leon B, Moreno Gutiérrez, Ordoñez Fuentes F, Rojas Arteaga N, et al. Vigilancia y Control de la calidad de agua. Lima: Ministerio de salud, Instituto Nacional de Salud. 2017;5(1):1-33. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4516.pdf>
  
12. Eugenia Ibararán M, Mendoza A, Pastrana C, et al. Determinantes socioeconómicos de la calidad del agua superficial en México. Región y sociedad. 2017; 29(69):1-10. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252017000200089](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252017000200089)

13. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Término Agua. Naciones Unidas. 2021. Disponible: <https://www.un.org/es/global-issues/water>
14. Huaman-Vilca S, Lucen-Espinoza M, Paredes-Vite M, et al. Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). South Sustainability. 2020; 1(2):89-96. Disponible en: <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/779/747>
15. Término Agua: Panorama General. Banco mundial. 2021. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>
16. Mora Alvarado D, Portuguez C. Agua para Consumo Humano en Costa Rica: De los Objetivos de Desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2018; 1(6):1-45. Disponible en: <https://dspaceaya.igniteonline.la/handle/aya/270>
17. Villena Chávez J. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2018; 35(2):304.
18. Ruiz M. Disponibilidad y calidad del agua en el embalse Los Laureles de Tegucigalpa, Honduras y su relación por efecto de la variabilidad climática. Repositorio.unan.edu. 2021; 2:1-230. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/10971/1/01781.pdf>

19. Guías para la calidad del agua de consumo humano. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
20. Guadarrama R, Kido J, Roldan G, Salas M. Contaminación del agua. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales 2016; 2(5): 1-10.
21. Gómez O. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Rev. Fac. Med. 2018; 66(1):7-8.
22. Guevara Calero K, Claret Perez J. Causas y consecuencias de la contaminación en el lago de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad Regional Multidisciplinaria UNAN Managua. 2015; 1:4-67.
23. Grijalva Endara A, Jiménez Heinert M, & Ponce Solórzano H. Contaminación del agua y aire por agentes químicos. Recimundo. 2020; 4(4):79-93.
24. Tuesca R, Ávila H, Sisa A, Pardo D. Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. Editorial Universidad del Norte. 2015; 1:1-190.
25. Guevara Calero K, Claret Perez J. Causas y consecuencias de la contaminación en el lago de Nicaragua. Unan Managua 2016; 1:1-66. Disponible; <https://repositorio.unan.edu.ni/1763/1/10394.pdf>

26. Molina R, Ávila H, Sisa A, Pardo D. Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. Editorial Universidad del Norte. 2015; 1-171. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/579327.pdf>
27. Burkholderia cepacia Complex Bacteria: A Feared Contamination Risk in Water-Based Pharmaceutical Products. American Society for Microbiology Clinical Microbiology Reviews. 2020; 33(3):1-56. Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/CMR.00139-19>
28. Santiago H. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de san Antonio de rancas, del distrito de simón bolívar, provincia y región pasco. Universidad nacional Daniel Alcides Carrión. [Tesis Pregrado]. 2018; 1:1- 142.
29. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid R, Gutiérrez-Builes L. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Publica, 2017; 35(2): 236-247.
30. Mariscal-Santi W; Garcia-Larreta F; Mariscal-Garcia R; Paredes-Jara C; et al. Presencia de Microorganismos patógenos en las aguas del Estero Salado. Pol. Con. 2018; 18(3):150-161.
31. Elías Silupo J, Avalos C, Medrano Obando J. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano y enfermedades diarreicas en el Distrito de Razuri provincia de Ascope, La libertad- Peru. PURIQ. 2020; 2(1):1-22.

32. Díaz C, Fall C, Quentin E, Jiménez M, Esteller M, et al. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. 2003.
  
33. Herrera Corrales Jorge Andrés, Badilla García Jenny. Hepatitis A. Med. leg. Costa Rica. 2019; 36(2): 101-107.
  
34. Zuta-Arriola N, Rojas-Salazar A, Mori-Paredes M, Cajas-Bravo V. Impacto de la educación sanitaria escolar, hacinamiento y parasitosis intestinal en niños preescolares. Revista de investigación en comunicación y desarrollo. 2019; 10(1):47-56.
  
35. Licona-Rivera T, Medina-Gómez M, Acosta-Ramírez S, Tinoco-Franzua R. Parasitismo Intestinal y anemia en niños. Investigación en San Vicente Centenario, Santa Barbara. Universidad Nacional Autónoma de Honduras UNAH. 2014. Pag. 1-79.
  
36. Oliva-Marín J. Fiebre tifoidea, el arte del diagnóstico por laboratorio. Alerta 2020; 3(1): 33-37.
  
37. Bush L, Vázquez M. Fiebre Tifoidea. Manual MSD 2020.
  
38. Tovar S. Diarrea Aguda y Cólera. Honduras pediátrica. 2011; 20(3):89-72.

39. Zelada A, Talena Y, Alfredo R. El cólera: una enfermedad infecciosa reemergente. El candidato vacunal cv 638, una herramienta para su prevención. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 2015; 46(2):131-143.
40. Cólera. Organización Mundial de la Salud (OMS). 2021. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cholera>
41. Falleiros L, González S, Domingues S, Brea J, De Colsa A. Estado actual de la poliomielitis en Latinoamérica. Rev Chilena Infectol 2020; 37 (6): 701-709.
42. Poliomielitis. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2021. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/poliomielitis>
43. Chilluncuy-Camacho N. Tratamiento de agua para consumo humano. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú). [Tesis Ing. Industrial]. 2011; 0(29):153-70. Disponible en: [https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/view/232](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/232)
44. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid R, Gutiérrez-Builes L. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2017; 35(2): 236-247.

45. Salas J, Maraver F, Rodríguez L, Sáenz M, Isidro V, Moreno L. Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual. *Nutr. Hosp.* 2020; 37(5): 1072-1086.
46. Terneus E, Yanez P. Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja.* 2018; 27(1):36-50. Disponible en: <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
47. Villena Chávez J. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública.* 2018; 35(2):304-308.

## ANEXOS

Anexo 1: Técnica de recolección de muestra.

### **Preparación para la toma de muestras de agua**

1. Identifique lugares de muestreo de agua de interés estratégico cerca de su localidad. Algunos ejemplos son:

- Río de suministro de agua para la localidad,
- Fuente de agua para la escuela local u otro lugar público,
- Arroyo en el área local que es un importante lugar de recreación, natación u otro uso público.

2. Recopilar información sobre el agua en su área para determinar el estado y la calidad del agua y la oportunidad de realizar pruebas locales, tales como

- Prácticas estándar de análisis del agua por parte de las juntas locales de aguas
- Pruebas de rutina en las plantas de agua antes del tratamiento
- Pruebas después del tratamiento u otras pruebas realizadas
- Disponibilidad de pruebas de agua del departamento de salud pública
- Pruebas del agua en los laboratorios de la Universidad a los que se puede acceder
- Artículos o informes sobre la calidad del agua y/o informes sobre problemas de salud o de otro tipo relacionado al consumo del agua potable en la zona.

3. Preparar la documentación del muestreo de agua para Next Gen (ver # 11) y otros análisis de laboratorio locales según disponibilidad:

- Lleve una cámara de alta calidad para documentar el sitio y la recolección de agua en las siguientes formas:

- o Imagen de la fuente de agua
- o Imagen del paisaje que muestre de donde proviene el agua y cualquier contaminante ambiental
- o Imagen de la toma de la muestra de agua
- Utilice un dispositivo de toma de notas de investigación, electrónico o escrito, para documentar las fuentes potenciales de riesgos medioambientales (asegúrese de identificar por lugar de muestreo)
- o Producción agrícola que pueda ser fuente de fertilizantes, desechos animales u otros
- o Artículos
- o Fábricas u otras operaciones comerciales que puedan estar contaminando los arroyos por desagüe, productos químicos o residuos de las operaciones
- o Hogares que puedan carecer de un sistema de alcantarillado adecuado u otras fuentes de contaminación
- o Desagües de las carreteras, alcantarillas u otras fuentes
- o Las prácticas locales que pueden afectar al agua, como el vertido de residuos, la falta de eliminación adecuada de la basura, restos de envoltorios, contenedores, etc.

4. Para nextgen, siga el "Protocolo: Muestreo de agua para el análisis del metagenoma nextgen" como proporcionado (continúe con el número 11).

5. ¿Existen otros análisis del agua local dentro de su presupuesto, además de los análisis del metagenoma nextgen proporcionados por VCOM?

-Sí (continúe en el punto 6)

-No

6. Identificar en la localidad las opciones de análisis del agua, los costos y las oportunidades dentro del presupuesto como, por ejemplo

- E. coli
- Parásitos
- Material Orgánico
- Material Inorgánico
- Metales - como el plomo o los fertilizantes químicos conocidos en la localidad.
- Contaminación por petróleo

7. Recoger las muestras de agua utilizando los requisitos proporcionados por el laboratorio que va a apoyar su muestra. Estos serán recipientes adicionales a los requeridos por nextgen.

8. Recibir, registrar y estudiar los resultados de las pruebas para determinar el impacto en el agua potable, el baño o cualquier otro uso.

9. Informar de los resultados en preparación para la comparación con los resultados de otros sitios del Seminario Mundial y su publicación.

10. Preparar la publicación a nivel local y/o en la red del Seminario Mundial que se determine.

**Toma de muestra de agua con nextgen metagenome analysis:**

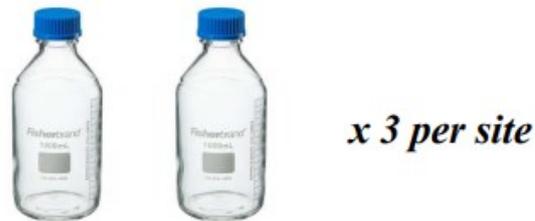
11. Asegúrese de tener la documentación de:

- Lugar
- Fecha
- Riesgos ambientales asociados al agua
- Fotos de cada sitio



12. El uso de guantes

13. Recoger el agua en botellas de vidrio reutilizables Fisherbrand™ con tapa (1 L capacidad = 33.8 oz) (Catalog No. FB8001000), mínimo 2L por muestra x 3 réplicas. Enjuague cada botella y la tapa con el agua que está recogiendo antes de llenar las botellas.



14. Etiquete cada botella adecuadamente. Rocíe con una solución de cloro al 10% y séquelas con una toalla de papel antes de colocarlos en la nevera. Se recomienda filtrarlas el mismo día de la recogida, pero si se tiene que almacenar las muestras durante la noche o más tiempo, colóquelas en un refrigerador limpio. Después de usarlas, enjuague los frascos con una solución de cloro al 10%, lávelos bien con agua caliente del grifo y (si es posible) autoclave.

15. Llevar las muestras al laboratorio.

16. Conecte un filtro de botella (Foxy Life Sciences Autofil 500 ml 0.1µm PES) con una botella de medios estéril de vidrio (Fisherbrand™ Reusable Glass Media Bottles, Catalog No. FB8001000). Utilice un filtro por muestra (es decir, 2L o más) por réplica.

17. Conecte el embudo del filtro a la bomba de vacío (PILOT3000, General & Biological (TLDKT001)) con el tubo de la bomba, y llene el embudo de filtrado con la muestra de agua.



18. Encender la bomba y comenzar la filtración.

19. Una vez filtrada toda la primera muestra:

- Apague la bomba,
- Retire el embudo de filtrado (¡consérvelo!),
- Deseche el agua filtrada,
- Vuelva a conectar el embudo filtrante con la botella,
- Vierta la segunda submuestra de la segunda botella para llenarla,
- Reanudar el filtrado (vigilar el nivel de flujo - ¡que no se desborde!)

20. Una vez que se vacían las dos botellas (o a veces más) con la misma muestra, y no hay más agua en el filtro realizar lo siguiente:

- Apague la bomba,
- Quita el embudo del filtro,
- Transfiera cuidadosamente todas las piezas a un tubo estéril de 15 ml,
- Etiquetar el tubo como corresponde,
- Congelar el tubo a -20C.
- Desechar el embudo de plástico.



21. Continuar con las siguientes muestras como lo dictan los pasos número 16-20.

### **PROCESO DE RECOLECCIÓN DE AGUA**

Se llegó a cada casa de las juntas de agua estudiada, se le explico a cada jefe de familia el objetivo del estudio.

#### **Las medidas para la recolección de la muestra de agua:**

1. Colocar guantes
2. Se preparan los recipientes estériles
3. Se limpia el grifo con cloro
4. Se deja 30 segundos abierto
5. Se procede a recolectar las dos muestras de agua
6. Se almacenan en hieleras a temperatura ambiente
7. Se trasladan al instituto Baxter para ser procesadas

## **Proceso de filtrado**

1. Se colocaron guantes
2. Se filtran las dos muestras de cada casa estudiada
3. Las muestras se colocan en placas de Petri rotuladas y selladas para ser analizadas en laboratorio del Dr. Machalak en Estados Unidos, pero debido a la Pandemia no ha venido a recoger las muestras, lo ha sido una limitante para nuestra investigación.

El objetivo del estudio es realizar un desdoblamiento del ADN de la microbiota encontrada en el agua recolectada de las juntas de Valle de Ángeles, resultados que se procesaran posteriormente mediante el software MinKNOW en Linux, las lecturas de dichos resultados se almacenaran en FASTQ y FASTA (FASTQ se utiliza exclusivamente para secuencias de nucleótidos, para almacenar datos de lectura corta de experimentos de secuenciación de alto rendimiento; en cuanto a FASTA almacena una cantidad variable de registros de secuencia y, para cada registro, almacena la secuencia en sí y un ID de secuencia. Tanto FASTA como FASTQ son formatos comunes de representación de secuencias y se han convertido en formatos de intercambio de datos clave para la biología molecular y la bioinformática.

## Anexo 2: Encuesta en la comunidad

### **ENCUESTA CALIDAD DE AGUA**

**INSTRUCCIONES:** La presente encuesta forma parte de la investigación sobre la microbiota en fuentes de agua para consumo humano en comunidades ubicadas en la zona de influencia realizados por médicos en Servicio Social, cuya respuesta serán anónimas. Por favor responda honestamente y marque círculo su respuesta.

Sexo

- a. Femenino
- b. Masculino

Edad

- a. 10 a 20 años
- b. 20 a 30 años
- c. 40 a 50 años
- d. Mayor 60 años

1. ¿Cuál es la procedencia del agua en su hogar?

- a. Agua de cisterna
- b. Pozo
- c. Junta de agua
- e. Agua de lluvia
- f. Agua de tubería
- g. Otros: \_\_\_\_\_

2. ¿Con qué frecuencia se abastece de agua?
- A. Todos los días
  - B. Dos veces por semana
  - C. 1 vez a la semana
  - D. 1 vez al mes
3. ¿Cuál cree usted que es la calidad de agua que recibe?
- A. Transparente
  - B. Turbia
4. ¿El agua que llega a su casa presenta turbidez u olor desagradable?
- A. Si
  - B. No
5. ¿El agua de consumo que utiliza es purificada?
- Si
- No
6. ¿Utiliza algún método para descontaminación del agua?
- a. Hervir agua
  - b. Cloro
  - c. Ninguno
  - d. Otros

7. ¿Dónde almacén el agua de consumo?

- a. Baldes cubiertos
- b. Recipientes descubiertos
- c. Botellas
- d. Barriles
- e. Cisterna
- f. Pila
- g. Otros:

8. ¿Qué tipo de baño utilizan en su casa?

- a. Inodoro lavable
- b. Letrina con fosa septica
- c. Letrina sin fosa septica
- d. Al aire libre

9. ¿Cuántos habitantes hay en su hogar?

- A. 1 a 3 personas
- B. 4 a 6 personas
- C. Mas de 6 personas

10. ¿De los habitantes en su hogar hay niños menores de 5 años?

- a. Si
- b. No

11. ¿Alguien en su casa ha presentado los siguientes signos o síntomas?

- a. Vómitos
- b. Diarrea
- c. Dolor abdominal
- d. Nauseas
- e. Ninguno

12. En este año, ¿con qué frecuencia se ha enfermado?

- a. 1 vez
- b. 3 veces
- c. Más de 4 veces
- d. Ninguno

13. ¿Que enfermedades ha presentado por el consumo del agua?

- a. Diarrea
- b. Parasitismo intestinal
- c. Hepatitis
- d. Ninguno
- e. Otro

14. ¿Quiénes en su casa se han enfermado con más frecuencia a causa de la ingesta con agua contaminada?

- a. Niños
- b. Ancianos
- c. Adultos mayores
- d. Adulto

15. ¿Con qué frecuencia se desparasita en el año?

- a. 1 a 2 veces al año
- b. Anual
- c. Ocasional
- d. Nunca

16. ¿Se observa la vivienda y entorno con medidas higiénicas? Evaluado por el encuestador

Parámetros	Si	No
Criaderos de Zancudos		
Basura alrededor		
Casa limpia: cocina, cuartos, sala, comedor		
Patio limpio		

Anexo 3:

## **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

Yo \_\_\_\_\_  
declaro que he sido informado e invitado a participar en una investigación denominada ‘Estudio piloto para evaluar la presencia de microbiota en fuentes de agua para consumo humano en comunidades ubicadas en la zona de influencia de los estudiantes en el Servicio Médico Social, FCS-UNITEC, agosto 2021’. Este es un proyecto de investigación científica el cual se llevará a cabo mediante la recolección de muestras de agua por parte de los médicos en servicio social las cuales luego serán procesadas y analizadas en la plataforma de secuenciación Oxford Nanopore MinION. Entiendo que este estudio busca mejorar el conocimiento sobre la presencia de microbiota en fuentes de agua para el consumo humano y su relación con ETAs. Y sé que mi participación se llevará a cabo en mi hogar y consistirá en responder una encuesta que demora 10 minutos, me han explicado que la información registrada será anónima esto significa que las respuestas serán conocidas por los encuestadores y no serán identificados en la fase de publicación de resultados. Así mismo sé que puedo negar la participación o retirarme en cualquier etapa de la investigación sin repercusiones para mi persona

Si acepto participar en el presente estudio

\_\_\_\_\_  
**Firma del participante**

\_\_\_\_\_  
**Firma del autor**

Anexo 4:

## RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN VALLE DE ÁNGELES



**Foto No. 1:** proceso de esterilización de la fuente de agua para la correcta toma de muestra



**Foto No. 2:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua de Miravalle.



**Foto No. 3:** proceso de esterilización de la fuente de agua para la correcta toma de muestra



**Foto No. 4:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua de el tablón.



**Foto No. 5:** Evaluación de las características físicas del agua y proceso de esterilización del grifo.



**Foto No. 6:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua de Esperanza.



**Foto No. 7:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua de Cerro Grande.



**Foto No. 8:** Medición del Ph de cloro en las fuentes de agua.



**Foto No. 9:** proceso de esterilización de la fuente de agua para la correcta toma de muestra



**Foto No. 10:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua liquidámbar.



**Foto No. 11:** proceso de esterilización de la fuente de agua para la correcta toma de muestra



**Foto No. 12:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua el Molino.



**Foto No. 13:** proceso de esterilización de la fuente de agua para la correcta toma de muestra



**Foto No. 14:** Recolección de la muestra de agua mediante botes estériles, en la junta de agua el Molino.



**Foto No. 15:** iniciando proceso de filtración de las muestras.



**Foto No. 16:** proceso de filtración de las muestras.