

## **CAPÍTULO I**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **1.1. MARCO TEÓRICO.**

##### **1.1.1. Importancia del agua.**

El agua es importante para todo tipo de ser vivo, sean plantas, animales y el hombre. Si bien se creía que el agua era inagotable, con el paso de los años, y el actuar del hombre, esta ideología cambió, y se puede observar cómo se está sufriendo de sequías, y cambios bruscos en el ambiente. (Marin, 2016)

##### **1.1.2. Sistemas de captación del agua de lluvia.**

Se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones, pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. Su utilización se está haciendo muy extensiva en la República Popular China, India, Tailandia, Japón, Bangladesh, EUA, Brasil, Islas Vírgenes, Islas Turcos y Caicos, México, entre otros países. (Restori, Mayo 2011)

##### **1.1.3. Sistemas de captación del agua de lluvia en el mundo.**

Según (Restori, Mayo 2011):

###### **❖ India.**

En India, 19 ciudades se enfrentan a situaciones de creciente escasez de agua. Actualmente en las ciudades de Chennai y New Dheli, los sistemas de captación de agua de lluvia son obligatorios.

###### **❖ Japón.**

En Japón se han implementado los sistemas “Ronjinson” en el distrito de Mukpkim. Esta instalación recibe el agua de lluvia del techo de la casa, almacenada en un pozo subterráneo, y para extraer el agua se utiliza una bomba manual.

❖ **Bangladesh.**

El agua subterránea se encuentra contaminada por arsénico; por ello se instalan los sistemas de captación del agua de lluvia, desde 1.997 se han instalado más de 10.000 sistemas de captación de agua de lluvia.

❖ **Tailandia.**

Ante la urgente necesidad de agua limpia para la población se han construido más de 10 millones de cisternas, para la captación de agua de lluvia. Los volúmenes de las cisternas son de 1.000 a 3.000 litros y fueron hechas por la población con apoyo del gobierno.

❖ **Estados Unidos de Norte América.**

Los sistemas de captación de agua de lluvia son utilizados en 15 estados, se estima que más de medio millón de personas se abastecen de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales e industriales, sobre todo en el estado de Texas.

Así como estos países, hay más en todo el mundo que utilizan los sistemas de captación de agua de lluvia como fuente de abastecimiento de agua de calidad confiable. (Restori, Mayo 2011)

**1.1.4. Enfermedades diarreicas.**

Se piensa que un 88% de las enfermedades diarreicas son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento y una higiene deficiente. (OMS, 2004).

**1.1.5. La mejora del abastecimiento de agua.**

Reduce entre un 6% y un 21% la morbilidad por diarrea, si se contabilizan las con secuencias graves. (OMS, 2004)

## **1.2. MARCO CONCEPTUAL.**

### **1.2.1. Captación De Agua Lluvia.**

Es el mecanismo por el cual se recolecta y se almacena agua pluvial en tanques o en embalses. (Bernal, 2017)

### **1.2.2. Características Del Agua.**

El agua es una sustancia cuya composición química está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno y es esencial para la supervivencia de todas las formas de vida en el planeta. De todas las sustancias que se conocen es la única que se puede encontrar en los tres estados de la materia ya sea líquido, sólido o gaseoso.

La Tierra es denominada un “planeta de agua”, característica que le confiera la capacidad de albergar vida. Está formada por una cantidad de agua de 0,07% en masa, o 0,4% en volumen. (Bernal, 2017)

### **1.2.3. Precipitaciones.**

Las precipitaciones son el producto de una etapa del ciclo hidrológico, resultantes de la evaporación y condensación del agua de diferentes fuentes. Permite un equilibrio en la atmósfera, ya que mediante este proceso el agua regresa a su fase inicial. Una de las características más importantes del agua lluvia es su pureza, que se debe a la evaporación que experimenta previamente, y que produce su potabilización natural, eliminando los componentes inorgánicos que puedan causar la contaminación de la fuente. El agua de lluvia es un recurso fácilmente aprovechable, debido a la gratuidad con la que se provee, además de ayudar a la conservación del ecosistema y al desarrollo de las actividades económicas del ser humano. (Barreto, 2015)

De acuerdo a su intensidad, el agua lluvia se puede clasificar en:

**TABLA 1: Intensidades de lluvias**

Ligera	Moderada	Fuerte	Torrencial
Hasta 2,5 mm/hora	Entre 2,5 y 7,6 mm/hora	Mayores a 7,6 mm/hora	Supera los 12,7 mm/hora

Fuente: (Barreto, 2015)

#### **1.2.4. Uso del agua lluvia.**

El agua se utiliza en todos los aspectos donde los seres vivos tengan que realizar alguna actividad incluso el simple hecho de sobrevivir requiere su presencia. El agua de lluvia captada en sectores con restricciones al acceso del agua potable y donde las condiciones climáticas sean favorables, pueden ser utilizadas para diferentes necesidades domésticas, además de mejorar el desarrollo del ambiente controlando las condiciones del suelo debido a las inundaciones. La recolección de agua de lluvia se presenta como un medio para evitar problema a largo plazo como la degradación y desertificación. En cuanto a la calidad del agua de lluvia, teóricamente es menos contaminada que el agua de otras fuentes de abastecimiento como la subterránea o superficial, por ello en distintos sectores del mundo esta agua lluvia luego de un proceso de desinfección no muy complejo es utilizada para beber. (Barreto, 2015)

#### **1.2.5. Sistema de recolección de agua lluvia.**

La recolección de agua de lluvia es un sistema que se ha desarrollado desde la antigüedad, el cual consiste en captar, dependiendo de la topografía del sector. Siendo la principal función de este sistema el de almacenar el mayor volumen de agua producido por las precipitaciones para posteriormente ser distribuida en diferentes necesidades básicas, ya sea potables como no potables. Este método se lo aplica con mayor frecuencia en zonas rurales. La importancia de este tipo de sistemas cada vez aumenta. Esto se debe a la favorable condición climática que se presentan en las zonas, donde el agua potabilizada les resulta inaccesible. El implementar este diseño en

lugares donde sean necesarios, trae consigo beneficios en cuanto a la reducción de la huella, además de que puede ser fácilmente adaptable a nivel domiciliario, disminuyendo la oferta del actual sistema de pozo y la demanda de los usuarios. (Barreto, 2015)

#### **1.2.6. Tipos de captación y almacenamiento de agua lluvia.**

Existen diferentes tipos en las que se puede captar el agua pluvial, siendo la diferencia el tipo de material y la ubicación en la que es almacenada.

- **Sistemas micro-cuencas:** Están constituidos por taludes y bermas diseñadas con el fin de mejorar la escorrentía de la precipitación, concentrándola mediante infiltración en una cuenca implantada en el perfil del suelo, la misma que tiene la ventaja de ser un medio efectivo de almacenamiento, evitando los efectos de la evaporación. Su construcción es simple y económica, se puede utilizar materiales locales y trabajo manual. Hay tres tipos de micro cuencas: terrazas de plataformas de contorno, tiras de escorrentía y microcuencas normales.
- **Captaciones sub superficiales,** muros de arena o presas de retención. El almacenamiento del agua se produce bajo tierra, mediante una capa freática construida artificialmente o a través de un depósito natural del subsuelo local.
- **Tanques de diferentes materiales** como plástico, cemento, arcilla, suelo, etc. Es el medio más sencillo de almacenamiento, pueden ser construidos de forma subterránea o por encima del nivel del suelo. Su construcción depende del espacio disponible para el sistema, la tecnología implementada y el capital de inversión. (Barreto, 2015)

#### **1.2.7. Área de captación.**

Se refiere a la superficie que va a recolectar el agua de la lluvia. Puede ser natural, como roca o artificial. En este último caso, las superficies pueden ser de materiales como los siguientes:

- Cemento.
- Lámina metálica, plástica, fibra de vidrio o vidrio.

- Tejas de arcilla, madera o plásticas.
- Palma u hojas de alguna otra planta.

Las superficies mencionadas generalmente se usan como techos; por sus características, algunas ofrecen ventajas sobre otras para la captación y aprovechamiento de la lluvia. (Hiram, 2012)

Dependiendo del material constructivo de la cubierta, los coeficientes de escorrentía pueden ser los siguientes:

- Coeficiente de escorrentía.
- Calamina metálica 0,9.
- Tejas de arcilla 0,8 – 0,9.
- Madera 0,8 – 0,9.
- Paja 0,6 – 0,7 (OPS - CEPIS, 2004).

### **1.2.8. Conducción.**

El sistema requiere elementos para transportar el agua colectada hacia el lugar de aprovechamiento, tratamiento o almacenamiento, para lo cual se usan comúnmente canaletas y tuberías que pueden ser de los siguientes materiales:

- plásticas: policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP); metálicas: lámina de acero galvanizada o zinc.
- Materiales naturales: madera y fibras. (Hiram, 2012)

### **1.2.9. Almacenamiento.**

El lugar donde se conservará el agua captada puede ser muy variado y de sus características depende la calidad que mantendrá el líquido previo a su aprovechamiento. Puede ir desde zanjas naturales hasta tanques especiales. Algunos ejemplos de contenedores superficiales o subterráneos son:

- Cemento o ferrocemento: cisternas.
- Metálicos: botes, tinacos o cisternas de lámina de acero.

- Plásticos: botes, tinacos o cisternas de HDPE. (Hiram, 2012)

#### **1.2.10. Cloro.**

Elemento normalmente encontrado como un gas amarillento verdoso aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire. (OMS/OPS, 2007)

#### **1.2.11. Cloro residual.**

Cantidad de cloro presente en el agua luego de un período específico de tiempo. (OMS/OPS, 2007)

#### **1.2.12. Demanda de cloro.**

Cantidad de cloro que se consumiría en un periodo determinado de tiempo por la reacción con sustancia fácilmente oxidables presentes en el agua, si el abastecimiento de cloro fuera limitado; la demanda varia con el tiempo de contacto, temperatura y con la calidad del agua. (OMS/OPS, 2007)

#### **1.2.13. Desinfección.**

Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos o sustancias químicas. (OMS/OPS, 2007)

#### **1.2.14. Conductividad.**

Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala. (Guillermo, 1997 – 1998)

#### **1.1.15. Turbiedad.**

La turbiedad mide la claridad óptica del agua. Es provocada por la dispersión y absorción de la luz por las partículas suspendidas en el agua.

La turbiedad se reporta en términos de unidades nefelométricas de turbiedad (UNT, por sus siglas en inglés), (Mihelcic, 2011).

La Organización Mundial de la Salud reporta que una turbiedad de 5 UNT es en general aceptable, pero puede variar según la disponibilidad y recursos para el tratamiento.

En Estados Unidos, muchos servicios públicos de agua ayudan para tratar el agua a 0.1 UNT. (OMS, 2018)

#### **1.1.16. pH.**

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica o alcalina. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución. La palabra pH es la abreviatura de “pondus Hydrogenium”. Esto significa literalmente el peso del hidrógeno. El pH es un indicador del número de iones de hidrógeno. El pH no tiene unidades; se expresa simplemente por un número. (OPS/OMS, 2014)

Mide el grado de acidez o alcalinidad de un compuesto. En el agua, el pH es un factor muy importante porque algunos procesos químicos solo se pueden producir cuando el agua presenta un determinado valor de pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo se producen cuando el pH tiene un valor entre 6,5 y 8. (OPS/MSP, 2013)

#### **1.1.17. Cantidad necesaria de cloro agregado, para tener cloro residual**

Al agregar 1,5 mg/ℓ de Cloro, durante el tratamiento de desinfección del agua, resulta insuficiente para la destrucción de todos los microorganismos presentes en el agua, por lo que es necesario aumentar la cantidad de Cloro agregada al agua, a 2,5 mg/ℓ en este rango se eliminan todos los microorganismos y quedan 0,5 mg/ℓ de Cloro residual. (OPS/OMS, 2009)

### **1.3. MARCO LEGAL.**

#### **a) Constitución Política del Estado Plurinacional.**

Establece en su Artículo 20 que toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones, asimismo, que es una responsabilidad del Estado, en todos sus niveles de gobierno, la provisión de los servicios básicos a través de entidades públicas, mixtas, cooperativas o comunitarias

#### **b) Ley Marco de la Madre Tierra N° 300.**

La Ley Marco de la Madre Tierra N° 300, de 15 de octubre de 2012, en el Art. 27, establece las bases y orientaciones del Vivir Bien, a través del desarrollo integral en agua. En este sentido plantea garantizar el derecho al agua para la vida priorizando su uso, acceso y aprovechamiento; regular, proteger y planificar el uso, acceso y aprovechamiento adecuado, racional y sustentable de los componentes hídricos, con participación social, estableciendo prioridades para el uso del agua potable para el consumo humano. Entre otros lineamientos plantea regular, monitorear y fiscalizar los parámetros y niveles de calidad de agua, así como adoptar, innovar y desarrollar prácticas y tecnologías para el uso eficiente, la captación y almacenamiento, reciclaje y tratamiento de agua.

#### **c) Ley del Medio Ambiente N° 1333.**

La Ley del Medio Ambiente N° 1333, en actual vigencia, fue promulgada el 27 de abril de 1992 y publicada en la Gaceta Oficial de Bolivia el 15 de junio 1992, es de carácter general y no enfatiza en ninguna actividad específica.

Su objetivo fundamental es proteger y conservar el Medio Ambiente sin afectar el desarrollo que requiere el país, regulando las acciones del hombre frente a la naturaleza en procura de mejorar la calidad de vida de la población.

Esta ley da el marco general de protección ambiental que rige en el país, da la orientación para fijar los objetivos de la política ambiental y define el marco

institucional que identifica a las autoridades ambientales y en este contexto incorpora la planificación ambiental en la planificación del desarrollo nacional.

Por otro lado, la Ley en su artículo 25° señala que: “Toda actividad, obra o proyecto pública o privada, con carácter previo a su fase de inversión, debe contar obligatoriamente con la identificación de la categoría de EIA”, siendo estas las categorías 1, 2, 3 y 4.

**d) Reglamento de Prevención y Control Ambiental.**

El RPCA tiene por objetivo reglamentar la Ley del Medio Ambiente en lo referente a EIA y CCA, dentro del marco del Desarrollo Sostenible. La Ley en su Art. 25° y el RPCA en su Art. 17° establecen niveles de categorización para AOP's.

**Categoría 1:** Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental Analítico Integral, nivel que, por el grado de incidencia de efectos en el ecosistema, debe incluir en sus estudios el análisis detallado y la evaluación de todos los factores del sistema ambiental.

**Categoría 2:** Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental Analítico Específico, nivel que, por el grado de incidencia de efectos en algunos de los atributos del ecosistema, considera en sus estudios el análisis detallado y la evaluación de uno o más factores del sistema ambiental; así como el análisis general del resto de los factores del sistema.

**Categoría 3:** Planteamiento de Medidas de Mitigación y del Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental. Nivel que por las características ya estudiadas y conocidas de AOP's, permite definir acciones precisas para evitar o mitigar efectos adversos.

**Categoría 4:** No requieren de Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, aquellas AOP's que no se encuentran consideradas en las categorías anteriores.

**e) DS - 1641 Numeral 3 Sector saneamiento básico inciso d, para la solicitud de certificado de dispensación categoría 4 (SCD-C4), (Agua potable).**

El Decreto supremo N° 1641 incorpora en el Artículo 17 del Reglamento de Prevención y Calidad Ambiental un listado de proyectos del sector social para que sean evaluados como Categoría 4, en aplicación del Artículo 18 del mismo Reglamento, los proyectos

de cosecha de agua se encuentran alineados al Decreto Supremo en su Artículo 2 (Ampliación) en su acápite 3 inciso d) donde se cita:

“d. Captación de agua de lluvia en techos y pisos para proyectos de agua potable”

y presenta las siguientes limitaciones según el mismo artículo:

“a. No deben estar ubicados a más de cincuenta (50) kilómetros de aguas internacionales;

b. No debe contemplar la construcción de obras de captación como presas o micropresas.”

Brindando al Proyecto la capacidad de implementar la cosecha de agua potable a nivel nacional, tramitando la Licencia Ambiental partir de la presentación del Formulario de Solicitud de Certificado de Dispensación en 3 copias a la Autoridad Ambiental Competente correspondiente según el Artículo 5 del RPCA:

**Artículo 5°.** - Serán considerados proyectos, obras o actividades de competencia del Prefecto, a través de la instancia ambiental de su dependencia, aquellos que cumplan por lo menos con una de las siguientes características:

- a) Estén ubicados geográficamente en más de un municipio del departamento.
- b) Si la zona de posibles impactos puede afectar a más de un municipio del departamento.
- c) Estén ubicados en áreas de reserva forestal.
- d) Aquéllos que no sean de competencia de la Autoridad Nacional o Municipal.

Asimismo, se consideran en esta clasificación la formulación de políticas, planes y programas ambientales a nivel departamental.

**f) Norma Boliviana NB 512: Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano Primera Revisión.**

### **Introducción.**

La calidad del agua tiene una gran importancia sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. La norma en su estructura toma en consideración la importancia sanitaria de los parámetros a analizar,

la calidad y sensibilidad de las fuentes utilizadas para la producción de agua para consumo humano.

**Los objetivos de esta norma son:**

a). Garantizar la salud de los consumidores: Los parámetros y sus niveles, que representan un peligro para la salud son conocidos y las exigencias asociadas a la protección del consumidor están bien definidas. Basados en los conocimientos científicos y epidemiológicos y a los principios de gestión de riesgo, se definen límites permisibles de calidad del agua y se propone una jerarquía en referencia a los riesgos que presentan.

b). Ser factibles en el contexto del país: las recomendaciones se adecuan lo más posible con la situación existente en los laboratorios y en las empresas prestadoras de servicios de agua y alcantarillado, sin poner en riesgo la salud humana.

C). Ser adaptables: Existen diferencias naturales y socioeconómicas entre los departamentos y ciudades de Bolivia. Por eso es necesario dar flexibilidad y gradualidad en los requisitos, para permitir una adaptación a las condiciones locales, sin que ello implique poner en riesgo la salud humana.

**Objeto.**

Esta norma establece los valores máximos aceptables de calidad de agua abastecida, con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

**Campo de Aplicación.**

Esta norma se aplica a todas las aguas abastecidas con destino al uso y consumo humano, a excepción de las aguas mineros medicinales.

## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en el país de Bolivia que está situado en la zona central de América del Sur, con una superficie de 1.098.581 km<sup>2</sup>, entre los meridianos 57°26' y 69°38' de longitud occidental del meridiano de Greenwich y los paralelos 9°38' y 22°53' de latitud sur.

El departamento de Tarija se encuentra ubicado al sur del país.

El Municipio de Entre Ríos, pertenece a la Provincia O' Connor, del Departamento de Tarija, siendo de esta su primera y única Sección Municipal. Geográficamente el Municipio de Entre Ríos se encuentra ubicado entre las coordenadas 20° 51' 57'' y 21° 56' 51'' de latitud sud, 63° 40' 23'' y 64° 25' 6'' de longitud oeste, en la parte central del Departamento de Tarija.

La Comunidad de Palos Blancos, pertenece al Cantón Chimeo en el Distrito 6 de la Provincia O'Connor, se encuentra ubicada en el continente sudamericano, en la parte central del Departamento de Tarija. (PDM, 2014-2018)

##### 2.1.1. Latitud y Longitud.

Geográficamente la Comunidad de Palos Blancos se encuentra ubicada entre las coordenadas:

21°24'54.0" de latitud sud.

63°46'53.0" de longitud oeste.

763 m.s.n.m.; y

75 Km de la capital del Municipio de Entre Ríos, se encuentra la Comunidad de Palos Blancos.

### 2.1.2. Límites territoriales.

La Provincia O'Connor, limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con las Provincias Arce (municipio de Padcaya), al este con la Provincia Gran Chaco (municipios de Carapari y Villa Montes) y al oeste con la Provincia Cercado. (PDM, 2014-2018)

**IMAGEN 1: Ubicación geográfica del área de estudio en el continente**



**Fuente:** Microsoft.

**IMAGEN 2: Ubicación geográfica del área de estudio en el país**



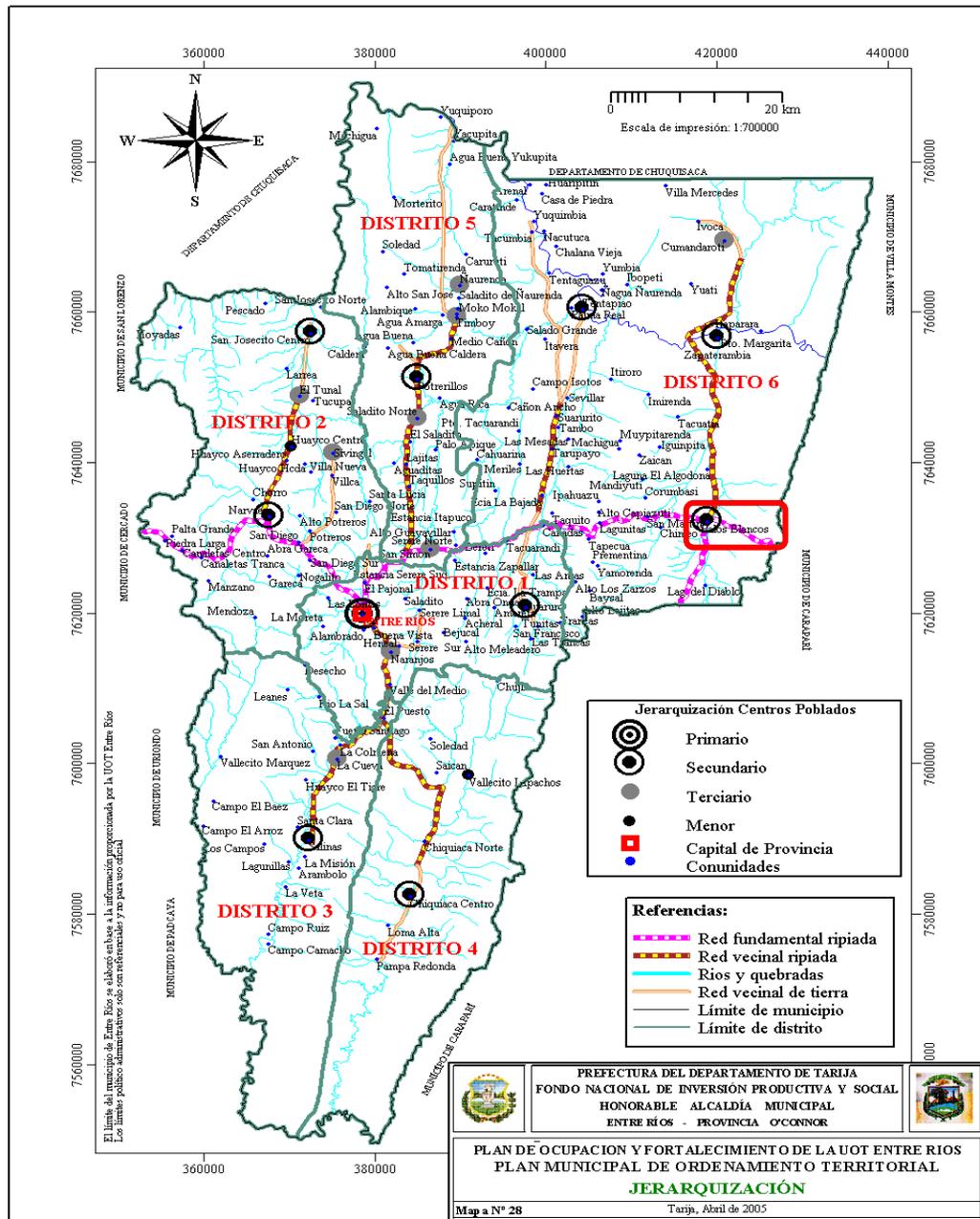
**Fuente:** Microsoft.

**IMAGEN 3: Ubicación geográfica del área de estudio en el departamento.**



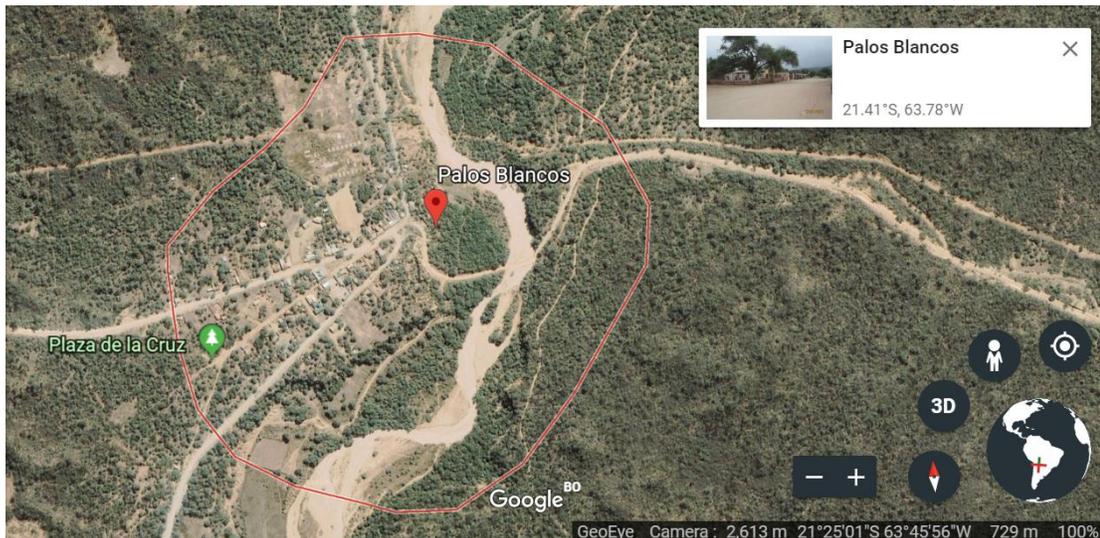
**Fuente:** Google Maps.

IMAGEN 4: Ubicación geográfica del área de estudio en el municipio



Fuente: Prefectura del departamento de Tarija.

**IMAGEN 5: Vista satelital de la ubicación del área de estudio.**



**Fuente:** Google Maps.

## **2.2. ASPECTOS FÍSICO NATURALES**

### **2.2.1. Características biofísicas del área de estudio.**

Según la información recopilada del Plan de Desarrollo Municipal de Entre Ríos 2014 – 2018, se tiene lo siguiente:

#### **2.2.1.1. Altitudes.**

La Comunidad de Palos Blancos se encuentra a una altura de 716 m.s.n.m., sin embargo, la altitud del Municipio de Entre Ríos, varía desde los 3.500 m.s.n.m. en el Abra Del Condor hasta los 500 m.s.n.m. en las riberas del Pilcomayo.

#### **2.2.1.2. Relieve.**

Hacia la parte oeste extendiéndose hacia el noroeste y sud este se encuentran las montañas más altas, en cambio hacia el sud se tienen colinas medias a bajas y llanuras pie de monte, hacia la parte este se encuentran serranías y colinas medias.

### **2.2.1.3. Topografía.**

El Municipio cuenta con colinas, que en sus depresiones van formando valles, estas colinas medias limitan en muchos casos la accesibilidad a las comunidades, según el Zonisig el 55% del territorio municipal tiene pendientes mayores al 45%.

### **2.2.1.4. Clima.**

El clima es uno de los elementos de mayor importancia del medio biofísico y en los ecosistemas en general, ya que determina y controla de manera variable la meteorización de las rocas y de sus minerales componentes, modelado del relieve, naturaleza y desarrollo de la vegetación natural, actividad biológica del suelo, determina la clase, aptitud y manejo de los suelos, como de los factores determinantes de la erosión del suelo.

### **2.2.1.5. Temperaturas máximas y mínimas.**

El área del Municipio de Entre Ríos se encuentra sometida a frecuentes intercambios de masas de aire tropical y polar y debido a su situación geográfica se encuentra, en gran parte del año, bajo la influencia del sistema de alta presión del Atlántico Sur, esto quiere decir que las lluvias prevalecen del Sur y Sureste; por su parte, los vientos que provienen del Norte o Noreste son cálidos y secos provocando ocasionalmente temperaturas superiores a los 40°C, incluso en los meses de agosto a diciembre.

### **2.2.1.6. Pluviometría.**

La época de lluvias empieza en los meses de noviembre y diciembre y concluye en los meses de marzo y abril, mientras que la época seca se produce normalmente entre los meses de mayo a septiembre, existiendo algunos años excepcionales que pueden adelantarse o atrasarse a lo sumo en un mes.

De acuerdo a los datos de las estaciones mencionadas en la zona de Salinas las precipitaciones ocurridas en un año normal sobrepasan los 1.314 mm, lo que indica que el área recibe un buen aporte hídrico vertical procedente de las lluvias. Sin embargo, el comportamiento de la precipitación va experimentando una variabilidad gradual en

algunas áreas, existen zonas donde la precipitación anual llega inclusive hasta 685 mm anuales (Palos Blancos).

**TABLA 2: Precipitación anual y mensual de Palos Blancos (mm).**

Mes Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Precipitación Anual
	157,1	143,3	73,0	47,1	15,9	4,6	1,6	0,4	7,6	32,7	72,2	124,6	685

Palos Blancos (2008 – 2018)

Fuente: SENAMHI, 2018.

### **2.2.1.7. Descripción de las unidades fisiográficas.**

#### **❖ Subandino.**

El Subandino se caracteriza por presentar paisajes formados por una secuencia de serranías medias a bajas, colinas bajas a medias, llanuras de piedemontes, valles coluvio - aluviales y llanura aluvial, cuyas principales características se resumen a continuación:

#### **- Paisaje de serranía media con disección fuerte.**

Se ubica al noreste de la Comunidad de Palos Blancos y norte de Cumandaroti, noroeste y sudeste de la serranía de Caipipenda, con alturas de 500 a 1.500 m.s.n.m., clima templado semiárido a cálido árido, relieve escarpado a moderadamente escarpado, cubierto por un bosque xeromórfico espinoso a deciduo por sequía submontano.

#### **- Paisaje de serranía baja con disección fuerte.**

Se encuentra del este hacia el norte del Municipio de Entre Ríos: cubriendo los cerros Lomas Larga, Cuesta de Supitin, Palos Blancos, Chimeo y al sudeste y noreste del cerro

Morro Colorado, comunidades de Casa de Piedra, Chalana Vieja, Cañadas, Tacuarandi, Bereti, Suaruro,

Acheral, este de Chimeo y oeste de Palos Blancos, clima templado semiárido a cálido árido, vegetación de bosque ralo xeromórfico espinoso a deciduo por sequía, relieve escarpado a moderadamente escarpado, con alturas hasta los 2.000 m.s.n.m.

#### **- Llanura de piedemonte disección moderada.**

Distribuido en las llanuras de piedemonte de las comunidades de Puerto Margarita, Itaparara, Estancia Tacuatia, Laguna El Algodonal, Corumbasi, Chimeo y Palos Blancos, entre los ríos Palos Blancos y Chimeo, con pendientes entre ligeramente onduladas a moderadamente escarpadas, formado por sedimentos de origen fluvio-glacial y coluvial, aluvial, alturas de 500 a los 1.000 m.s.n.m., clima templado semiárido.

#### **2.2.2. Aspectos demográficos.**

Según la información recopilada del Plan de Desarrollo Municipal de Entre Ríos 2014 – 2018, se tiene lo siguiente:

##### **2.2.2.1. Demografía.**

De acuerdo al Censo de 2012, realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), la población del área de influencia del Municipio alcanzaba a 21.991 habitantes, de los cuales los hombres componían el 47,1% y las mujeres el 52,9%.

En el Distrito 6, Cantón Chimeo, Comunidad de Palos Blancos, alcanza una población total de 779 habitantes.

##### **2.2.2.2. Número de familias y promedio de miembros por familia.**

Según el INE (2014) el Municipio tiene 5.383 familias viviendo en su territorio, de los cuales 1.148 familias viven en el área urbana y 4.235 familias viven en el área rural. La Comunidad de Palos Blancos tiene 270 familias. En promedio, la familia tiene 4 miembros, en el área urbana el promedio es de 3 miembros por familia y en el área rural el promedio es de 4 miembros por familia.

### **2.2.2.3. Densidad poblacional.**

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda 2001 (CNPV), la densidad era todavía de 3,0 habitantes por km<sup>2</sup>. Actualmente la densidad poblacional en el Municipio es de 4,08 habitantes por km<sup>2</sup>. Sigue siendo una densidad muy baja en comparación con otros municipios en Bolivia, porque el Municipio de Entre Ríos, es un Municipio rural sin ninguna Ciudad intermedia. La densidad del Departamento de Tarija es de 12,9 habitantes por km<sup>2</sup> y de Bolivia como país la densidad es de 9,1 habitantes por km<sup>2</sup>.

### **2.2.2.4. Aspectos socioeconómicos.**

Según la información recopilada del Plan de Desarrollo Municipal de Entre Ríos 2014 – 2018, se tiene lo siguiente:

La principal actividad productiva y por tanto su principal fuente de sustento económico dentro del Municipio de Entre Ríos es la agricultura, la mayor parte de la población tiene como base de subsistencia el consumo de los productos generados por esta actividad, en menor medida y de acuerdo a las posibilidades la producción es destinada al mercado, siendo reducida la población que destina la producción agrícola para la comercialización.

Según las zonas geográficas de la Provincia, la vocación agrícola es limitada, la falta de riego y otros derivan que sea la actividad pecuaria la que genere réditos al productor. En ese sentido se puede afirmar con exactitud que la vocación del Municipio es la agropecuaria.

### **2.3. MATERIALES Y EQUIPOS.**

Para la ejecución del presente trabajo de tesis, fue necesario el uso de los materiales y equipos siguientes:

- ❖ Computadora.
- ❖ Libreta de Campo.
- ❖ Planillas de registro.
- ❖ Tablero.
- ❖ Bolígrafo.
- ❖ Equipo de protección personal.
- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ GPS.
- ❖ Flexómetro.
- ❖ Kit de toma de muestras para laboratorio.

### **2.4. METODOLOGÍA.**

#### **2.4.1. Método.**

##### **Método Analítico.**

A partir del conocimiento general de una realidad realiza la distinción, conocimiento y clasificación de los distintos elementos esenciales que forman parte de ella y de las interrelaciones que sostienen entre sí. Se fundamenta en la premisa de que a partir del todo absoluto se puede conocer y explicar las características de cada una de sus partes y de las relaciones entre ellas. El método analítico permite aplicar posteriormente el método comparativo, permitiendo establecer las principales relaciones de causalidad que existen entre las variables o factores de la realidad estudiada. Es un método fundamental para toda investigación científica o académica y es necesario para realizar operaciones teóricas como son la conceptualización y la clasificación. (Abreu, 2013)

##### **Método Cuantitativo.**

Se dedica a recoger, procesar y analizar datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. Esto ya lo da una connotación que va más allá de un mero

listado de datos organizados como resultado; pues estos datos que se muestran en el informe final, están en total consonancia con las variables que se declararon desde el principio y los resultados obtenidos van a brindar una realidad específica a la que estos están sujetos. (Domínguez, 2011)

#### **2.4.2. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.**

En el presente trabajo de investigación se adoptaron los métodos de investigación analítica y cuantitativa, como también, técnicas de observación, registro y comparación, de acuerdo a las actividades realizadas. Para la investigación, se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia (Bernal, 2010) ya que sólo tomamos una sola vivienda como prueba piloto para el sistema de captación familiar de agua de lluvia, siendo esta una vivienda con características similares a las demás.

##### **2.4.2.1. Métodos para el diseño del sistema de captación familiar piloto de agua de lluvia.**

El método empleado para la realización del diseño del sistema de captación familiar piloto de agua de lluvia, es de aspecto técnico y considera los siguientes puntos:

- a). - Evaluación de los techos de la vivienda para la captación familiar de agua de lluvia.
- b). - Localización del sitio para implementar el sistema de captación familiar de agua de lluvia.
- c). - Área de captación del agua de lluvia.
- d). - Determinación de la demanda de agua por familia.
- e). - Cálculo de la oferta de precipitación pluvial.
- f). – Sistema de conducción del agua captada.
- g). – Sistema de filtración.
- h). – Almacenamiento del agua captada.

**a) Evaluación de los techos de la vivienda familiar para la captación de agua de lluvia.**

Se aplicó la técnica de estudio de campo, porque se realizó la observación en contacto directo con el objeto de estudio, es decir los techos de una vivienda familiar.

**b) Localización del sitio para implementar el sistema de captación familiar de agua de lluvia.**

La localización del sistema se realiza teniendo como punto focal la Comunidad de Palos Blancos donde se ha realizado la investigación. (Anexo 1)

**c). - Área de captación del agua de lluvia.**

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la ecuación:

$$A_c = a * b \quad (1)$$

Donde:

$A_c$  = Área de captación, m<sup>2</sup>

a = Ancho de la casa, m.

b = Largo de la casa, m.

**d). - Determinación de la demanda de agua de la familia.**

La demanda o dotación por persona, es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo. Además, considera el número de habitantes a beneficiar.

La ecuación para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_i = \frac{N_u * Dot * Nd}{1000} \quad (2)$$

Donde:

$D_i$  = Demanda mensual.

$N_u$  = Número de beneficiarios del sistema.

Dot = Dotación, ℓ/persona/d.

Nd = Número de días del mes.

1000 = Factor de conversión, ℓ en m<sup>3</sup>

#### - Demanda acumulada (Dai).

Se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Dai = Da_{(i-1)} + Di \quad (3)$$

Dónde:

Dai: demanda acumulada al mes “i” (m<sup>3</sup>).

Da<sub>(i-1)</sub>: demanda acumulada al mes anterior “i-1” (m<sup>3</sup>).

Di: demanda del mes “i” (m<sup>3</sup>)

#### e). - Cálculo de la oferta de precipitación pluvial.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

La ecuación para calcular la oferta de agua es la siguiente:

$$A_i = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad (4)$$

Dónde:

A<sub>i</sub> = Oferta de agua en el mes “i”, m<sup>3</sup>

Ppi = Precipitación promedio mensual, ℓ/m<sup>2</sup>

Ce = Coeficiente de escorrentía.

A<sub>c</sub> = Área de captación, m<sup>2</sup>

**- Oferta acumulada (Aai).**

Se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Aai = Aa_{(i-1)} + Ai \quad (5)$$

Dónde:

Aai: oferta acumulada al mes “i” (m<sup>3</sup>).

Aa<sub>(i-1)</sub>: oferta acumulada al mes anterior “i-1” (m<sup>3</sup>).

Ai: oferta del mes “i” (m<sup>3</sup>).

**f). – Sistema de conducción del agua captada.**

El sistema de conducción es el encargado de transportar el agua lluvia a través de los diferentes componentes del sistema que consiste en canaletas y bajantes de PVC, las longitudes son variables y depende del área de captación.

**g). – Sistema de filtración.**

El sistema de filtración consiste en un filtro de bajante para retención de sólidos, compuesto por malla milimétrica plástica y grava de 3/8”.

**h). – Almacenamiento del agua captada.**

Este componente tiene el mayor costo en el sistema de captación de agua de lluvia, pueden ser cisternas o tanques, la actividad que realiza el tanque es almacenar el agua captada para luego ser distribuida al hogar, puede ser colocado sobre el suelo o subterráneo, dependiendo de las condiciones económicas de los beneficiarios.

Para determinar el volumen de almacenamiento recomendable se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes del periodo de precipitación pluvial, de esta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda.

La ecuación para calcular el volumen de almacenamiento es la siguiente:

$$Vi = Aai - Dai \quad (6)$$

Dónde:

Vi: volumen de almacenamiento del mes “i” (m<sup>3</sup>).

Aai: oferta acumulada al mes “i” (m<sup>3</sup>).

Dai: demanda acumulada al mes “i” (m<sup>3</sup>).

Pero para el presente trabajo de investigación, con fines académicos, se propuso un tanque de almacenamiento con una capacidad de 1.100 ℓ.

#### **2.4.2.2. Métodos utilizados para la toma de muestras**

Para la toma de muestras se siguió los pasos que especifican los métodos de muestreo de la NB 496 de toma de muestras para agua potable, también se tomó en cuenta técnicas de muestreo recomendadas por el laboratorio CEANID.

##### **2.4.2.2.1. Toma de muestras para los parámetros de control mínimo.**

Para la determinación de los parámetros de control mínimo, se requiere 500 ml de agua para parámetros físico-químicos y 300 ml de agua para parámetros microbiológicos, para conocer la calidad del agua de lluvia que se encuentra en el tanque de almacenamiento, se tomaron dos muestras, a continuación, se describe cada muestreo y el procedimiento empleado.

##### **Muestra N°1: Tanque de almacenamiento.**

La muestra N°1 se tomó del tanque de almacenamiento que se encuentra en la vivienda elegida en la Comunidad de Palos Blancos, en fecha: 3/12/2019, en las coordenadas geográficas: 21°24'45,3" latitud sud y 63°47'9,7" longitud oeste.

Para la toma de muestras se utilizó guantes quirúrgicos, barbijo, gorro desechable y mandil para evitar la contaminación de la muestra.

- **Procedimiento de muestreo parámetros microbiológicos.**

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear un frasco de 300 ml de plástico esterilizado, debidamente codificado. El tanque de almacenamiento cuenta con un grifo mediante el cual se tomó la muestra correspondiente, el grifo es nuevo por lo tanto no presenta deterioros, se eliminó del grifo cualquier adherencia o suciedad mediante una torunda de algodón empapada con alcohol, para la extracción de la muestra destapar el frasco esterilizado y llenar con la muestra, poner el frasco bajo el chorro de agua, evitando el contacto del grifo con la boca del frasco, dejar un espacio de aire de 1 cm antes de que el agua llegue al tope del frasco, lo que facilita homogenizar la muestra antes de su análisis. Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas. Transportar el frasco en conservadora con hielo. (NB 496, 2005)

- **Procedimiento de muestreo parámetros físico-químicos.**

El procedimiento para la toma de muestras fue emplear una botella PET de 500 ml debidamente codificado. El tanque de almacenamiento cuenta con un grifo mediante el cual se tomó la muestra correspondiente, el grifo es nuevo por lo tanto no presenta deterioros, se debe enjuagar el frasco dos o tres veces con la misma muestra, para la extracción de la muestra llenar el frasco hasta que rebalse, evitando el contacto del grifo con la boca de la botella. Tapar la botella con sumo cuidado para que no queden burbujas en su interior. Registrar en las planillas de muestreo, la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas. Transportar la botella en conservadora con hielo. (NB 496, 2005)

**Muestra N°2: Tanque de almacenamiento.**

La muestra N°2 se tomó del mismo tanque de almacenamiento que la muestra N°1, en la comunidad de Palos Blancos, en fecha: 10/02/2020, en las coordenadas geográficas: 21°24'45,3" latitud sud y 63°47'9,7" longitud oeste.

Para la toma de muestras se utilizó guantes quirúrgicos, barbijo, gorro desechable y mandil para evitar la contaminación de la muestra.

El procedimiento de muestreo tanto para los parámetros microbiológicos como para los físico-químicos es el mismo que se utilizó para la muestra N°1.

**TABLA 3: Parámetros y métodos para el análisis de los parámetros de control mínimo en el laboratorio de “CEANID”**

<b>Parámetro</b>	<b>Técnica y/o método de ensayo</b>	<b>Unidad</b>
Conductividad (22,7°C).	SM 2510-B	μS/cm.
pH (22,7°C).	SM 4500-H-B	---
Turbiedad.	SM 2130-B	UNT.
Coliformes termoresistentes.	NB 31004:07	UFC/100ml.
Coliformes totales.	NB 31004:07	UFC/100ml.

Fuente: CEANID.

#### **2.4.2.2. Métodos utilizados para la aplicación de la cadena de cloración al agua de lluvia almacenada, mediante la preparación, dosificación y educación.**

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, ha elaborado una guía técnica; que contiene los criterios básicos recomendados para el tratamiento y la desinfección del agua para consumo humano por medio de cloro. Además, incluye recomendaciones para la manipulación y el almacenamiento del agua a nivel domiciliario, con el objeto de reducir los riesgos sanitarios derivados del consumo de agua contaminada.

Esta guía nos recomienda diferentes tablas que muestran la cantidad de cloro líquido a dosificar dependiendo de la concentración, el hipoclorito de sodio comercial que

usaremos es del 5,5% (55.000 mg/l) y entre ellas la que más se acerca al porcentaje de concentración de cloro activo es de 5% (50.000 mg/l).

**- Preparación.**

Para preparar un litro de solución de hipoclorito de sodio al 5% a partir de una botella que contiene 5,5% de Cloro, se aplica las siguientes ecuaciones:

$$V_1 = \frac{(V_2 * C_2)}{C_1} \quad (7)$$

Donde:

V<sub>1</sub>: Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro y que necesitamos calcular para preparar la solución.

V<sub>2</sub>: Volumen de la solución final de cloro que queremos preparar.

C<sub>1</sub>: Concentración de cloro que contiene la solución original.

C<sub>2</sub>: Concentración de la solución final de cloro que queremos preparar.

Restar:

$$V_2 - V_1 = V_3 \quad (8)$$

Donde:

V<sub>1</sub>: Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro.

V<sub>2</sub>: Volumen de la solución final de cloro que queremos preparar.

V<sub>3</sub>: Volumen de agua destilada que se necesita para la solución.

Entonces medir:

$$V_1 + V_3 = V_f \quad (9)$$

Donde:

V<sub>1</sub>: Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro.

V<sub>3</sub>: Volumen de agua destilada que se necesita para la solución.

$V_f$ : Volumen final de la solución con la concentración que queremos preparar.

### - Dosificación.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, en el Anexo 1 de su guía técnica, recomienda los datos de la tabla N°4 para el tratamiento y desinfección de agua por medio de hipoclorito de sodio (cloro líquido), estas recomendaciones son para sistemas cerrados, es decir, agua almacenada en recipientes.

**TABLA 4: Cantidad de cloro líquido a dosificar, si la concentración es de 5% (50.000mg/l)**

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de Cloro líquido a agregar en tiempo normal	Cantidad de Cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	½ gota	1 gota
2 litros	1 gota	1 ½ gota
1 galón	1 ½ gotas	3 gotas
5 litros	2 gotas	4 gotas
10 litros	4 gotas	8 gotas
20 litros (5 galones)	8 gotas	16 gotas
100 litros (25 galones)	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (1/2 tapita)
200 litros (50 galones)	4 mililitros (1/2 tapita)	8 mililitros (1 tapita)
1000 litros (250 galones)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)

**Fuente:** Guía técnica (MSP/OPS/OMS, 2006).

### - Educación.

Para la correcta aplicación de la cadena de cloración al agua de lluvia almacenada, se necesita capacitar a los beneficiarios, se propone un folleto informativo.

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADO Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA A NIVEL FAMILIAR EN LA COMUNIDAD DE PALOS BLANCOS.**

##### **A) Evaluación de los techos de la vivienda familiar para la captación de agua de lluvia**

Para el aspecto técnico de la propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar en periodo de precipitación pluvial, se ha considerado el estudio del área de los techos que conforman las viviendas de la comunidad de Palos Blancos. Para ello fue necesario realizar un estudio de campo y producto de esta investigación se ha encontrado que el área de los techos de la mayoría de las viviendas es de calamina galvanizada. La ventaja que proporciona este material es que presenta una superficie lisa de fácil escurrimiento.

La vivienda elegida para la implementación del sistema de captación de agua de lluvia es de un habitante de la comunidad de Palos Blancos, los aspectos tomados en cuenta para su elección fueron las siguientes: el techo de su vivienda es de calamina galvanizada y en su familia son 4 integrantes, características similares a las demás viviendas, también se tuvo cierto acercamiento con la familia donde se observó que son responsables y con predisposición a colaborar en el presente trabajo de investigación.

##### **B) Localización del sitio para implementar el sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar.**

La vivienda familiar está ubicada geográficamente entre las coordenadas: 21°24'45.3" de latitud sud, 63°47'9.7" de longitud oeste y 710 m.s.n.m. de altitud.

La Comunidad de Palos Blancos está ubicada en el Cantón Chimeo en el Distrito 6 de la Provincia O'Connor, en la parte central del Departamento de Tarija, geográficamente

entre las coordenadas: 21°24'54.0" de latitud sud, 63°46'53.0" de longitud oeste, 763 m.s.n.m.; y 75 km de la capital del Municipio de Entre Ríos. (Ver Anexo 1)

### C) Área de captación del agua de lluvia.

Se procedió a realizar la medición del ancho y largo de la vivienda, obteniendo de datos: ancho de la casa 4,60 m y de largo 15,55m. (Ver Anexo 2)

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la siguiente ecuación:

$$A_c = a * b$$

Donde:

$A_c$  = Área de captación, m<sup>2</sup>

a = Ancho de la casa, m.

b = Largo de la casa, m.

Aplicando la ecuación:

$$A_c = 4,60 * 15,55$$

$$A_c = 71,53 \text{ m}^2$$

### D) Determinación de la demanda de agua de la familia.

La demanda de agua se obtuvo de acuerdo al diagnóstico realizado en una familia de la comunidad de Palos Blancos.

**TABLA 5: Consumo de agua de la familia**

N° de Personas	Consumo de agua/persona (ℓ/d)	Total, por día (ℓ)
4	50	200

**Fuente:** Elaboración propia.

**-Cálculo de demanda de agua mensual.**

La demanda de agua mensual de la familia se obtiene mediante la ecuación 2.

Para el presente trabajo de investigación se ha tomado en cuenta el periodo de precipitación pluvial siendo solo los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre.

**TABLA 6: Demanda de agua mensual**

MES	DÍAS	DEMANDA POR DÍA (ℓ)	DEMANDA POR MES (m <sup>3</sup> )
Enero	31	200	6,20
Febrero	28	200	5,60
Marzo	31	200	6,20
Noviembre	30	200	6
Diciembre	31	200	6,20

**Fuente:** Elaboración propia.

La ecuación para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_i = \frac{N_u * Dot * Nd}{1000}$$

Donde:

$D_i$ = Demanda mensual.

$N_u$  = Número de beneficiarios del sistema.

Dot = Dotación, ℓ/persona/d.

$N_d$  = Número de días del mes.

1000 = Factor de conversión, ℓ en m<sup>3</sup>

Aplicando la ecuación:

Enero:

$$D_{\text{enero}} = \frac{4 * 50 * 31}{1000}$$

$$D_{\text{enero}} = 6,20 \text{ m}^3$$

Febrero:

$$D_{\text{febrero}} = \frac{4 * 50 * 28}{1000}$$

$$D_{\text{febrero}} = 5,6 \text{ m}^3$$

Marzo:

$$D_{\text{marzo}} = \frac{4 * 50 * 31}{1000}$$

$$D_{\text{marzo}} = 6,20 \text{ m}^3$$

Noviembre:

$$D_{\text{noviembre}} = \frac{4 * 50 * 30}{1000}$$

$$D_{\text{noviembre}} = 6,0 \text{ m}^3$$

Diciembre:

$$D_{\text{diciembre}} = \frac{4 * 50 * 31}{1000}$$

$$D_{\text{diciembre}} = 6,20 \text{ m}^3$$

### **E). - Cálculo de la oferta de precipitación pluvial.**

#### **- Información pluviométrica mensualizada de los periodos 2008 – 2018**

La información que se toma en cuenta para calcular la precipitación pluvial, es el promedio mensual para los periodos 2008-2018, tomado a partir de los datos diarios proporcionados por SENAMHI (Tabla N°7).

**TABLA 7: Promedio de precipitación mensual y precipitación total anual de Palos Blancos (mm), (2008 - 2018)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	AÑO
<b>ENE</b>	54,1	147,0	139,9	67,8	167,2	178,1	234,6	120,2	285,4	54,1	147,0	<b>ENE</b>
<b>FEB</b>	159,1	227,5	142,0	180,1	202,3	48,3	166,9	97,4	172,5	159,1	227,5	<b>FEB</b>
<b>MAR</b>	10,5	64,9	37,6	63,1	27,2	51,3	97,9	74,1	115,3	10,5	64,9	<b>MAR</b>
<b>ABR</b>	4,0	36,6	100,6	0,0	5,1	178,5	26,6	57,9	0,0	4,0	36,6	<b>ABR</b>
<b>MAY</b>	0,0	9,6	24,2	38,4	27,7	46,5	26,7	0,0	0,0	0,0	9,6	<b>MAY</b>
<b>JUN</b>	0,0	0,0	3,2	0,0	3,4	44,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>JUN</b>
<b>JUL</b>	0,0	4,5	2,2	0,0	3,2	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	<b>JUL</b>
<b>AGOS</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>AGOS</b>
<b>SEPT</b>	27,9	3,1	0,0	0,0	21,3	0,0	0,0	31,5	0,0	27,9	3,1	<b>SEPT</b>
<b>OCT</b>	24,3	9,6	38,6	71,0	24,0	0,0	91,3	38,7	62,6	24,3	9,6	<b>OCT</b>
<b>NOV</b>	7,3	42,5	118,8	33,7	45,5	93,9	185,3	3,3	110,6	7,3	42,5	<b>NOV</b>
<b>DIC</b>	137,3	139,7	25,3	155,9	54,0	95,9	82,7	220,9	161,3	137,3	139,7	<b>DIC</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>	424,5	685,0	632,4	610,0	583,2	746,8	912,0	644,0	907,7	424,5	685,0	<b>TOTAL ANUAL</b>

Fuente: SENAMHI.

**TABLA 8: Promedio mensual de precipitación pluvial (2008-2018)**

Mes	Precipitación (mm)
Enero	157,1
Febrero	143,3
Marzo	73,0
Abril	47,1
Mayo	15,9
Junio	4,6
Julio	1,6
Agosto	0,4
Septiembre	7,6
Octubre	32,7
Noviembre	72,2
Diciembre	124,6

**Fuente:** SENAMHI.

La oferta de agua mensual de la familia se obtiene mediante la ecuación 4. Se ha tomado en cuenta el periodo de precipitación pluvial siendo sólo los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre.

La ecuación para calcular la oferta de agua es la siguiente:

$$A_i = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

Dónde:

$A_i$  = Oferta de agua en el mes “i”, m<sup>3</sup>

$Ppi$  = Precipitación promedio mensual, ℓ/m<sup>2</sup>

$Ce$  = Coeficiente de escorrentía.

$A_c$  = Área de captación, m<sup>2</sup>

Aplicando la ecuación:

Enero:

$$A_{\text{enero}} = \frac{157,1 * 0,9 * 71,53}{1000}$$

$$A_{\text{enero}} = 10,11 \text{ m}^3$$

Febrero:

$$A_{\text{febrero}} = \frac{143,3 * 0,9 * 71,53}{1000}$$

$$A_{\text{febrero}} = 9,22 \text{ m}^3$$

Marzo:

$$A_{\text{marzo}} = \frac{73 * 0,9 * 71,53}{1000}$$

$$A_{\text{marzo}} = 4,70 \text{ m}^3$$

Noviembre:

$$A_{\text{noviembre}} = \frac{72,2 * 0,9 * 71,53}{1000}$$

$$A_{\text{noviembre}} = 4,65 \text{ m}^3$$

Diciembre:

$$A_{\text{diciembre}} = \frac{124,6 * 0,9 * 71,53}{1000}$$

$$A_{\text{diciembre}} = 8,02 \text{ m}^3$$

En la tabla N°9 se muestran los resultados de demanda y oferta acumulada, obtenidos con la ecuación mencionada en metodología.

**TABLA 9: Resultados de demanda, oferta mensual y acumulada**

MES	DEMANDA DEL MES (m <sup>3</sup> )	DEMANDA ACUMULADA (m <sup>3</sup> )	OFERTA DEL MES (m <sup>3</sup> )	OFERTA ACUMULADA (m <sup>3</sup> )
Enero	6,20	6,20	10,11	10,11
Febrero	5,6	11,8	9,22	19,33
Marzo	6,20	18	4,70	24,03
Noviembre	6	24	4,65	28,68
Diciembre	6,20	30,2	8,02	36,7

**Fuente:** Elaboración propia.

Con los resultados se obtiene que, demanda total acumulada anual de 30,2 m<sup>3</sup> y una oferta acumulada total de 36,7 m<sup>3</sup>, por lo tanto, se obtiene que la oferta acumulada es menor a la demanda acumulada.

#### **F). – Sistema de conducción del agua captada.**

El sistema de conducción es el encargado de transportar el agua lluvia a través de los diferentes componentes del sistema. Las tuberías de PVC son una buena opción ya que son ligeras, fáciles de cortar e instalar y de fácil mantenimiento.

El sistema de conducción consta de:

##### **-Canaletas**

Las canaletas son las encargadas de recolectar el agua de lluvia que cae al área de captación (techo). Las canaletas deberán estar sujetas al techo, a la pared o a la viga

más próxima por medio de las ménsulas o abrazaderas, de manera que el techo quede volado al menos 5 cm dentro de la canaleta. Es importante que las canaletas tengan una pendiente que permita que el agua escurra hacia la bajante y no se quede estancada en ningún tramo de las mismas. Esto se logra dejando una diferencia de altura de 1 cm por cada metro de longitud entre la parte más alta y la más baja de la canaleta al momento de sujetarla al techo, pared o viga. (IMTA)

Para el presente trabajo de investigación, se utilizaron cuatro tubos PVC de 4" cortadas a la mitad y unidas entre sí para formar una sola canaleta, con una pendiente de 15cm respecto al techo, para un largo de 15,55 m se utilizó 9 abrazaderas metálicas con un espacio de 2 m entre sí, para evitar movimiento de las canaletas se utilizaron tornillos para fijarlas a las abrazaderas. La cantidad de tuberías para las canaletas dependerá de la longitud del techo. (Ver Anexo 2 y 4)

#### **-Bajante.**

La bajante es la encargada de transportar el agua que recolecta las canaletas. Para la bajante se deberá usar tuberías de PVC de mínimo 3" de diámetro. La cantidad de tubo debe ser al menos la distancia entre la canaleta y el filtro de bajante (se detalla más a continuación), más la distancia entre este filtro y el tanque de almacenamiento.

Para el presente trabajo de investigación, se usó solo un tubo PVC de 3" porque la distancia de la canaleta al tanque de almacenamiento es corta. Para unir la canaleta de 4" con la bajante, se utilizó una reducción de 4" a 3" y dos codos de 3", para unir la bajante al sistema de filtración se usó una reducción de 4" a 3", del sistema de filtración al tanque de almacenamiento se usaron 2 codos de 3" y una "Tee" también de 3". Una vez lleno el tanque de almacenamiento la función de la "Tee" es la de conducir el agua de lluvia hacia un lado del tanque, funcionando como rebalse y también dando la oportunidad de seguir recolectando esta agua en otros recipientes. (Ver Anexo 2 y 4)

**G). – Sistema de filtración.**

Para el presente trabajo de investigación se utilizó como sistema de filtración un filtro de bajante, el cual es económico y sencillo, las funciones que realiza son de separación del agua de los residuos sólidos.

Este filtro fue montado en la bajante antes de llegar al tanque de almacenamiento. Allí filtra hojas, insectos, granos de arena y otras partículas mayores de 0,2 mm del agua de lluvia.

El filtro de bajante está conformado por: una caja sifonada de 6” de diámetro, con salida principal de 3”, tiene 4 salidas más para conexión de tubería de 2”, que puede ser aprovechado para transportar el agua de lluvia a otros recipientes para su respectivo almacenamiento, en este caso estas 4 salidas se van a mantener selladas con tapas. (Ver Anexo 2 y 4)

Para que dicha caja sifonada actúe como filtro, se procedió a incorporarle en su interior grava fina limpia de 3/8” a la mitad de su capacidad, también se usó malla milimétrica plástica, tanto en la entrada de diámetro de 6” como en la salida de diámetro 3”. (Ver Anexo 2 y 4)

Para montar el filtro a la bajante de la canaleta, se utilizó dos accesorios de reducción, una de 6” a 4” y la otra de 4” a 3”, de la salida principal de 3” se unió directamente un tubo de 3” que va a dar al tanque de almacenamiento.

El filtro de bajante debido a su peso, se utilizó también una abrazadera y un soporte metálico para fijarlo a la pared, para que se mantenga estable y sea de fácil acceso para su mantenimiento. (Ver Anexo 2 y 4)

**H). – Almacenamiento del agua captada.**

En la tabla N°10 se muestran los resultados de la diferencia entre demanda y oferta acumulada, para cada mes del periodo de precipitación pluvial, para determinar el volumen de almacenamiento recomendable, mediante la ecuación 6 mencionada en metodología.

**TABLA 10: Determinación del volumen de almacenamiento**

MES	DEMANDA DEL MES (m <sup>3</sup> )	DEMANDA ACUMULADA (m <sup>3</sup> )	OFERTA DEL MES (m <sup>3</sup> )	OFERTA ACUMULADA (m <sup>3</sup> )	VOL. (m <sup>3</sup> )
Enero	6,20	6,20	10,11	10,11	3,91
Febrero	5,6	11,8	9,22	19,33	7,53
Marzo	6,20	18	4,70	24,03	6,03
Noviembre	6	24	4,65	28,68	4,68
Diciembre	6,20	30,2	8,02	36,7	6,5

**Fuente:** Elaboración propia.

Según los cálculos teóricos realizados, el volumen de almacenamiento del tanque es el mayor valor obtenido de la acumulación de agua lluvia, es decir, el mayor volumen acumulado equivale al mes de febrero con un valor de 7,53 m<sup>3</sup>. Este volumen permitirá abastecer a la familia durante los 5 meses del año, que corresponden al periodo de precipitación pluvial de la Comunidad de Palos Blancos.

El volumen actual que se capta y almacena es de 1.100 ℓ, puesto que el tanque de almacenamiento propuesto es de este volumen, tomando en cuenta que la familia necesita 200 ℓ por día, se calcula que abastece un promedio de 5 días, cubriendo las necesidades básicas que incluyen el agua para beber, lavar la ropa, la que se usa para preparar alimentos, la higiene personal y la limpieza del hogar.

### **3.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA ALMACENADA, MEDIANTE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA.**

Para realizar los análisis de la primer y segunda muestra se contrató los servicios del laboratorio de CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo) en el cual se solicitó los análisis de los parámetros mínimos: físicos (conductividad y turbiedad), químicos (pH) y microbiológicos (coliformes termoresistentes y coliformes totales), los resultados son los siguientes:

**3.2.1. Resultados de las muestras de agua de lluvia tomada del tanque de almacenamiento ubicado en la comunidad de Palos Blancos del Municipio de Entre Ríos, realizado por el laboratorio CEANID.**

A continuación, se detalla los resultados de cada parámetro obtenido en las diferentes muestras.

**3.2.1.1. Resultados del parámetro conductividad eléctrica.**

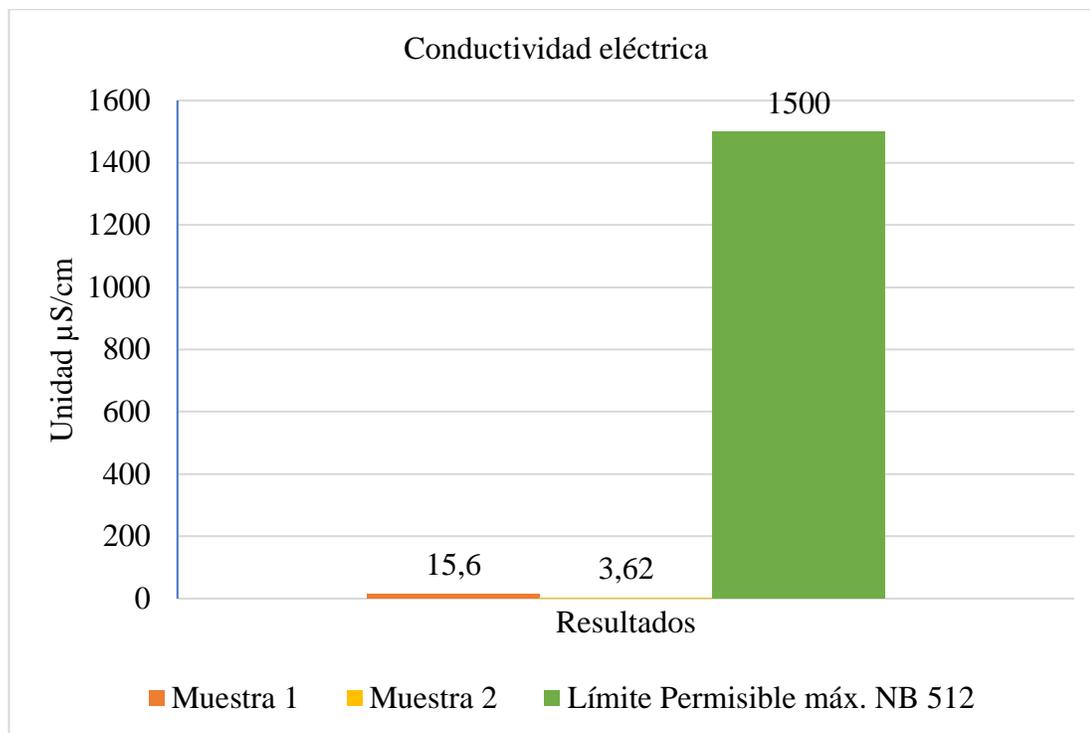
**CUADRO 1: Resultados de análisis del parámetro conductividad eléctrica.**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultados		Límites permisibles	Referencia de los límites
			Muestra N°1 3/12/2019	Muestra N°2 10/2/2020	Máx.	
Conductividad	SM 2510-B	$\mu\text{S}/\text{cm}$	15,60	3,62	1500	NB 512:16

NB: Norma Boliviana.  
 $\mu\text{S}$ : Micro Siemens  
 cm: centímetros.

**Fuente:** CEANID.

**GRÁFICA 1: Resultados de análisis del parámetro conductividad eléctrica y comparación con la NB 512.**



**Fuente:** Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos del CEANID.

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala. (Guillermo, 1997 – 1998)

En el cuadro y gráfica N°1 se puede observar que en los dos muestreos realizados en fecha 3 de diciembre de 2.019 y 10 de febrero de 2.020 con datos de 15,6 µS/cm y 3,62 µS/cm respectivamente, los resultados de conductividad eléctrica no exceden el límite máximo permisible que es de 1.500 µS/cm estipulado por la NB 512, por tanto, el agua de lluvia almacenada en el tanque no estaría contaminada con cationes. (Ver Anexo 3 y 6)

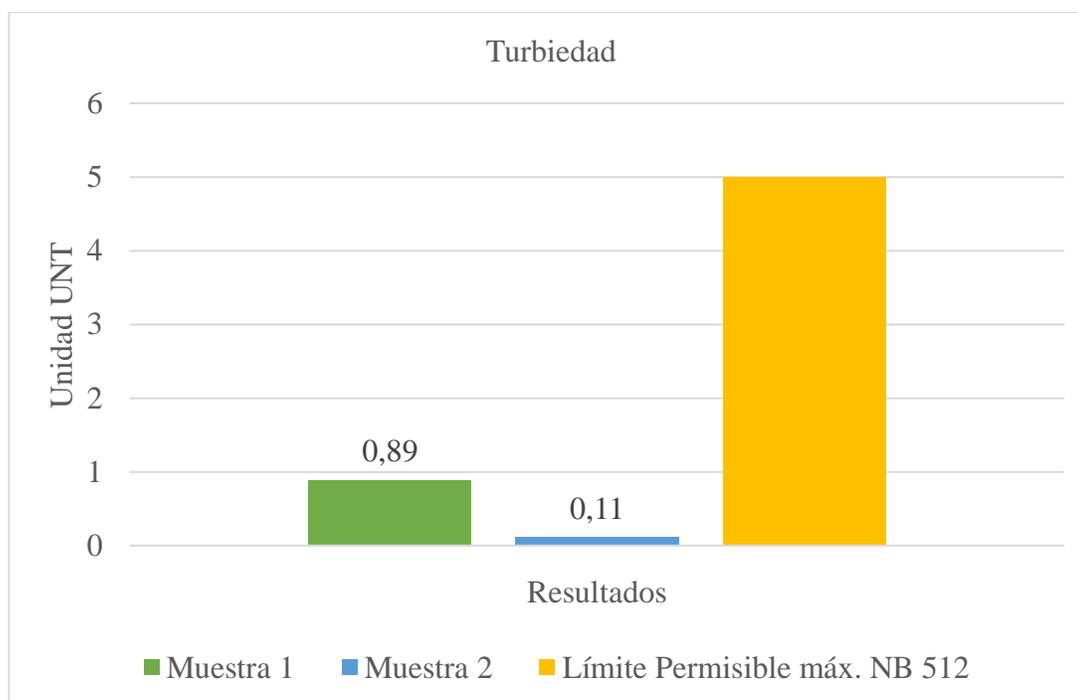
### 3.2.1.3. Resultados del parámetro turbiedad.

**CUADRO 2: Resultados de análisis del parámetro turbiedad.**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultados		Límites permisibles	Referencia de los límites
			Muestra N°1 3/12/2019	Muestra N°2 10/2/2020	Máx.	
Turbiedad	SM 2130-B	UNT	0,89	0,11	5	NB 512:16
NB: Norma Boliviana. UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.						

**Fuente:** CEANID.

**GRÁFICA 2: Resultados de análisis del parámetro turbiedad y comparación con la NB 512.**



**Fuente:** Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos del CEANID.

La turbiedad mide la claridad óptica del agua. Es provocada por la dispersión y absorberencia de la luz por las partículas suspendidas en el agua. (Mihelcic, 2011)

La turbiedad elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro, por ello, la turbidez debe mantenerse por debajo de 1 UNT para propiciar una desinfección eficaz. (OMS, 2018)

La Organización Mundial de la Salud y la Norma Boliviana 512 reporta que una turbiedad hasta de 5 UNT es en general aceptable.

En el cuadro y gráfica N° 2 se puede observar los resultados obtenidos de las dos muestras, se encuentran dentro del límite permisible máximo estipulado por la NB 512, cumpliendo con la norma, por lo tanto, es apto para una desinfección eficaz ya que se encuentran por debajo de 1 UNT. (Ver Anexo 3 y 6)

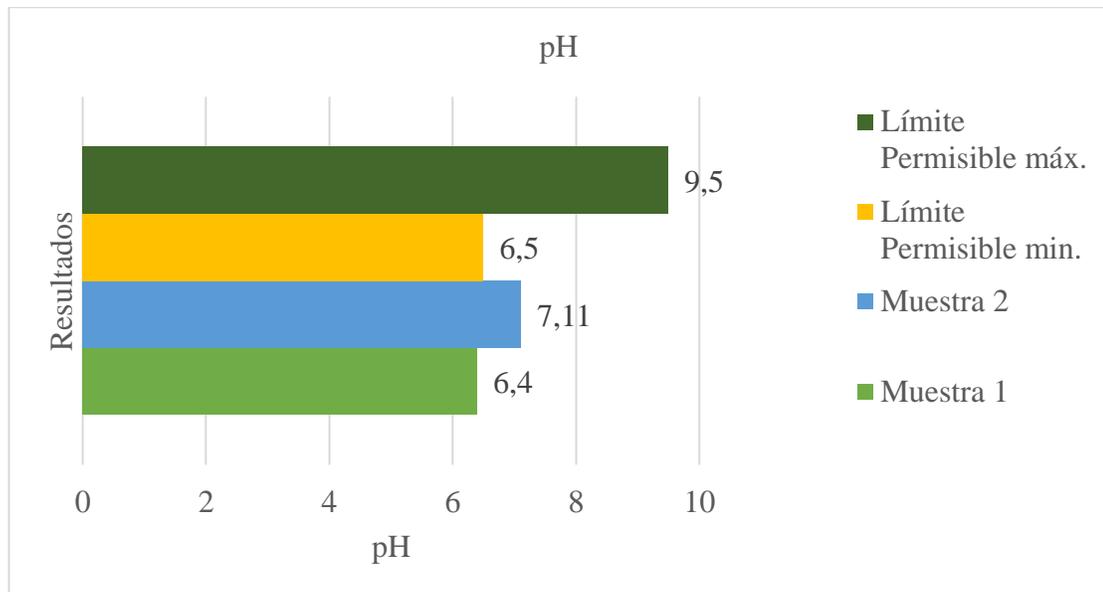
#### 3.2.1.4. Resultados del parámetro pH.

**CUADRO 3: Resultado de análisis del parámetro pH**

Parámetro	Técnica	Resultados		Límites permisibles		Referencia de los límites
		Muestra N°1 3/12/2019	Muestra N°2 10/2/2020	Min.	Máx.	
pH	SM 4500-H-B	6,40	7,11	6,5	9,5	NB 512:16
NB: Norma Boliviana.						

**Fuente:** CEANID.

### GRÁFICA 3: RESULTADO DE ANÁLISIS DEL PARÁMETRO pH Y COMPARACIÓN CON LA NB 512



**Fuente:** Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos del CEANID.

El pH mide el grado de acidez o alcalinidad de un compuesto. En el agua, el pH es un factor muy importante porque algunos procesos químicos solo se pueden producir cuando el agua presenta un determinado valor de pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro se producen cuando el pH tiene un valor entre 6,5 y 8. (OPS/MSP, 2013)

En el cuadro y gráfica N°3, se observan los resultados de la muestra N°1 y N°2 los valores de pH son de 6,4 y 7,11 respectivamente, el pH de la muestra N°1 no cumple con la norma, esto puede ser porque la muestra se obtuvo de las primeras lluvias por tanto fue de las primeras veces que funcionaba el sistema de captación. La muestra N°2 si cumple con los límites permisibles estipulados en la NB 512. (Ver Anexo 3 y 6)

### 3.2.1.5. Resultados del parámetro coliformes termoresistentes.

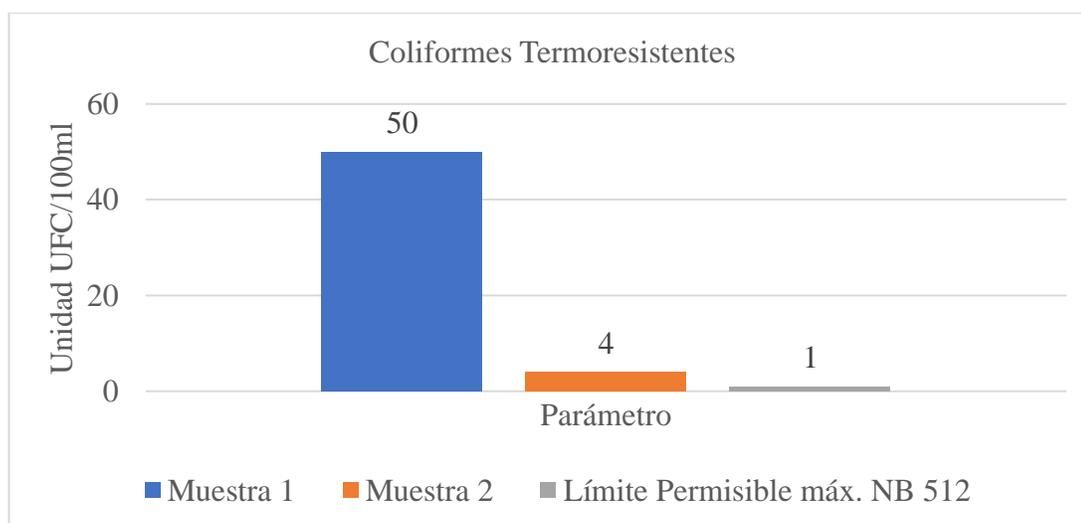
**CUADRO 4: Resultado de análisis del parámetro coliformes termoresistentes.**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultados		Límites permisibles	Referencia de los límites
			Muestra N°1 3/12/2019	Muestra N°2 10/2/2020	Máx.	
Coliformes termoresistentes	NB 31004:07	UFC/100ml	50	4	<1	NB 512:16

NB: Norma Boliviana.  
 UFC: Unidades Formadoras de Colonias.  
 < : Menor que.  
 ml: mililitros.

**Fuente:** CEANID.

**GRÁFICA 4: Resultado de análisis del parámetro coliformes termoresistentes y comparación con la NB 512.**



**Fuente:** Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos del CEANID.

Los coliformes termoresistentes (fecales), son organismos anaerobios esporulados que resisten temperaturas de hasta 52°C, normalmente presentes en las heces, sus esporas pueden subsistir en el agua, por prolongados periodos de tiempo y pueden resistir a la desinfección si el tiempo de concentración y pH no son adecuados.

Los microorganismos coliformes indican presencia de contaminación de origen fecal que pudo proceder de las heces de la calle que se secan, pulverizan, son arrastradas por el viento y se depositan en las superficies de captación. Otra fuente de contaminación de este tipo pudo ser alguna ave que depositó sus heces en Techo. (Montaño, 2016)

En base al cuadro y gráfica N°4, se observa que hay presencia de coliformes termoresistentes en las dos muestras, el resultado de la muestra N°1 es de 50 UFC/100ml y de la muestra N°2 es de 4 UFC/100ml, comparando con el valor máximo aceptable establecido por la NB512, los resultados indican que existe contaminación al agua de lluvia por coliformes termoresistentes. (Ver Anexo 3 y 6)

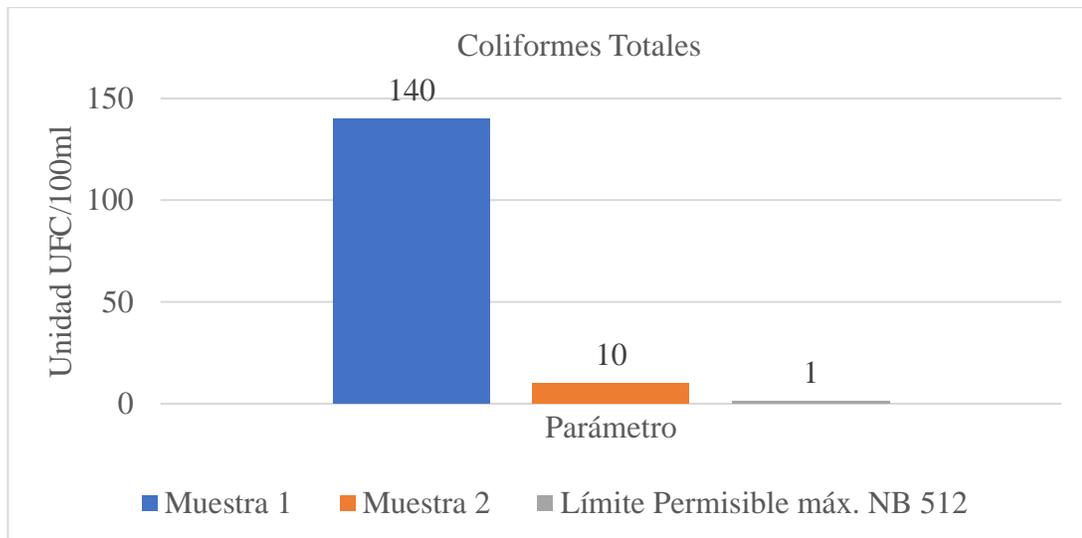
### 3.2.1.6. Resultados del parámetro coliformes totales.

**CUADRO 5: Resultado de análisis del parámetro coliformes totales.**

Parámetro	Técnica	Unidad	Resultados		Límites permisibles	Referencia de los límites
			Muestra N°1 3/12/2019	Muestra N°2 10/2/2020	Máx.	
Coliformes totales	NB 31004:07	UFC/100ml	140	10	<1	NB 512:16
NB: Norma Boliviana. UFC: Unidades Formadoras de Colonias. < : Menor que. ml: mililitros.						

**Fuente:** CEANID.

**GRÁFICA 5: Resultado de análisis del parámetro coliformes totales y comparación con la NB 512.**



**Fuente:** Elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos del CEANID.

La presencia de coliformes totales en el agua lluvia, indica que existe contaminación por diferentes bacterias representando ello riesgo para la salud humana. Esta contaminación es muy generalizada debido a que puede ser humana, animal, de los suelos; por lo que en nuestro caso de estudio puede obedecer a fuentes de origen animal (incluyendo, ratas, cucarachas y otros insectos). (Montaño, 2016)

Los resultados de los análisis realizados por el laboratorio CEANID, como se muestra en el cuadro y gráfica N°5, las muestras N°1 y N°2 no cumplen con el límite permisible máximo estipulado por la NB512.

Los anteriores resultados indican que la calidad del agua de lluvia captada por el sistema de captación familiar de agua de lluvia implementada en una vivienda de la comunidad de Palos Blancos, no cumple con los requerimientos mínimos de ausencia de microorganismos biológicos, pero si cumple la normatividad para los parámetros físico-químicos evaluados. (Ver Anexo 3 y 6)

### **3.3. APLICACIÓN DE LA CADENA DE CLORACIÓN AL AGUA DE LLUVIA ALMACENADA, MEDIANTE LA PREPARACIÓN, DOSIFICACIÓN Y EDUCACIÓN.**

Para fortalecer la propuesta de un sistema de captación familiar de agua de lluvia en periodo de precipitación pluvial en la comunidad de Palos Blancos, se sugiere aplicar el siguiente tipo de tratamiento para la desinfección del agua lluvia almacenada, mediante la desinfección por hipoclorito de sodio con una concentración de cloro activo de 55.000mg/l, lo que comúnmente se llama lavandina y se encuentra de manera comercial y accesible.

Esta sustancia química es de fácil acceso y su costo es relativamente bajo, siendo el método de desinfección más utilizado como en plantas potabilizadoras, niveles domiciliarios, tratamiento de aguas residuales, entre otros. Es necesario considerar la aplicación de la dosis correcta de cloro, que dependerá de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua a tratar, así como también del sistema de dosificación. Este factor es de suma importancia, ya que dosificaciones mayores podrían tener efectos negativos en la salud de los usuarios, mientras que dosis menores no garantizan la obtención de agua apta para el consumo humano.

Entre las ventajas del método de desinfección por cloro están:

- **Eficacia:** El cloro es una de las sustancias más efectivas en cuanto a la remoción de bacterias, virus y cualquier microorganismo que cause contaminación.
- **Bajo Costo:** La desinfección por cloro no representa costos significativos de construcción ni mantenimiento, comparado con otros métodos de tratamiento.
- **Protección a largo plazo:** Cuando la dosificación es la correcta, una cantidad de la sustancia, denominado cloro residual libre, permanece en el agua tratada, evitando nuevamente su contaminación. El cloro residual favorece a la conducción del flujo a través de las redes de distribución ya que inhibe el crecimiento biológico que se puede producir dentro de las tuberías.

**- Preparación:**

El hipoclorito de sodio comercial, tiene una concentración de cloro activo de 55.000 mg/l, para la desinfección del agua de lluvia se requiere que el hipoclorito de sodio tenga una concentración de cloro activo de 50.000 mg/l, por lo tanto, se debe preparar la solución de la siguiente manera:

Para preparar un litro de solución de hipoclorito de sodio al 5% a partir de una botella que contiene 5,5% de cloro, se aplica la siguiente ecuación:

$$V_1 = \frac{(V_2 * C_2)}{C_1} \quad (7)$$

Donde:

$V_1$ : Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro y que necesitamos calcular para preparar la solución.

$V_2$ : Volumen de la solución final de cloro que queremos preparar.

$C_1$ : Concentración de cloro que contiene la solución original.

$C_2$ : Concentración de la solución final de cloro que queremos preparar.

Aplicando la ecuación:

$$V_1 = \frac{(1000ml * 5\%)}{5,5\%}$$

$$V_1 = 909 \text{ ml de NaClO } 5,5\%$$

Restar:

$$V_2 - V_1 = V_3 \quad (8)$$

Donde:

$V_1$ : Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro.

$V_2$ : Volumen de la solución final de cloro que queremos preparar.

$V_3$ : Volumen de agua destilada que se necesita para la solución.

Aplicando la ecuación:

$$1000ml - 909ml \text{ de NaClO } 5,5\% = 91ml \text{ de agua destilada}$$

Entonces medir:

$$V_1 + V_3 = V_f \quad (9)$$

Donde:

$V_1$ : Volumen que requerimos de la solución concentrada de cloro.

$V_3$ : Volumen de agua destilada que se necesita para la solución.

$V_f$ : Volumen final de la solución con la concentración que queremos preparar.

Aplicando la ecuación:

$$\begin{aligned} 909ml \text{ de NaClO } 5,5\% + 91ml \text{ de agua destilada} \\ = 1000ml \text{ volumen final de la solución } 5\% \end{aligned}$$

#### **- Dosificación.**

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, tomando en cuenta el Anexo 1 de su guía técnica, recomienda que, para un sistema cerrado, en este caso un tanque de almacenamiento, para un volumen de 1.100 ℓ, la cantidad de cloro líquido a dosificar, si la concentración es de 5% (50.000mg/ℓ) es de 22 ml.

El cloro se consume a medida que los organismos se destruyen, si se añade suficiente cloro, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos; a esto se le llama cloro residual. El cloro residual permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación. Con la existencia del cloro residual en el agua, se comprueba que la mayoría de los organismos peligrosos ya fueron eliminados y, por lo tanto, es seguro consumirla. Se

necesitan 2,0 mg/ℓ de cloro para eliminar todos los microorganismos que se encuentran en el agua. (OPS/OMS, 2009)

La NB 512 (Norma Boliviana) exige como valores mínimos 0,2 mg/ℓ y como valor máximo 1,0 mg/ℓ de cloro residual.

Tomando en cuenta estos valores, el cloro total a agregar es de 2,2 mg/ ℓ, en este rango se eliminan todos los microorganismos y quedan 0,2 mg/ℓ de cloro residual, cumpliendo con los valores mínimos estipulados en la NB 512.

Para recalcular la dosis adecuada de hipoclorito de sodio para un volumen de 1.100 ℓ es necesario realizar los siguientes cálculos:



$$\begin{array}{ccc} 149 \text{ mg} & \cdots & 71 \text{ mg} \\ X & \cdots & 0,2 \text{ mg/}\ell \text{ solución} \end{array}$$

$$X = 0,42 \text{ mg NaClO/}\ell \text{ solución}$$

Densidad promedio del agua:  $\rho = 1 \text{ g/ml}$

$$\begin{array}{ccc} 0,42 \text{ mg NaClO} & \cdots & 1.000 \text{ g solución} \\ 0,42 \text{ mg NaClO} & \cdots & 1.000 \text{ g agua aproximadamente} \end{array}$$

$$0,42 \text{ mg: } \quad 0,00042 \text{ g NaClO} \quad \cdots \quad (1.000 - 0,00042) \text{ g agua}$$

$$(1.000 - 0,00042) \text{ g agua} \approx 1.000 \text{ g agua}$$

Como esta diferencia tiende a 1000g de agua, entonces asumiremos para el cálculo, lo siguiente:

$$\begin{array}{ccc} 0,42 \text{ mg NaClO} & \cdots & 1.000 \text{ g agua} \\ Y & \cdots & 1.100.000 \text{ g agua (tanque de almacenamiento 1.100 } \ell \text{ de agua)} \end{array}$$

$$Y = 462 \text{ mg NaClO} \quad \text{Cloro Residual (Es lo que se necesita)}$$

Agua: 1.100.000 g = 1.100 ℓ

$$\begin{array}{ccc} Y = 462 \text{ mg NaClO} & \cdots & \text{para } 1.100 \ell \text{ de agua} \\ Y = 0,462 \text{ g NaClO} & \cdots & \text{para } 1.100 \ell \text{ de agua} \end{array}$$

Hipoclorito de sodio 5%:

Densidad del agua:  $\rho = 1 \text{ g/ml}$

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ g NaClO} & \cdots & 100 \text{ g solución} \\ 0,462 \text{ g NaClO} & \cdots & Z \end{array}$$

$$Z = 9,24 \text{ g solución}$$

Para un volumen de 1.100 l, la cantidad de cloro líquido a dosificar, si la concentración es de 5% es de 22 ml. (MSP/OPS/OMS, 2006)

$$22 \text{ ml NaClO } 5\% \quad \cdots \quad 1.100 \text{ l de agua}$$

$$22 \text{ ml} = 0,022 \text{ l} + 1100 \text{ l} = 1.100,022 \text{ l de solución}$$

$$22 \text{ ml} (\rho = 1 \text{ g/ml}) = 22 \text{ g}$$

5%:

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ g NaClO} & \cdots & 100 \text{ g solución} \\ U & \cdots & 22 \text{ g} \end{array}$$

$$U = 1,1 \text{ g NaClO} \quad \cdots \quad 1.100 \text{ l de agua}$$

Total, de NaClO a añadir, con la cantidad de Cloro residual es (T):

$$T = 1,1 \text{ g} + 9,24 \text{ g} = 10,34 \text{ g solución}$$

$$\begin{array}{rcl} 22 \text{ ml} & \cdots & 1,1 \text{ g} \\ W & \cdots & 10,34 \text{ g} \end{array}$$

$$W = 206,8 \text{ ml} = 207 \text{ ml NaClO al } 5\% \text{ (Para } 1.100 \text{ l de agua)}$$

Se debe realizar la dosificación de hipoclorito de sodio cada vez que se llene el tanque de almacenamiento de 1.100 l, es decir, cada vez que se llene el tanque de almacenamiento se debe utilizar toda el agua almacenada, ya vacío, realizar el mantenimiento de limpieza de todo el sistema, una sola lluvia basta para llenar el tanque, una vez lleno deshabilitar la entrada de agua para impedir el ingreso de nuevas aguas de lluvia, ya que se considera un sistema cerrado, se debe desinfectar el agua de

lluvia almacenada agregando 207 ml de hipoclorito de sodio al 5%, dejar que establezca 30 minutos.

#### **- Educación.**

El presente trabajo de investigación, es una propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar, por lo tanto, son los beneficiarios quienes realizarán la tarea de desinfección del agua de lluvia almacenada.

Por tal motivo, para que los beneficiarios tengan una mejor comprensión y logren cumplir con la adecuada desinfección del agua de lluvia almacenada, se propone un folleto informativo (Ver Anexo 5), el cual, lleva la siguiente información:

- ¿Qué es el hipoclorito de sodio, nombre comercial y cómo conseguir?
- Preparación de la solución de hipoclorito de sodio al 5%
- Dosificación de hipoclorito de sodio con concentración de cloro de 5% para el tanque de almacenamiento de agua de lluvia de 1.100 ℓ.
- Recomendaciones de uso.

### **3.4. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.**

Realizado el diseño y la implementación del sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar, se procede a realizar el presupuesto referencial, con su respectiva unidad, precio unitario, cantidad y precio total.

**TABLA 11: Presupuesto referencial de un sistema de captación de agua de lluvia**

N°	MATERIALES	PRECIO UNITARIO S/F (Bs)	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO TOTAL (Bs.)
>	<b>ACCESORIOS PARA CANALETA</b>				
1	Tubo de PVC 4"	65	4	Pieza	260
2	Abrazadera metálica media luna para canaleta de 4"	7	9	Pieza	63
3	Tornillo	0,33	12	Pieza	4
4	Arandela	0,15	12	Pieza	2
>	<b>ACCESORIOS PARA BAJANTE</b>				
5	Reducción de PVC 4" a 3"	7	2	Pieza	14
6	Codo de PVC 3"	9	4	Pieza	36
7	Tubo de PVC 3"	55	1	Pieza	55
8	Tee de PVC 3"	10	1	Pieza	10
9	Tapa de PVC 3"	5	1	Pieza	5
>	<b>ACCESORIOS PARA FILTRO DE BAJANTE</b>				
10	Caja sifonada de PVC 6" x 3"	45	1	Pieza	45
11	Tapa de PVC 2"	2	2	Pieza	4
12	Malla milimétrica	13	1	Metro	13
13	Reducción de PVC 6" a 4"	25	1	Pieza	25
14	Abrazadera metálica media luna para tubo de 6"	50	1	Pieza	50
15	Base "L" soporte metálico	50	1	Pieza	50
16	Tornillo	0,33	6	Pieza	2
17	Arandela	0,15	6	Pieza	1
>	<b>ACCESORIOS PARA ALMACENAMIENTO</b>				
18	Tanque (Tinaco) de 1.100 litros	1.500	1	Pieza	1.500
>	<b>MANO DE OBRA</b>				
19	Soldador	-	-	-	36
20	Albañil	-	-	-	150
<b>TOTAL</b>					<b>2.325</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El presupuesto referencial para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar es de Bs 2.325. La variabilidad en el monto total, dependerá de varios factores como, por ejemplo: capacidad del tanque de almacenamiento, a

mayor capacidad mayor costo, requerimiento de más materiales en tema de canaleta y bajante, puesto que, depende del área de captación y la distancia a conducir el agua captada al sistema de almacenamiento, otro factor que influiría es que suban o bajen los precios de los materiales, etc.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Para la prueba piloto en una vivienda de la Comunidad de Palos Blancos, se hizo el diagnóstico del techo de la vivienda, construido de calamina galvanizada, con dimensiones de 4,60 m de ancho por 15,55 m de largo, estableciendo el área total de techo de calamina galvanizada de 71,53 m<sup>2</sup>. La oferta de precipitación pluvial, en la zona de estudio fue de 685 mm/año, es decir por 1 mm de precipitación pluvial en 1 m<sup>2</sup> se capta 1 ℓ de agua y por 685 mm de precipitación para un área de techo de 71,53 m<sup>2</sup> se capta 36.700 ℓ de agua por año y/o equivalente a 36,7 m<sup>3</sup>/año. Con estos datos se calculó el volumen máximo de almacenamiento, siendo el resultado de 7,53 m<sup>3</sup>, el resultado obtenido es una recomendación para poder optimizar el almacenamiento de agua de lluvia captada para su abastecimiento a la familia. Con fines académicos se propuso y se implementó, un tanque de almacenamiento de 1.100 ℓ, el cual, tomando en cuenta que la familia necesita 200 ℓ por día, se calcula que abastece un promedio de 5 días, esto no significaría un problema puesto que, en periodo de precipitación pluvial, que comienza en noviembre y finaliza en marzo, las precipitaciones son constantes dando lugar a que el sistema de captación familiar de agua de lluvia este en constante funcionamiento, en todo caso, favoreciendo a que el agua de lluvia almacenada se mantenga circulando un mayor número de veces posible, renovando su almacenamiento.
- Mediante los parámetros de control mínimo estipulados en la Norma Boliviana 512, se determinó que el agua de lluvia almacenada cumple con los límites máximos permisibles, en cuanto a los parámetros de conductividad eléctrica, turbiedad y pH, pero no cumple con los parámetros microbiológicos, como coliformes termoresistentes y coliformes totales, en las dos muestras realizadas ambos resultados exceden los LMP, pero en el primer muestreo, las Unidades

Formadoras de Colonias (UFC) son muy elevados en comparación de la muestra dos, esto demuestra que no se debe almacenar las primeras lluvias, porque como el área de captación es el techo, cuando el ambiente se encuentra seco y no se han dado aún las primeras lluvias, está altamente contaminado, puesto que, se encuentra expuesto al viento, que arrastra heces del ambiente que se adhieren al área de captación, como también las aves que depositan directamente sus heces en el techo. Es necesario dejar pasar las primeras tres o cuatro lluvias para que el techo se limpie naturalmente, para posteriormente almacenar el agua de lluvia captada.

- Para poder utilizar el agua de lluvia almacenada se propone la desinfección con hipoclorito de sodio, debido a su bajo costo y fácil acceso. Se propone desinfectar el agua almacenada una vez llenado el tanque de almacenamiento, es decir, cada vez que se llene el tanque de almacenamiento se debe desinfectar y utilizar toda el agua almacenada hasta acabar en su totalidad, seguidamente realizar el mantenimiento de limpieza de todo el sistema, una vez lleno deshabilitar la entrada de agua para impedir el ingreso de nuevas aguas de lluvia, ya que se considera un sistema cerrado.

Se calculó la dosificación teórica de cloro en base a la dosificación que recomienda El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud en el Anexo 1 de su guía técnica, y el cloro residual en cumplimiento con los valores mínimos estipulados en la NB 512, se calculó que para desinfectar 1.100 l de agua de lluvia almacenada se debe agregar 207 ml de hipoclorito de sodio con una concentración de cloro de 5% y dejar que se establezca 30 minutos.

- El costo de construcción del sistema de captación de agua de lluvia a nivel familiar es de Bs 2.325, el material que tiene mayor precio de todo el sistema es el tanque de almacenamiento, por tanto, el presupuesto que se tiene es referencial, existen muchos factores que pueden variar el precio total.

- En base a los resultados obtenidos, se pudo constatar que la hipótesis formulada es verdadera, el sistema de captación familiar de agua de lluvia, viene a beneficiar de manera directa a los usuarios, toda vez que se debe realizar un tratamiento bacteriológico para el consumo humano.

#### **4.2. RECOMENDACIONES.**

- Que en las viviendas en donde se implemente un sistema de captación de agua de lluvia, en caso de existir vegetación en contacto con el área de captación, por ejemplo, árboles ornamentales, realizar la poda constante, para evitar la acumulación de materia orgánica y asentamientos de aves que puedan contaminar el área de captación, para evitar la proliferación de microorganismos y a su vez, obtener resultados favorables en la captación y almacenamiento del agua de lluvia.
- En el agua de lluvia almacenada existe presencia de microorganismos, como coliformes termoresistentes y coliformes totales, por tanto, si no se aplica la cloración propuesta, se recomienda hervir el agua antes de ser consumida, porque es un método seguro para la desinfección, para evitar posibles enfermedades gastrointestinales.
- Que la universidad promueva el apoyo de instituciones públicas en la implementación de sistemas de captación familiar de agua de lluvia, en los sectores que más lo necesitan, ya que implica invertir una considerable cantidad de dinero, y para las familias de escasos recursos no es muy factible.
- Que la universidad promueva realizar investigaciones más detalladas en el tema captación de agua de lluvia para optimizar el agua superficial, como una medida para enfrentar la escasez de los recursos hídricos que viene ocurriendo debido al problema del cambio climático, ocasionado por el calentamiento global.