

# PROPUESTAS DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA EL CONSUMO EN EL CENTRO POBLADO ESQUEN Y COLINDANTES

Chambi Condori Jose Armando <sup>1\*</sup>, Callata Machaca Luz Delia <sup>2</sup>

<sup>a</sup>EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

---

## Resumen

El estudio aborda la problemática del acceso al agua potable en zonas rurales del altiplano peruano, específicamente en el Centro Poblado Esquén, distrito de Juliaca, provincia de San Román. Dada la deficiente infraestructura y la dependencia de pozos artesanales sin tratamiento, la población consume agua potencialmente contaminada.

El objetivo central es proponer un sistema de tratamiento de agua subterránea que garantice la calidad del agua para consumo humano, conforme al Reglamento Nacional (DS N.º 031-2010-SA). La metodología empleada es de enfoque cuantitativo, con recolección de datos físico-químicos y microbiológicos del agua local.

Los resultados de la caracterización del agua muestran una alta turbidez (33.6 NTU) y elevada conductividad eléctrica (14,562  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo cual indica salinidad. Se detectó ausencia de hierro y dureza muy baja (22 mg/L), buen nivel de oxígeno disuelto (5.51 mg/L) y un pH adecuado (7.9). Asimismo, se identificó posible contaminación microbiológica por coliformes totales y *E. coli*.

El sistema propuesto contempla: captación mediante pozo profundo con bomba sumergible; pretratamiento con sedimentador y coagulante para reducir la turbidez; filtración mediante filtros multimedia y carbón activado; desinfección con hipoclorito de sodio y luz ultravioleta opcional; almacenamiento en tanque cerrado de al menos 275 m<sup>3</sup>; y distribución por gravedad o bombeo, con cloración de refuerzo.

También se comparan alternativas no convencionales como filtros cerámicos y sistemas domésticos, señalando su utilidad en comunidades dispersas por su bajo costo y facilidad de uso. Se concluye que la implementación de un sistema convencional es viable y necesaria, y debe adaptarse a las condiciones socioeconómicas locales. Se requiere acompañamiento técnico, capacitación y monitoreo continuo para garantizar sostenibilidad. Tecnologías accesibles como la electrocoagulación pueden ser clave para garantizar el derecho al agua en zonas rurales.

*Palabras clave:* tratamiento, caracterización

---

## 1. Introducción

La ciudad de Juliaca, ubicada en la región altiplánica del Perú, enfrenta serias limitaciones en el acceso al agua potable, con un servicio intermitente y restringido a pocas horas del día, lo cual afecta directamente la calidad de vida de sus habitantes (SUNASS, 2021). Esta problemática se intensifica en sectores rurales y periféricos, como el sector de Pucachupa en la Comunidad Central Esquén, donde la población carece de infraestructura básica para la dotación de agua segura, situación que obliga a recurrir a fuentes subterráneas de dudosa calidad para satisfacer sus necesidades diarias (Crespo, 2019).

El acceso al agua con garantías sanitarias es un tema crucial en salud pública, la garantía sanitaria y la aptitud para el consumo implican que el agua esté libre de cualquier contaminante perjudicial para la salud (Gómez et al., 2016). La contaminación del agua es una problemática recurrente en países en vía de desarrollo, y especialmente en poblaciones vulnerables, dada la imposibilidad económica de acceder a sistemas eficaces de saneamiento, medios capaces de proporcionar protección contra las enfermedades diarreicas, el cólera, el tífus y otras transmitidas a través del agua, siendo la causa de millones de muertes infantiles cada año (Zúñiga et al., 2017) entre 1,7 y 2 millones (Clayton et al., 2019), para lograr la potabilización es preciso someterla a varios procesos elementales, que comprenden: clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y organoléptico (Zúñiga et al., 2017).

Para combatir dichos contaminantes y contrarrestar las enfermedades se hace necesario la implementación de una planta de tratamiento de agua potable es un sistema concebido para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, de modo que sea posible su uso para el aprovechamiento de las diversas facetas de la sociedad (Arrieta, 2019), las plantas de tratamiento de agua potable (por sus siglas en inglés DWT) enfrentan grandes desafíos en la optimización de tecnologías para

evitar problemas de salud humana y asegurar la sostenibilidad ambiental, en correlación directa con el crecimiento poblacional, menor disponibilidad de fuentes de agua, deterioro por uso de suelo y cambios climáticos, hidrología y cambios en la calidad del agua (Teodosiu et al., 2018).

Las plantas de tratamiento de agua tradicionales adoptan múltiples tratamientos para tratar secuencialmente el agua cruda para producir agua potable (Zhang et al., 2020). El derecho a disponer de un confiable abastecimiento de agua potable en el sector rural, se ve limitado. En las poblaciones rurales, la falta de atención gubernamental sobre la necesidad de proporcionar sistemas de potabilización y el desconocimiento del derecho a exigir por parte de los moradores rurales, ha generado el caldo de cultivo para que estos asentamientos sean vulnerables a múltiples enfermedades que ya no son problemas en localidades que sí disponen del servicio de agua potable (Cedeño & Panchano, 2020).

La ausencia de un sistema adecuado de distribución de agua potable no solo representa un riesgo sanitario, sino que también refleja la falta de equidad en el acceso a servicios esenciales. En este contexto, resulta fundamental realizar una caracterización del recurso hídrico disponible, a fin de evaluar su calidad y promover estrategias de gestión sostenible que garanticen el derecho humano al agua (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

## **2. OBJETIVO.**

Implementar un sistema de tratamiento de agua subterránea para consumo humano que garantice el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa nacional (DS N.º 031-2010-SA - Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano), a partir del análisis físico, químico y microbiológico del agua captada en Esquén.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1. AGUA**

El agua es un recurso vital para los seres humanos, independientemente del tamaño de la comunidad, la ubicación o el nivel socioeconómico (Mayorga y Mayorga, 2016).

El acceso a agua de calidad es esencial para la salud y desarrollo de las comunidades. Sin embargo, la falta de saneamiento y agua potable en algunas zonas expone a la población a agua contaminada microbiológicamente, generando riesgos graves para la salud (Rodríguez et al., 2015).

Los tratamientos de agua para adaptarla a distintos usos con fines específicos juegan un papel muy importante en la actualidad. Son necesarias tecnologías cada vez más confiables, selectivas, eficientes y económicas para que el acceso a la misma sea mayor, con el incremento de la cantidad de contaminantes presentes en el agua se hace necesaria la implementación de nuevas alternativas que presenten una solución eficiente, económica y accesible para las plantas de potabilización y la comunidad en general (Cuicas & Cuadra, 2017), debido a la importancia del líquido, elemento en el desarrollo de la población que usa agua en diversas actividades como la agricultura, la industria, el comercio, el hogar entre otros.

### **3.2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

El acceso al agua potable es esencial para la vida. Sin embargo, debido al crecimiento de la población, el incremento de la industrialización y el cambio climático, la escasez de fuentes de agua para consumo libres de contaminantes es uno de los mayores problemas que enfrenta la población mundial. Se estima que para el año 2025, el 60 % de la población mundial sufrirá problemas de escasez de agua. Entre los diferentes contaminantes del agua (compuestos orgánicos, inorgánicos y microbios), la Organización Mundial de la Salud considera los microbios como la principal amenaza, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Lösch, 2015).

El agua potable está amenazada por la continua contaminación que genera la actividad humana y por la disminución de los recursos hídricos como consecuencia del calentamiento global. Según la Organización Mundial de la Salud, desde el año 2015 solo el 89% de la población mundial tiene acceso a agua apta para

consumo y se anticipa que este porcentaje continuará disminuyendo, aunque se estima que la situación ya es crítica para 260 millones de personas que carecen de agua apta para el consumo. Los contaminantes de agua fresca incluyen, por un lado, microorganismos bacterianos, virales, fúngicos y parasitarios y, por el otro, sustancias químicas simples o complejas.

Dentro de las sustancias químicas que más riesgo pueden causar a la salud de la población están los metales pesados, las sustancias radiactivas, los insecticidas, los fertilizantes, los derivados del petróleo, los residuos tóxicos industriales, los jabones, las drogas lícitas e ilícitas, entre otras. Los agentes contaminantes de ríos, lagos y otros recursos naturales tienen su origen principal en las actividades antropogénicas y la vulnerabilidad del suelo para pequeñas y grandes áreas urbanas; no obstante, las zonas rurales no escapan de la actividad humana contaminante, pues las aguas servidas contienen excretas humanas y animales, residuos químicos e industriales de empresas privadas o estatales, contaminantes de minería o de la explotación del petróleo y residuos químicos de campos agrícolas que usan antibióticos, insecticidas y fertilizantes. Además, El problema de contaminación del agua y del ambiente está llegando a niveles críticos, en especial en países de bajos y medianos recursos en donde las grandes o medianas ciudades no cuentan con plantas de tratamiento de agua y donde los ríos contaminados terminan afectando a las poblaciones cercanas y destruyen a su paso los recursos naturales de flora y fauna hasta llegar al océano. De acuerdo a la National Oceanic and Atmospheric Administration, 1.400 millones de libras de basura terminan en el mar cada año. Así, los océanos también sufren contaminación por metales pesados, químicos, drogas, insecticidas, sustancias radioactivas y demás contaminantes hidrosolubles (Gómez, 2018).

Teniendo en cuenta el estudio de (Gómez, 2018) sobre el problema de los países de bajos y medianos recursos es, por tanto, un problema global que afecta a toda la población mundial. Colombia, a pesar de ser un país de medianos a altos recursos, no cuenta con sistemas de tratamiento de agua para los ríos que fluyen a lo largo de su territorio. Solo hasta 2017 se inicia la construcción de una planta de tratamiento de agua que permitiría la descontaminación del 80% del agua del río Bogotá a partir del 2024. Hasta entonces, los niveles de extrema contaminación continuarán fluyendo por este río hasta su desembocadura.

### **3.3.AGUA SUBTERRÁNEA**

(Custodio & Ramón Llamas, 2001), “El agua que logra fluir a través del subsuelo en lo que se conoce como zona no saturada (agua subterránea), llega al manto freático y queda por encima de la zona saturada, es decir los espacios en donde todas las rocas y el suelo están llenas de agua”. (Custodio & Ramón Llamas, 2001) “lo define como parte de ciclo hidrológico que comprende el movimiento continuo de agua entra a la tierra y atmósfera por medio de evaporación y precipitación, el agua no se evapora directamente se filtra a través del subsuelo y pasa a formar acuíferos subterráneos, la calidad del agua puede ser afectada por los contaminantes que se introducen en la superficie de la tierra, puede filtrarse hacia la capa freática y fluir al punto de descarga”.

(Custodio & Ramón Llamas, 2001), “En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección las velocidades promedio pueden variar entre 10<sup>-10</sup> y 10<sup>-3</sup> m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato”. El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua sub superficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Existen tres posibilidades para el agua que se infiltra. Primero, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la superficie. Segundo, puede ser absorbida por las raíces de plantas que crecen en el suelo, por lo que ingresarán a la atmósfera por el proceso de transpiración. Tercero, el agua que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por fuerza de gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación y constituya el depósito de agua subterránea. Para el estudio hidrogeológico se tomarán en cuenta los tipos de rocas que permiten el almacenamiento de agua. Rocas de pequeña permeabilidad como arenas y gravas. Rocas de gran permeabilidad como rocas calcáreas. Las formaciones permeables son aquellas que son porosas y sus poros están conectados entre sí, por lo que el agua puede acumularse y desplazarse por los mismos.

### **3.4. POZOS TUBULARES:**

(Price, 2001), define lo siguiente, son aquellas perforaciones al suelo hasta llegar a uno o más acuíferos para la captación de agua subterránea, realizadas con sonda perforadora o mediante diferentes métodos de perforación. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2017), indica lo siguiente, es la penetración del terreno utilizando maquinarias. En este caso la perforación puede ser iniciada con un ante pozo hasta una profundidad conveniente posteriormente se continúa con el trabajo de perforación.

### **3.5. CALIDAD DE AGUA:**

(Custodio & Ramón Llamas, 2001), define lo siguiente, La calidad del agua se puede definir mediante un conjunto de características y/o variables físico-químicas y bacteriológicas, así como los límites máximos y mínimos permisibles. La calidad del agua se basa en la aceptación de sustancias químicas u otras que pueden dañar a la salud de los consumidores (OMS, 2006), la dificultad de factores que intervienen la calidad de agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cualitativos siendo complicado dar un resultado de Calidad de agua. La calidad se basa necesariamente en los parámetros y especificaciones físico químico y bacteriológico y la composición y estado del cuerpo del agua.

### **3.6. TIPOS DE ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR EL AGUA SIN TRATAR**

La presencia o aumento de bacterias, parásitos, virus y hongos en el agua surge usualmente por efecto directo o indirecto de cambios en el medio ambiente y en la población tales como urbanización no controlada, crecimiento industrial, pobreza, ocupación de regiones antes deshabitadas, y la disposición inadecuada de excretas humanas y animales. los problemas de desplazamiento, la respuesta ineficiente de los servicios de salud, la poca inversión de los estados en la garantía de la potabilización del agua para toda la población, la falta de control de brotes y la falta de intervención de los sistemas de salud pública, favorecen la propagación, incidencia, morbilidad y mortalidad asociada a enfermedades relacionadas con el agua de consumo, principalmente en países en vía de desarrollo (Ríos et al., 2017).

Los tratamientos de agua para adaptarla a distintos usos con fines específicos juegan un papel muy importante en la actualidad. Son necesarias tecnologías cada vez más confiables, selectivas, eficientes y económicas para que el acceso a la misma sea mayor. Mientras que la cantidad total de agua permanece constante, su demanda es creciente día a día. Este aumento en la demanda, no solo es en cantidad sino también en calidad y la contaminación que las personas producimos en el agua de superficie o subterránea, aumenta en forma alarmante el problema de disponibilidad (Cuicas & Cuadra, 2017).

## **4. METODOLOGÍA:**

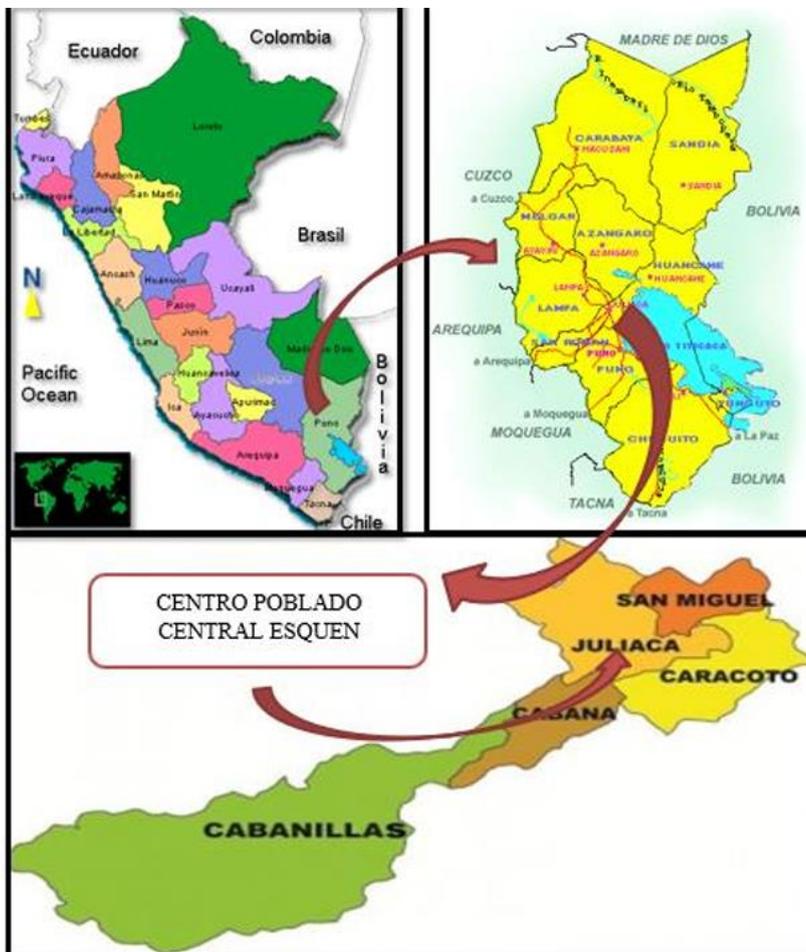
### **4.1. Enfoque de investigación.**

“El tipo de investigación es cuantitativo porque nos permite evaluar la realidad en función de parámetros que son medibles, replicables y que estos pueden ser reproducidos con las mismas condiciones en cualquier momento. Además, nos permite hacer el uso de datos numéricos”. (Hernández Sampieri, 2014).

### **4.2. Descripción del lugar de ejecución**

Según G. Arias. (2012, p.81). “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. El lugar de estudio es la comunidad Central Esquen, distrito de Juliaca, provincia San Román, Departamento de Puno.

*imagen N°1 Planos políticos de lugar de ejecución.*



fuentes:

### 4.3. Población y muestra

Población.

La comunidad Central Esquen cuenta con 1581 Pobladores, 787 son varones y 794 mujeres según INEI 2017 1 . El tipo de abastecimiento de agua es mediante pozos excavados de manera artesanal a cielo abierto. La comunidad cuenta con 01 Puesto de Salud, 01 institución educativa Primaria y 01 Institución Educativa Inicial. El lugar de estudio será el sector, este se encuentra en el km 6 de la carretera Juliaca – Arequipa, dentro de la jurisdicción Central Esquen. El lugar ha sido escogido por la cantidad de habitantes.

Población futura.

El método empleado es el Método Aritmético, “Este método puede ser aplicable a comunidades pequeñas, como las rurales; o a ciudades grandes, cuyo crecimiento se puede considerar estabilizado (con poca o ninguna área urbana de expansión)”.

$$Pf = \left(1 + i * \frac{t}{100}\right)$$

*Población futura (método aritmético).*

Donde:

i = Tasa de crecimiento

t = Cantidad de habitantes del último estudio

Pf = Población Futura

Entonces, en el sector central es que se tiene la siguiente población futura:

$$pf = (1 + 1\% * 1581 / 100)$$

pf = 2581 para un periodo de 20 años

Caudal Promedio.

Las variaciones de consumo pueden expresarse en función del consumo promedio diario ( $Q_p$ ) y sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de: obras de captación, línea de conducción, red de distribución, etc.

$$Q_P = \frac{\text{Pobalcion Futura} * \text{dotación}}{86400}$$

Caudal Promedio.

Donde:

$Q_p$  = Caudal promedio diario anual, l/s.

P = Población de diseño, hab.

Dot. = Dotación, l/hab/día

entonces, se tienen el caudal máximo diario será:

$$Q_P = 2581 * 180 / 86400$$

$$Q_P = 5.37 \text{ lt/s}$$

El consumo máximo diario ( $Q_{m.d.}$ ).

Es un factor importante utilizado en el diseño de captaciones, líneas de conducción e impulsión y reservorios de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

$$Q_{Md} = k_1 * Q_P$$

Caudal máximo diario ( $Q_{m.d.}$ ).

Donde:

$Q_{md}$  = Caudal máximo diario, l/s.

$K_1$  = 1.3 Máximo anual de la demanda diaria (Localidades urbanas y rurales).

entonces, se tienen el caudal máximo diario será:

$$Q_{Md} = 1.3 * 5.37 \text{ lt/s}$$

$$Q_{Md} = 6.981 \text{ l/s}$$

Tabla N° 1 Comunidad Esquen

PUNTOS DE PARTIDA	DISTANCIA
Yocara Cambraca	8.160 km
Centrel Esquen Illapuso	2.400 km.
Comunidad Esquen Tariachi	10.350 km y 12.170 km
Monos Esquen	3.170 km.
Central Esquen Ilo -Ilo	3.150 km.

Fuente: (Puesto de Salud – Central Esquen)

#### 4.4.Muestra

Técnicas de recolección de datos.

Se utilizó la técnica de la observación directa: en campo para la toma de información y su registro para su posterior análisis de laboratorio con la ayuda de las Fichas de Recolección de Datos con las recomendaciones del MINAM y MINSA para registrar los parámetros analizados. Por otro lado, se hizo la revisión de registros, informes, estadísticas de la comunidad Central Esquen referente al monitoreo de la calidad ambiental del agua y revisión de información secundaria de otras fuentes diferentes a las municipales sobre calidad del agua para consumo humano de los centros poblados en estudio.

#### 4.5.FUENTES DE RECOLECCIÓN DEL AGUA

- **Pozos Artesanales Comunitarios:** En la comunidad de Esquen, muchas viviendas cuentan con pozos artesanales que extraen agua subterránea. Un estudio realizado en la Residencia Huacantara de Esquen indica que los habitantes consumen agua de pozo, a la cual agregan pequeñas cantidades de cloro por sí mismos. Sin embargo, no se realizan tratamientos adecuados ni monitoreos constantes, lo que podría representar riesgos para la salud
- **Pozo Artesanal del Puesto de Salud Central Esquen:** El Puesto de Salud Central Esquen cuenta con un pozo artesanal de aproximadamente 3 metros de profundidad y 1.2 metros de diámetro. El agua extraída se bombea hacia un tanque elevado de 1,100 litros, desde donde se distribuye a las instalaciones del puesto. Se ha planteado la implementación de un dispositivo clorador para mejorar la calidad del agua

#### Sistema de tratamiento de aguas

En regiones donde las casas están ubicadas escasamente, las plantas de tratamiento de agua centralizadas tradicionales no son económicamente viables, con sistemas de tratamiento de agua domésticos ( por sus siglas en inglés HWT) que se utilizan comúnmente para proporcionar agua potable para una variedad de actividades domésticas (Afkhami et al., 2021).

Las plantas de tratamiento enfrentan numerosos desafíos, incluida la necesidad de proporcionar un enfoque rentable para eliminar nutrientes y trazar contaminantes orgánicos de las aguas, así como adaptarse a los efectos del cambio climático (Cecchetti et al., 2020).

## **4.6. TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DEL AGUA**

El agua cruda de la fuente debe ser tratada y purificada antes de que pueda ser suministrada al público en general para su uso doméstico, industrial o de cualquier otro tipo. El grado de tratamiento que se debe administrar al agua en particular depende de sus características y calidad (Vaishnavi et al., 2016), el diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica necesita un estudio basado en la calidad de la fuente y la escogencia de los procesos más apropiados y de menor costo para producir un líquido de la calidad requerida (Mayorga & Mayorga, 2016). Con base a todos los problemas que se presentan para la potabilización del agua se presentan diferentes métodos de purificación dentro de los más sofisticados como los convencionales y los no convencionales que son utilizados en las pequeñas comunidades para su uso y consumo.

### **4.6.1. SISTEMA CONVENCIONALES**

El sistema convencional de tratamiento de agua potable o potable consiste en coagulación-floculación, sedimentación y pulido final por filtración de medios (Chew et al., 2016), además de tratamientos complementarios (adsorción con carbón activado y precloración) (Pérez-Vidal et al., 2016), para gestionar los posibles riesgos microbianos y cumplir con los estándares de salud del agua potable cada vez más estrictos (Ao et al., 2020) Por otro lado, (Garfí et al., 2016) menciona que, el tratamiento convencional del agua incluye coagulación y floculación, sedimentación, filtración, adsorción y desinfección. Se trata de procesos físico químicos que eliminan la turbidez, la materia orgánica y los patógenos.

### **4.6.2. SISTEMA NO CONVENCIONALES**

Generalmente en regiones rurales, las comunidades carentes de agua potable no presentan condiciones sociales, económicas y culturales adecuadas para mantener y operar una estación convencional de tratamiento de agua para estas comunidades. Las opciones de tratamiento de agua en el punto de uso (POU) son sistemas de bajo costo y pequeño porte que pueden ser una alternativa para el abastecimiento de agua potable a nivel familiar en zonas rurales (Duran et al., 2019).

Las alternativas de tratamiento in situ o individuales pueden ser atractivas si se construyen a partir de materiales comunes y si son lo suficientemente simples como para ser construidas y mantenidas por los usuarios (Wong & Stenstrom, 2018).

### **4.6.3. BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS NO CONVENCIONALES**

El agua es, sin duda, el factor limitante más importante, a la vez que condiciona los caracteres de las plantas y la configuración de las comunidades (Salas et al., 2017). Las plantas de tratamiento de agua no convencionales presentan muchos beneficios que las hacen indispensables para los pobladores que no cuentan con el líquido, son construidas con insumo y materiales de fácil acceso, presentan poco y en algunas ocasiones no presenta costos de manipulación, fáciles fuentes de recolección, como por ejemplo captación de agua lluvia.

Por otro lado, la tecnología de electrocoagulación es considerada normalmente como una técnica beneficiosa para el ambiente. Este proceso también es aplicado para la síntesis de diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, recuperación de suelos contaminados, desalación de disoluciones, regeneración de oxidantes, reductores, bases y ácidos por su gran economía y variedad (Cuicas & Cuadra, 2017).

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Existen ciertas características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (Pradillo, 2016). Se trata de procesos físico químicos que eliminan la turbidez, la materia orgánica y los patógenos.

**Tabla 2:** Características físicas del agua de Central Esquen

Parámetro	Valor Medido	ECA - Categoría 1	¿Qué indica este parámetro?
Alcalinidad	525 mg/L	No establecido	Mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Una alcalinidad alta actúa como un regulador del pH, pero puede estar relacionada con aguas duras o salinas.
pH	7.9	6.5 – 8.5	Indica el grado de acidez o basicidad del agua. Un valor de 7.9 está dentro del rango ideal para consumo humano y para proteger instalaciones hidráulicas.
Turbidez	33.6 NTU	≤ 5 NTU	Mide la presencia de partículas en suspensión. Un valor alto como este puede impedir una correcta desinfección y es un indicador de contaminación física.
Hierro	0 mg/L	≤ 0.3 mg/L	El hierro en niveles altos puede dar mal sabor al agua y manchar ropa y utensilios. En este caso, no se detectó, por lo que está dentro de lo permitido.
Conductividad Eléctrica	14,562 μS/cm	≤ 1500 μS/cm	Representa la cantidad de sales disueltas. Un valor tan elevado sugiere alta salinidad, lo que puede volver el agua no apta para el consumo humano.
Oxígeno Disuelto	5.51 mg/L	≥ 5 mg/L	Importante para mantener el equilibrio en ecosistemas acuáticos y procesos de oxidación. Este valor es adecuado para aguas naturales.

Temperatura	18.2 °C	No establecido	Aunque no tiene límite en los ECAs, temperaturas entre 10 y 20 °C favorecen la calidad del agua. Este valor es óptimo para procesos químicos y biológicos.
Dureza Cálrica	12.6 mg/L	No establecido	Mide el calcio disuelto. Su valor es muy bajo, indicando que el agua es blanda y no generaría incrustaciones ni problemas técnicos.
Dureza Total	22 mg/L	No establecido	Representa la suma de calcio y magnesio. Un valor bajo indica que el agua es blanda, lo cual no representa riesgo para consumo, pero puede afectar el sabor.

Fuente: propia

### 5.1.CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Vamos a ver las particularidades de algunos de ellos (Pradillo, 2016). Tabla 3: Características químicas del agua para consumo humano

Características Químicas	de	VALOR	ECA - Categoría 1
Hierro		0mg/L	≤ 0.3 mg/L

Fuente: propia

### 5.2.CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra (Resolución, 2115).

Características Microbiologica	de	Unidad de Medida	L.M.P. D.S.031-2010SA.
Coliformes Totales		UFC/cm <sup>3</sup>	0 UFC/cm <sup>3</sup>
Escherichia coli		UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>

Fuente: propia

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1.SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PEQUEÑAS COMUNIDADES

A partir de la información bibliográfica en bases de datos y artículos científicos 2015-2021, se tratan de metodologías electroquímicas, filtración, además, con fuentes de abastecimiento muy fáciles para la población como captación de agua lluvia y pozos entre otros.

#### 6.1.1. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CABECERA PARROQUIAL CARACOL Y PROPUESTA DE MEJORAS (ECUADOR).

En este estudio la fuente de abastecimiento en Caracol parroquia de Babahoyo provincia de Los Ríos, República del Ecuador, fue mediante agua subterránea, que se obtiene por medio de un pozo perforado a través de una bomba sumergible por la cual se capta el agua para así subirla a un tanque cilíndrico y suministrar a la comunidad para su consumo.

Como menciona (Macías et al., 2018), un pozo profundo perforado, se efectúa sin ningún proceso de potabilización es alimentada directamente del agua captada de un pozo profundo. El sistema de abastecimiento es deficiente en cuanto al suministro, calidad y presión, los habitantes, principalmente de las zonas más alejadas, reciben poco caudal y baja presión en sus hogares.

El estudio se refiere a la evaluación de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable existente: fuente de captación, sistema de bombeo, reserva alta y red de distribución. El agua es captada de un pozo que tiene una profundidad aproximada de 93 metros y se encuentra en funcionamiento; mediante una bomba sumergible se capta el agua para elevarla a un tanque cilíndrico con un volumen de 45 m<sup>3</sup> que está a una altura de 15 metros, fue construido en el 2015. En la figura 1. Se muestra el esquema del sistema de abastecimiento (Macías et al., 2018).

Figura 1. Sistema de abastecimiento de agua (Macías et al., 2018)



El suministro de agua en la cabecera parroquial Caracol, se efectúa sin ningún proceso de potabilización y se la distribuye a través de una red de agua con tubería de polietileno (ver figura 2), es alimentada directamente del agua captada de un pozo profundo.

El sistema de abastecimiento es deficiente en cuanto al suministro, calidad y presión, los habitantes, principalmente de las zonas más alejadas, reciben poco caudal y baja presión en sus hogares; por lo que se ven obligados recoger y almacenar agua en recipientes, a su vez, antes de consumirla la dejan en reposo por un determinado tiempo hasta que las partículas se sedimentan. La red de distribución está a 3 metros de profundidad a causa del relleno que periódicamente han realizado en la parroquia. Debido a que algunos usuarios no cancelan oportunamente la tarifa básica mínima, no se recaudan los valores necesarios para cubrir los gastos de operación y mantenimiento, ni siquiera para cubrir el gasto de energía eléctrica, por lo que el servicio de abastecimiento, es muy limitado (Macías et al., 2018).

#### 6.1.2. EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO MEDIANTE FILTROS LIFESTRAW® Y OLLA CERÁMICA (COLOMBIA)

En la zona rural, los niveles de riesgo por calidad de agua son más elevados que en la zona urbana pues

hacia el año 2012 el 64 % del agua suministrada en la zona rural se catalogó entre riesgo alto (45 %) e inviable sanitariamente (19 %), a diferencia de la zona urbana solo el 16 % se clasificó entre riesgo alto (11 %) e inviable (5 %). Debido a esta problemática, es necesario considerar opciones de abastecimiento y tratamiento de agua que impliquen intervenciones de bajo costo, simples, de fácil aceptación social y que puedan reducir el riesgo microbiológico y sus potenciales efectos en la salud. Con relación al uso de sistemas de filtración caseros, existen estudios a nivel internacional que han evaluado la viabilidad de diferentes tecnologías para comunidades rurales. En Colombia se reportan algunos estudios relacionados con filtros de velas cerámicas y ollas cerámicas, operados durante cortos periodos de tiempo. En este estudio, se evaluó la eficiencia de reducción de turbiedad y E. coli de dos sistemas de filtración casera (Lifestraw® familiar y Filtro de Olla Cerámica (Pérez et al., 2016).

En el estudio se evaluaron por duplicado y bajo condiciones controladas, dos modelos de filtros caseros: Filtro de membrana Lifestraw® familiar (FM), y el Filtro de Olla Cerámica (FOC) impregnada de plata coloidal. (Pérez et al., 2016)

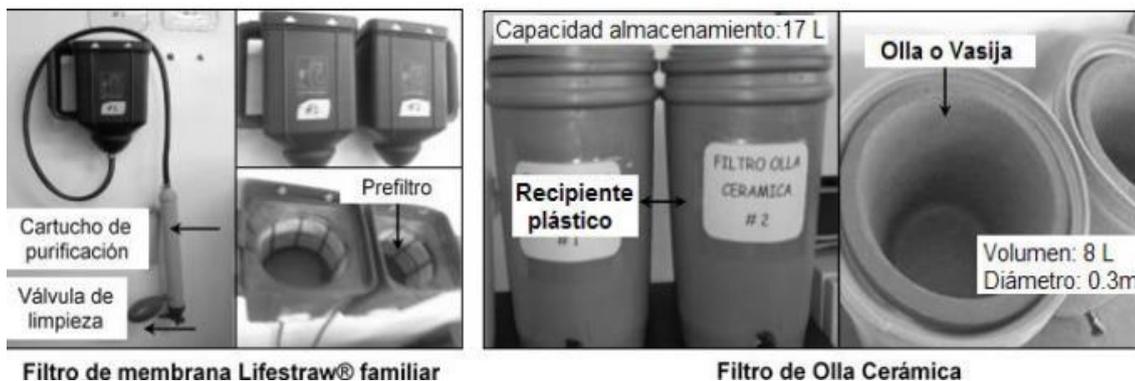


Figura 2: Filtro Lifestraw® familiar y Filtro de Olla Cerámica (Pérez Vidal et al., 2016).

La fase experimental del estudio comprendió tres fases:

- i) preparación del sustrato sintético
- ii) Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración
- iii) análisis estadístico de resultados

Se estableció un volumen diario a filtrar de sustrato sintético de 7,5 litros por cada filtro esta cantidad es equivalente al requerimiento mínimo de agua para el consumo humano y preparación de alimentos por persona, considerando las necesidades de las mujeres lactantes. Se empleó agua ultrapura en un equipo de purificación (Cascada™ Pall Corporation) como base para la preparación del sustrato. Se ajustaron las variables de Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y E.coli. Dando unos buenos resultados dentro de la normativa establecida (Pérez et al., 2016).

#### Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración.

Para garantizar la homogeneidad del sustrato sintético, se preparaban diariamente 30 litros en un mismo recipiente. Durante la operación de los sistemas se realizó el seguimiento diario de la Turbiedad (Método: 2130B) en el sustrato y el efluente filtrado y la medición semanal de SDT (Método: 2540B; 2540D) y E. coli (Método: SM9222B). Adicionalmente, se realizó la medición de otros parámetros de control como pH (4500-H+B), conductividad (2510B), color aparente (2120F) y la tasa de filtración (L/hora) (Pérez et al., 2016).

Desde el punto de vista económico, los filtros de membrana son importados por lo tanto su facilidad de adquisición y costo podrían limitar la implementación de esta tecnología en comunidades alejadas de centros urbanos. El filtro de olla cerámica es una tecnología que puede ser desarrollada, mejorada y

estandarizada en Colombia por su facilidad de manufactura y además de resultar más económica que el filtro de membrana, podría tener una vida útil más prolongada (Pérez et al., 2016).

### **6.1.3. PROPUESTA DE SELECCIÓN DE EQUIPO PARA LA MEJORA DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CENTRO POBLADO PUEBLO NUEVO DEL DISTRITO DE MOCHUMÍ, LAMBAYEQUE (PERÚ).**

Se estima que en todo el mundo sigue habiendo 884 millones de personas sin acceso al agua potable, según la ONU, un bien fundamental que repercute en la sanidad, la seguridad y la calidad de vida, especialmente de menores y mujeres. Para el reporte de los datos de la calidad de agua, se realizó el análisis fisicoquímico de las muestras de agua, así como el análisis microbiológico de las mismas. Finalmente se realiza de manera técnica, la Propuesta para el Tratamiento del agua para consumo humano (González & García 2019).

#### Selección de equipo propuesto

Se propone como alternativa de solución la propuesta de instalación de una planta de potabilización de agua consistente en:

- Sistema compacto de filtración multimedia, con cabezales automáticos
- Ablandador de agua con resina aniónica o catiónica y con tanque de solución de salmuera. • Sistema de cloración en línea.
- Filtros pulidores de 5 micras y 1 micra.
- Sistema de ósmosis inversa de 6 membranas.
- Planta de tratamiento de agua de 1,600 L/H.
- El sistema de tratamiento de agua está constituido 100% en acero inoxidable, este sistema deberá contener:
  - Tanque hidroneumático con bomba de 1.5 hp cabezal de acero inoxidable. Da presión y caudal constante a nuestro sistema, es decir da la fuerza para que agua pase por los filtros y llegue al tanque de agua producto (González & García 2019).
  - Filtro multimedia automático (GE - USA). Retiene las impurezas grandes (sólidos en suspensión 25 – 30micras) que atrae el agua al momento de pasar por las camas de arena y quitarle la turbidez al agua (González & García 2019).
  - Filtro de carbón activado automático (GE - USA). Atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes, remueve cloro, sólidos pesados como plomo y mercurio además de químicos, sabores y olores. (González & García 2019).
  - Ablandador automático (GE – USA). Por intercambio iónico quita sales como el calcio y magnesio responsables de la dureza del agua. (González & García 2019).
  - Porta filtro y filtro polydepth 05 micras 4.5 x 20” Retiene sólidos en suspensión de hasta 5 micras (ejemplo: el cabello humano mide 50 micras). (González & García 2019).

- Porta filtro y filtro polydepth 01 micra 4.5 x 20” Retiene sólidos en suspensión de hasta 1 micra (González & García 2019). 3.9.1.1.7 Tanques de almacenamiento de agua bruta (2 DE 2500 L). Conectados mediante vasos comunicantes (González & García 2019).
- Sistema de osmosis inversa. El sistema puede controlar el sabor del agua a través de la retención de sólidos disueltos (sales y minerales), todo el sistema está integrado con un microprocesador además de poder desinfectarse cuando se requiera. Este sistema propuesto, está constituido en acero inoxidable incluyendo bomba de alta presión, porta membranas y hasta el tornillo más pequeño (González & García 2019).

#### **6.1.4. Evaluación de pozos de uso doméstico en la comunidad central Esquen del distrito de Juliaca, provincia San Román, durante el 2018**

Esta investigación tuvo como objetivo evaluación de pozos de uso doméstico en el sector Pucachupa de la comunidad Central Esquen del Distrito de Juliaca, así mismo identificar el estado actual de pozos domésticos, evaluar la calidad del agua según estudios y parámetros físico químico, bacteriológico y una propuesta de diseño de pozos con el fin de proporcionar calidad. Se aplicó el método de investigación cuantitativa para procesamiento de datos estadísticos. Se realizó la evaluación de 10 puntos de agua según parámetros fisicoquímico y bacteriológico en el sector Pucachupa de la comunidad central Esquen. Según resultados de los Parámetros Físico Químicos de la zona, 9 puntos están dentro de los parámetros con promedios favorables a excepción del punto N°6 que cuenta con resultados que superan los parámetros LMP de Conductividad Eléctrica (LMP 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Resultado 1654  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El exceso de los límites máximos permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-S.A. Se debe a la contaminación de las aguas subterráneas relacionadas al Nivel Freático que es poco profundo; este riesgo conlleva a que el usuario lleva un drenaje deficiente, suelos no aptos y/o mala ubicación de pozo. Sugiriendo la reubicación del pozo N° 06 con el fin de garantizar la calidad Físico Químico del agua, alejándose del sistema de drenaje en un radio de 50 ml. y con pendiente opuesta al pozo. Se realizó la propuesta de diseño de pozos con el fin de proporcionar calidad en el abastecimiento de agua doméstica en el sector Pucachupa de la comunidad Central Esquen; adecuándose a los estándares de la Normativa y Salud en beneficio a la Población. A cada usuario considerando datos críticos para su diseño.

#### **Sistema Convencional de Tratamiento de Agua Subterránea sugerido**

##### Caracterización del Agua Subterránea

- Parámetro Valor Medido
- Alcalinidad 525 mg/L
- pH 7.9
- Turbidez 33.6 NTU
- Hierro 0 mg/L
- Conductividad Eléctrica 14,562  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Oxígeno Disuelto 5.51 mg/L
- Temperatura 18.2 °C
- Dureza Cálctica 12.6 mg/L
- Dureza Total 22 mg/L

##### Esquema General del Sistema

#### **a) Captación**

- **Tipo:** Pozo profundo entubado
- **Equipamiento:** Bomba sumergible con variador de frecuencia para mantener el caudal constante de 6,35 L/s.

## b) Medición de caudal

- **Medidor electromagnético o ultrasónico**
- Permite el monitoreo del volumen tratado y el control del sistema.

## d) Filtración

- **Filtro Multimedia:**
  - Arena, antracita y grava
  - Remueve partículas suspendidas, óxidos metálicos
- **Filtro de carbón activado** (opcional):
  - Remoción de compuestos orgánicos, sabor y olor
- **Filtro de ablandamiento** (si hay dureza > 150 mg/L como CaCO<sub>3</sub>):
  - Intercambio iónico (resinas catiónicas)

## e) Desinfección

- **Método:** Dosificación de hipoclorito de sodio (NaClO)
- **Dosis típica:** 1-2 mg/L como Cloro libre
- **Alternativas:** Luz UV (opcional o como redundancia)
- Se recomienda un tanque de contacto para asegurar el **tiempo de retención mínimo de 30 minutos**.

## f) Almacenamiento

- **Tanque de reserva** con capacidad mínima para 12 horas de operación:
  - $6,35 \text{ L/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 12 \text{ h} = \mathbf{274.8 \text{ m}^3}$
- Material: Concreto o PRFV, cerrado, ventilado y protegido

## g) Sistema de distribución

- Impulsión por bomba o gravedad desde el tanque de reserva a la red.
- Cloración de refuerzo si es necesario en puntos distantes.

## 7. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la información recopilada y citada en esta en el artículo, finalmente se puede concluir lo siguiente: En pleno siglo XXI todavía existen comunidades rurales en países en vía de desarrollo que no cuentan con un sistema convencional de tratamiento de agua para consumo humano debido a la falta de políticas de salubridad, bienestar y equidad, los habitantes deben recurrir a sistemas no convencionales para obtener agua, las cuales no la tratan de la mejor manera para que sea apta para su consumo. Se mostró una gran variedad y métodos de potabilización del agua, que en muchas partes del mundo sus gobernantes las están implementando para suplir las necesidades de los más necesitados con bajo costo de inversión, y personal capacitado para su manipulación pero que cumpla con los estándares reglamentarios para cada país. Se evidenciaron distintos sistemas de tratamiento de agua no convencionales en donde se pueden mencionar desde los fabricados por la propia comunidad los cuales utilizan materiales de fácil acceso con un mínimo costo de inversión en el cual se incluyen tubos PVC, cisternas recolectoras de agua, pozos subterráneos caseros, bombas de succión, incluyendo las canaletas de los techos por las que recolectan y almacenan el agua lluvia en época de invierno, de las lagunas, ríos, estanques, arroyos. Dichos sistemas no cuentan con la mejor infraestructura, ni mano de obra calificada por lo que los resultados no son los mejores, ya que no está sometida a ningún proceso de purificación, saneamiento, pero los pobladores obtienen el líquido tan necesario para su subsistencia con la cual satisfacen sus necesidades de fuentes naturales

Otro de los sistemas de tratamiento de agua cuenta con un poco más de tecnología y requieren la implementación de mano de obra calificada en donde se utilizan materiales como piedra pómez, carbón activado, piedra china, diferentes tipos de zeolitas, filtros de olla cerámicas, con procesos de filtración, cloración, sedimentación, aireación. Los cuales al tener muchos de los procesos de purificación brindan los mejores resultados a la población que se beneficia del recurso. La mayoría de las enfermedades gastrointestinales, vómito, diarrea, piel, tiroides, brotes y demás enfermedades ocasionadas por la contaminación del agua especialmente por las heces de animales en las aguas que almacenan y el no tratamiento de las mismas antes de consumir. Muchos de los parámetros registrados en los diferentes tratamientos estudiados los cuales están recopilados en la tabla 10 son pH, conductividad, sólidos disueltos totales, dureza total, sólidos suspendidos, coliformes fecales, la turbiedad siendo una de las más importantes cuando de agua para consumo humano se trata. Dentro de los resultados reportados se puede apreciar que en la mayoría de ellos los parámetros están dentro de los límites permisibles de las reglamentaciones registradas en cada país del cual la comunidad fue materia de estudio, estando el Desarrollo de un sistema para la desinfección de agua de consumo mediante tratamiento electroquímico, siendo rentable económicamente ya que es un tratamiento electroquímico, además ayuda al medio ambiente y todos sus resultados reportados son permisibles lo cual el agua tratada es apta para el consumo humano.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Afkhami, A., Marotta, M., Dixon, D., Ternan, N. G., Montoya-Jaramillo, L. J., Hincapie, M., Galeano, L., Fernandez-Ibanez, P., & Dunlop, P. S. M. (2021). *Assessment of low-cost cartridge filters for implementation in household drinking water treatment systems. Journal of Water Process Engineering, 39, 101710.*  
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101710>
- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2020). *Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. Journal of Cleaner Production, 270, 122437.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122437>
- Álvarez, R. H., Carillo, J. joel, & Juárez, F. (2015). *Fluoruro en el agua subterránea: Niveles, origen y control natural en la región de Tenextepango, Morelos, México. 19.*
- Ao, X., Chen, Z., Li, S., Li, C., Lu, Z., & Sun, W. (2020). *The impact of UV treatment on microbial control and DBPs formation in full-scale drinking water systems in northern China. Journal of Environmental Sciences, 87, 398-410.*  
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.003>
- Arrieta Lozano, J. J. (2019). *Recomendaciones Para Diseño Y Optimización De Plantas De Tratamiento De Agua Potable, Considerando Aspectos De Funcionalidad Y Durabilidad. Prospectiva, 17(2).* <https://doi.org/10.15665/rp.v17i2.1732>
- Bernal Useche, T.L. (2018). *propuesta de un sistema de potabilización del agua para la vereda zumbé ubicada en Útica, Cundinamarca. Universidad del bosque.*

