

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN:

Existe una gran presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. Según la UNESCO (2003) el 69% del agua dulce disponible en el planeta se destina a la agricultura. La situación de la distribución del agua en Europa es motivo de especial preocupación ya que durante los últimos 30 años la sequía ha aumentado de forma espectacular tanto en frecuencia como en intensidad (COM, 2007), por lo que cada vez se hace más necesaria una planificación sostenible de su gestión. (Tragua, 2014).

El uso en agricultura de agua tratada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. El déficit hídrico también se produce por la contaminación provocada por las aguas residuales de ciudades en expansión, muchas de las cuales solo han sido tratadas de manera parcial, y de la contaminación de los acuíferos por diversas fuentes. Dicha contaminación del agua empeora los efectos de la escasez, al reducir la cantidad de agua segura para el consumo. La escasez de agua en todos sus aspectos conlleva graves costos económicos, sociales e incluso políticos. (Winpenny, 2013).

El reúso de las aguas residuales tratadas provenientes de centros urbanos es una práctica común en regiones áridas y semiáridas de Bolivia, que, debido a la escasez, el difícil acceso y el incremento de la demanda del recurso, se constituye en una apreciable fuente suplementaria de agua. La escasez de agua para la agricultura, aumenta la necesidad de utilización de aguas de inferior calidad, lo cual puede limitar la productividad agrícola e influir en la degradación de suelos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

Actualmente hay que resaltar que la reutilización del agua es un factor indispensable para la sociedad, especialmente en tiempos de variabilidad y Cambio Climático, ya que, al ser un recurso renovable, se lo debería tratar como tal, favoreciendo la implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tecnológicamente aptas para generar un reúso, de manera que se cuente con mayores beneficios productivos y réditos económicos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

El Departamento de Tarija en la Provincia Cercado cuenta con una PTAR moderna ubicada en la comunidad de San Andrés, a 15 km del centro de la ciudad, la cual cuenta con una capacidad de procesamiento de 7,8 l/s y beneficiará a tres mil habitantes. Esta obra protegerá las cuencas tarijeñas, la salud de las comunidades y proveerá agua segura para el riego de plantas de tallo alto, cerrando de esta manera el ciclo del agua y de los nutrientes. (Aguatuya , 2019).

La tecnología de la PTAR de San Andrés es amigable con el medio ambiente y de bajo costo energético. Cuenta con un cárcamo de bombeo, homogenizadores, desgrasadores, bioreactores y para complementar el tratamiento de las aguas residuales, humedales horizontales y verticales que garantizarán la calidad del agua para reúso. (Aguatuya, 2019).

2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA:

2.1. Planteamiento del problema:

La escasez del agua de riego en la comunidad de San Andrés entre los meses de agosto, septiembre y octubre es muy notoria durante los últimos años, por lo tanto, la producción agrícola se ve amenazada por la insuficiencia del líquido elemento, incluso algunos comunarios en esa temporada no cultivan las tierras en su totalidad, esto debido al problema mencionado anteriormente.

Las aguas residuales pueden ser tratadas adecuadamente y ser utilizadas con fines agrícolas, siempre y cuando cumplan con parámetros y estándares de calidad apropiados para ello.

Ante la escasez de agua se podría motivar el uso de las aguas de las PTARs cuantificando las cantidades y volúmenes de agua a ser reutilizadas para el riego agrícola principalmente.

2.2. Formulación del problema:

La contaminación generada por las aguas residuales era un problema que arrastraba por mucho tiempo la comunidad de San Andrés, ya que es un centro poblado de concedieron. Con la construcción y puesta en marcha de la PTAR con biofiltros, se dio fin a este problema, pero a las aguas tratadas no le destinaron ningún uso.

Las aguas tratadas no tienen aprovechamiento alguno y son conducidas hasta el río principal de la comunidad, el aprovechamiento de dichas aguas para el riego agrícola es conveniente y beneficioso tanto para el medio ambiente como para los productores de la zona, los cuales carecen de agua para riego en época de estiaje.

En función a ello surge la pregunta de investigación:

¿Son las aguas residuales tratadas por la PTAR de San Andrés son óptimas en N, P, Ca y micronutrientes para su reutilización como riego por inundación del cultivo de arveja?

3. JUSTIFICACIÓN:

Las aguas tratadas que salen de la planta sirven para el riego de los cultivos, las cuales tienen nutrientes como nitrógeno, fósforo y otros que son beneficios para el desarrollo de la planta.

Se conocerá la calidad de esta agua residual tratada, para ser considerada como agua apta para el riego.

La reutilización de aguas residuales es un recurso favorable para los agricultores en su cultivo y para la población, ya que así no se desperdicia tanta agua y se le busca un uso adecuado. Por lo tanto, es necesario tener una buena cultura para que no haya desperdicio de agua y con esto mitigar la escasez del agua para el riego agrícola en tiempo de estiaje, pero para que esto sea posible es necesario instruir y concientizar a la sociedad en general.

Al usar el agua residual tratada, en la producción agrícola, se verá favorecido el caudal de los canales de riego para que otras familias lo puedan disponer.

Los agricultores pueden ser beneficiarios netos gracias al uso de aguas residuales tratadas, en comparación con sus fuentes de agua anteriores o alternativas, esto depende mucho de las circunstancias locales y en todo caso es posible que sus beneficios netos compensen los costos totales que conlleva la adquisición de la misma. Es ahí donde deben intervenir las autoridades correspondientes para garantizar y facilitar la accesibilidad de los agricultores a dichas aguas.

La reutilización de las aguas residuales permitirá minimizar los impactos ambientales que estas puedan ocasionar al entrar en contacto con los cuerpos de agua dulce.

Las aguas residuales tratadas son ricas en macro y micronutrientes que todo tipo de cultivo necesita para su desarrollo, al hacer uso de estas aguas, se evitará la compra y el uso de diferentes tipos de fertilizantes (úrea, abono, foliar), por lo tanto, significará un ahorro económico para el productor.

4. OBJETIVOS:

4.1. Objetivo general:

Reutilizar las aguas tratadas de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Andrés” para el riego por inundación en el cultivo de arveja.

4.2. Objetivos específicos:

1. Determinar el contenido de N, P y Ca de otros micronutrientes de las aguas tratadas para el cultivo de arveja mediante análisis de laboratorio.
2. Determinar los microorganismos presentes en el agua de la PTAR mediante un análisis de laboratorio.
3. Determinar mediante análisis de laboratorio físico-químico la contaminación del efluente de la PTAR con el cuerpo receptor.
4. Determinar la cantidad de hectáreas que se van a beneficiar con las aguas residuales para el cultivo de arveja.
5. Comparar el producto obtenido con otro cultivo de arveja regado tradicionalmente mediante observación directa.

5. HIPÓTESIS:

Las aguas residuales tratadas por la PTAR de San Andrés son óptimas en N, P, Ca y micronutrientes para su reutilización como riego por inundación del cultivo de arveja.

CAPÍTULO II

6. MARCO TEORICO:

6.1. ANTECEDENTES:

La reutilización planificada del agua empezó en 1912 en Estados Unidos, concretamente en los estados de Arizona y California, destinando el agua para fines agrícolas. En Colorado y Florida se desarrollaron sistemas para la reutilización en usos urbanos. La normativa sobre la reutilización se inicia en California en la misma época (1918). A partir de 1965, esta normativa impulsa de manera decisiva la regeneración, el reciclaje y la reutilización de las aguas residuales (Martín, 2014).

El reúso de las aguas residuales es una práctica que se realiza desde hace varias décadas en diferentes partes del mundo, esto debido principalmente a la escasez de agua y a los beneficios que se tienen por la carga de nutrientes que lleva el agua residual. En Bolivia se tienen diferentes problemas relacionados al uso de aguas residuales (con y sin tratamiento), problemas en la eficiencia de tratamiento debido a que las PTAR están diseñadas para prevenir la contaminación del medio ambiente, no así para tener aguas aptas para el riego de cultivos. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

En Tarija, la PTAR de San Luis, construida hace cerca de 20 años, para un caudal de diseño aproximado de 210 l/s. Esta PTAR está constituida por un pre-tratamiento consistente en un canal Parshall sin sistema de medición ni registro continuo de caudales a la entrada, y después, un tratamiento biológico constituido por dos lagunas anaerobias en paralelo, una laguna de facultativa y finalmente una laguna de maduración. Las lagunas anaerobias están llenas de arenas y fangos, y por otro lado, todas las conexiones entre las lagunas se encuentran erosionadas debido al estado anaeróbico y séptico de las aguas. El mantenimiento que ha tenido la PTAR a lo largo de su vida útil ha sido pobre. Se perciben muchos olores alrededor y dentro de la PTAR. El efluente que se

obtiene a la salida de la PTAR no cumple con los parámetros de menos 80 mg/l de DBO₅ y 1000 NPM/100 ml de Coliformes Fecales (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015).

6.2. EL BIOFILTRO COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS:

El biofiltro es un sistema que imita a los humedales (pantanos) naturales, donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales. Los biofiltros son humedales artificiales de flujo subterráneo, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales.

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante y en las que las aguas residuales pretratadas fluyen en sentido horizontal o vertical.

Esta tecnología se comenzó a investigar a nivel experimental en Alemania en la década de 1960, aunque no fue hasta en las dos últimas décadas del siglo pasado que comenzaron a utilizarse para el tratamiento de aguas residuales generadas por pequeños núcleos poblacionales en países de todos los continentes del mundo. En la región centroamericana, los biofiltros comenzaron a ser utilizados en el año 1996, con la construcción de una planta piloto en la ciudad de Masaya, Nicaragua.

En Bolivia, el año 2019 los municipios de Cliza y Tolata (Cochabamba) han puesto en marcha plantas de tratamiento que convierten las aguas domiciliarias en agua para riego forestal y de áreas verdes.

El mismo año también se puso en funcionamiento las plantas de tratamiento de San Andrés y el Valle de la Concepción (Tarija).

IMAGEN 4: Inauguración de la PTAR – San Andrés con presencia de autoridades municipales



FUENTE: Fundación Aguatuya

IMAGEN 5: Planta de tratamiento de aguas residuales San Andrés.



FUENTE: Elaboración propia.

La tecnología del biofiltro fue introducida y financiada por la Embajada de Suecia en Bolivia y construidas por la Fundación AGUATUYA.

Existe amplia información sobre la tecnología del biofiltro como producto de investigaciones efectuadas principalmente en Europa y en Estados Unidos, donde ya se cuenta con publicaciones sobre normas de diseño. En el año 2004 se realizó en Francia la Novena Conferencia sobre Biofiltros, como parte de las actividades que cada dos años organiza la IWA (International Water Association) para permitir el intercambio de información y de experiencias entre investigadores de todo el mundo.

6.2.1. Descripción del biofiltro de flujo Horizontal:

Un biofiltro, es un humedal artificial de flujo subterráneo y consta con lechos filtrantes, por donde las aguas residuales pretratadas fluyen en forma horizontal o vertical.

Un biofiltro de flujo horizontal consta de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, con un relleno de material grueso (5 a 10 cm de diámetro) en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida). La fracción principal del lecho filtrante, ubicada entre las zonas de material grueso, es homogénea y más fina, normalmente de 0.5 a 15 mm de diámetro.

En este tipo de biofiltro, las aguas residuales pretratadas fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, con una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta llegar a la zona de recolección del efluente.

Durante su paso a través de las diferentes zonas del lecho filtrante, el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración y la sedimentación.

6.2.2. Etapas de un sistema de biofiltro:

Las aguas residuales generadas por los habitantes de una población, recolectadas mediante redes de alcantarillado sanitario. Para eliminarlos, un sistema de tratamiento de biofiltro abarca las siguientes etapas:

a) Pretratamiento:

Conformado por una rejilla de retención de sólidos gruesos y un desarenador de limpieza manual, el cual podría también cumplir la función de trampa de grasa mediante la instalación de un baffle al final de la unidad. Normalmente se construyen dos desarenadores en paralelo para permitir el mantenimiento.

b) Tratamiento primario:

Tiene el propósito de retener la mayor fracción de los sólidos suspendidos, mediante un tanque de sedimentación que puede ser un tanque séptico de tres cámaras o un tanque Imhoff. Cuando estos tanques se cierran, puede instalarse un filtro de biogás para eliminar los olores desagradables.

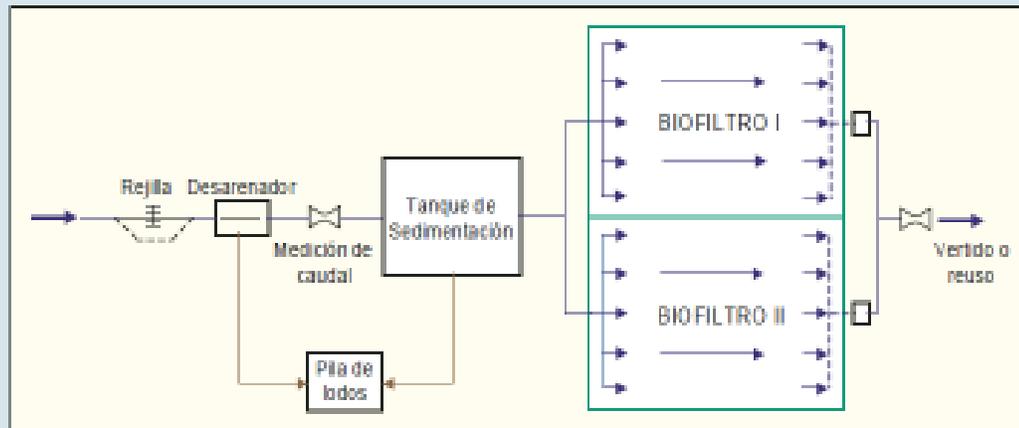
c) Tratamiento secundario:

Está conformado por un biofiltro de flujo horizontal, cuyo propósito es remover los contaminantes aún presentes en las aguas residuales.

d) Pila de secado de lodos:

Los lodos generados en las diferentes etapas del sistema (desarenador, tanque Imhoff) son recolectados y trasladados a esta pila, donde permanecen al menos cuatro meses para permitir su estabilización.

FIGURA 1: Etapas de un sistema de biofiltro de flujo horizontal.



FUENTE: Programa de agua y saneamiento.

6.2.3. Componentes principales de un biofiltro:

Lecho filtrante:

Sus funciones principales son eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporcionar la superficie donde se desarrollarán los microorganismos que se encargarán de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante.

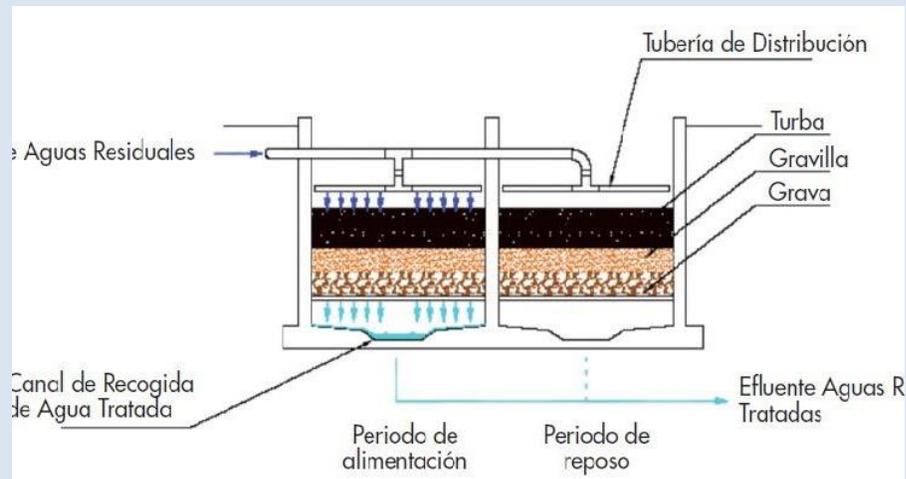
Los criterios para seleccionar el lecho filtrante son la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Es indispensable que se realice una evaluación cuidadosa a cargo de especialistas para garantizar el buen funcionamiento de un biofiltro. Los materiales utilizados son grava, piedra triturada o piedra volcánica.

La acumulación de sólidos mineralizados provocará la disminución del volumen de los poros en el lecho filtrante y eventualmente será necesario

remover la parte inicial del material después de 4 a 6 meses de operación o dependiendo de la cantidad de agua residual que ingresa.

En la siguiente figura se presentan los procesos que se llevan a cabo dentro

FIGURA 2: Componente de un biofiltro – lecho filtrante.



FUENTE: Programa de agua y saneamiento.

del lecho filtrante durante el paso de las aguas residuales pretratadas en un biofiltro de flujo horizontal.

Microorganismos:

El papel principal de los microorganismos es degradar aeróbicamente (en presencia de oxígeno) y anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno) la materia orgánica contaminante contenida en las aguas residuales, con lo cual la putrescibilidad en el biofiltro se reduce significativamente.

Los sólidos orgánicos suspendidos asociados con las aguas residuales entrantes se acumulan, pero son retenidos dentro del lecho filtrante por un largo tiempo y los constituyentes orgánicos son mineralizados por las bacterias. Los microorganismos también permiten la remoción de nitrógeno mediante el mecanismo de nitrificación– desnitrificación.

6.2.4. Condiciones para la adopción de un sistema de biofiltro:

Antes de adoptarse el sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas, se deben considerar una serie de aspectos que determinan si su construcción tiene sentido práctico:

a) La generación de aguas residuales guarda relación con la disponibilidad de agua potable.

El abastecimiento de agua potable es un factor determinante, pues el consumo de agua y, por tanto, la generación de aguas residuales, depende de la capacidad de la fuente y de la infraestructura disponible para la distribución del agua. Así, en aquellas poblaciones donde existen limitaciones para el consumo de agua, no es recomendable construir un sistema de tratamiento centralizado. Para una localidad con estas características, una alternativa es el tratamiento in situ.

b) Los materiales necesarios deben encontrarse disponibles cerca de la obra:

El material de relleno del lecho filtrante constituye uno de los elementos más importantes para la construcción del sistema, pues además de ser el que se utiliza en mayor cantidad, tiene una gran influencia en la eficiencia del tratamiento. Por esta razón, debe localizarse un banco de este material cerca al sitio de construcción, pues de lo contrario los costos de construcción y mantenimiento se incrementarán por la necesidad de transporte.

Otro elemento importante es el material arcilloso con el que se impermeabilizan el fondo y los taludes del biofiltro.

Alternativamente, se puede utilizar una geomembrana (que es un tipo impermeabilizante artificial) para impermeabilizar el biofiltro. Se requiere que ambos materiales existan en cantidad suficiente y que su costo sea bajo.

c) Concentración poblacional suficiente para la construcción de una red de alcantarillado:

La implementación de un sistema de tratamiento requiere la recolección de las aguas residuales mediante una red de alcantarillado sanitario. La construcción de esta red suele ser costosa y, por esta razón, debe realizarse en lugares con poblaciones concentradas, donde no existan grandes distancias entre las viviendas.

d) Disponibilidad de terreno suficiente para construir un sistema integral:

Para la construcción de un sistema de biofiltro que funcione adecuadamente se requiere un área suficiente con cierto desnivel para permitir el flujo por gravedad entre los diferentes componentes.

El sistema debe construirse sobre un terreno estable, protegido de las aguas pluviales que escurren en el área.

Los terrenos inestables requieren obras adicionales que incrementan los costos de construcción.

6.2.5. Eficiencia e impacto en el medio ambiente:

El impacto en el medio ambiente del vertido de las aguas tratadas será menor en la medida que el sistema de tratamiento sea más eficiente en la remoción de contaminantes. El sistema de biofiltro proporciona un efluente que puede ser vertido al ambiente sin causar un impacto negativo apreciable, dada su baja concentración de contaminantes.

La eficiencia en la remoción de contaminantes depende de las condiciones climáticas (sobre todo la temperatura del aire y del agua residual), del tipo de material utilizado para el lecho filtrante.

Por otra parte, es importante destacar que la intensidad de la actividad microbiana en un biofiltro está relacionada con la temperatura de funcionamiento. La mayoría de poblaciones microbianas que se desarrollan en

medios filtrantes son mesófilas, lo que implica que las temperaturas óptimas oscilan entre 20 y 40 °C dependiendo del contaminante.

El sistema de biofiltro es eficiente en la remoción de materia orgánica (DBO5 y DQO) y sólidos suspendidos: logra remover más del 90%, según el monitoreo efectuado en las plantas.

Sin embargo, pese a la importancia de este punto, se encontró poca literatura que permitiera su comparación con el tipo de biofiltro que se describe en el presente documento.

La alta eficiencia en la remoción de contaminantes obtenida mediante el sistema de biofiltro, su bajo costo de operación y mantenimiento, su aspecto agradable y el reducido impacto negativo respecto a olores y proliferación de vectores en las zonas aledañas, ha propiciado la aceptación de esta tecnología por los técnicos y los pobladores, quienes han constatado que incluso sus viviendas pueden estar ubicadas en las proximidades al sistema sin mayores consecuencias.

6.2.6. Requerimientos de área y materiales de construcción:

El área superficial requerida sólo por el biofiltro es de aproximadamente 1.5 m² por persona conectada, si se tiene en cuenta que cada persona genera 100 litros diarios de aguas residuales domésticas y que el biofiltro se diseña con una carga hidráulica de 82 l/m²/d. Si se considera todo el sistema, a esta área se le debe sumar la requerida para el pretratamiento, el tanque de sedimentación, la pila de secado de lodos y otro tipo de infraestructura (caseta del operador, caminos, etc.).

Los materiales de construcción requeridos para el pretratamiento y tratamiento primario son los mismos que normalmente se requieren para la construcción de obras de concreto: cemento, arena, hierro, grava u hormigón, etc.

La construcción del biofiltro demanda la disponibilidad de dos tipos de materiales que se utilizan en gran proporción y que influyen en los costos de construcción: un banco de arcilla para la impermeabilización del fondo y los taludes (puede utilizarse una geomembrana impermeable con este propósito), y un banco de material que pueda utilizarse como lecho filtrante.

La importancia de este último es extrema, pues una selección inadecuada puede conducir al mal funcionamiento del biofiltro y, por ende, a la pérdida de la inversión.

6.2.7. Actividades de operación y mantenimiento:

Los tiempos establecidos para la realización de las diferentes actividades se basan en la experiencia de la planta, donde se realiza el tratamiento de las aguas residuales generadas por aproximadamente 2,000 personas. Sin embargo, se estima que estos tiempos no varían mucho cuando se trata de sistemas de biofiltro construidos para pequeñas comunidades y comunidades rurales concentradas. El manejo de la planta puede estar a cargo de una sola persona, aunque eventualmente se puede requerir una persona adicional.

Pretratamiento:

Canal de entrada con rejilla:

- Remoción manual y diaria de los sólidos gruesos retenidos entre las barras de la rejilla y los acumulados sobre la platina perforada, con la ayuda de un rastrillo metálico. El material inorgánico se recolecta y se envía al basurero municipal, y el material orgánico se deposita en la pila de secado de lodos. Esta actividad toma diez minutos.
- Limpieza de los sólidos sedimentados en el fondo del canal de entrada, una vez por mes, con la ayuda de pala y carretilla. Esta actividad dura 10 minutos.
- Registro del caudal afluente mediante el uso del dispositivo de medición instalado. Se recomienda hacer mediciones cada hora en la etapa de arranque

del sistema para conocer el comportamiento de los caudales de entrada y salida. Posteriormente, pueden efectuarse mediciones menos frecuentes de control (tres veces al día). Estas mediciones deben ser anotadas en un cuaderno de registro para saber su comportamiento en el tiempo.

Desarenador:

- Extracción del material acumulado en el fondo del desarenador mediante una válvula de desagüe de fondo. Si no existe esta válvula, se utiliza pala y carretilla. La frecuencia de limpieza se determina en función de la acumulación de material en el volumen establecido para el almacenamiento de los sedimentos. Esta limpieza tiene una duración de 30 a 40 minutos.
- La instalación del baffle permite contar con una trampa de grasa. La grasa y otros materiales flotantes se acumulan en forma de nata en la superficie del agua, por lo que se deben remover cada tres días con un pascón (malla). Esta actividad tarda 15 minutos y se utiliza también una carretilla para trasladar los desechos hacia el área de secado de lodos.

Tanque Imhoff:

- Remoción manual de la nata que se forma en el área de las ventosas del tanque por el ascenso de burbujas de biogás con flóculos de lodo, utilizando una pala o un pascón cada 15 días y la carretilla para el traslado de los desechos al área de secado. Esta actividad tarda 15 minutos.
- Remoción de la nata flotante que se forma en las cámaras de sedimentación, retenida por la pared deflectora colocada al final de dichas cámaras. Se realiza una vez al mes con la ayuda de un pascón y carretilla. Esta actividad tarda una hora.
- Remoción del lodo acumulado en el fondo del tanque según la frecuencia establecida en el diseño (generalmente seis meses), por medio de la apertura de las válvulas de la tubería de extracción de lodo que generalmente se

conectan a la pila de secado. Si no hubiera válvulas de limpieza, se puede utilizar una bomba de semisólidos o una cisterna para efectuar esta operación. Esta actividad tarda entre una hora y media y dos horas. La excesiva generación de olores en esta pila puede ser controlada con cal.

- Al cabo de aproximadamente cuatro meses, el lodo debe ser sacado de la pila y enterrado, actividad que tarda tres horas. Si el lodo va a ser destinado a mejorar el suelo en áreas de cultivos agrícolas, será necesario efectuar análisis de los lodos para descartar la presencia de parásitos después del período de estabilización.

- Si el tanque es cerrado y se ha construido un filtro para biogás, se remojan los trozos de corteza que se encuentran dentro de éste, una vez por semana, actividad que tarda cinco minutos. Estos trozos de corteza se deben cambiar anualmente.

Biofiltro:

- Remoción de los flóculos sedimentados en el canal de distribución una vez por mes y reposición de la cubierta de madera cuando se encuentra en mal estado, actividad que tarda 30 minutos.

- Cuando se note un flujo superficial de aguas residuales en la entrada del biofiltro, se recomienda remover de uno a dos metros del material del lecho filtrante principal (después del material grueso de la zona de entrada) en todo el ancho de cada unidad del biofiltro, el cual se debe sustituir con material nuevo de las mismas características. Para esta actividad, se extrae el agua del biofiltro mediante la manguera flexible instalada en la caja de recolección. Una vez vacío el biofiltro, se realiza el cambio del material con la ayuda de pico, pala y carretilla. Para esta actividad, es recomendable contar con personal adicional de manera que se reduzca al mínimo el tiempo durante el cual el biofiltro esté fuera de operación. La reposición se hace Mientras se efectúa la

reposición del material, el caudal del biofiltro que está en mantenimiento es desviado a otro biofiltro construido en paralelo.

- Control del espejo de agua, el cual siempre debe estar por debajo del lecho filtrante. Esto se hace con la manguera flexible de la caja de salida, ubicando la salida a la altura establecida en función de la pendiente hidráulica de diseño.

6.2.8. Gestión municipal y comunal:

Actualmente el 50 % de la planta se encuentra a cargo de la comunidad y el 50 % restante le pertenece a fundación AGUATUYA, pero es esta última la que se encarga de la operación y mantenimiento de la misma.

6.2.9. Procesos sociales y participación Ciudadana:

Un factor clave para el desarrollo y apropiación de un sistema de saneamiento, es la conciencia de la comunidad de la importancia de mejorar sus condiciones sanitarias.

La organización de la comunidad y su participación en todo el proceso de implementación del servicio es otro factor clave para el éxito de la implementación y sostenibilidad de un servicio de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, sobre todo en la selección de opciones tecnológicas con conocimiento de los costos de inversión involucrados y los gastos de operación y mantenimiento correspondientes.

La participación de la comunidad desde el inicio del proyecto, junto con una campaña de educación y sensibilización, facilita su aporte directo para la construcción de las obras requeridas como mano de obra no calificada.

6.2.10. El uso del efluente como fuente de sostenibilidad del sistema:

Calidad del efluente:

El efluente del biofiltro debe ser claro, sin sólidos suspendidos apreciables (<10 mg/l), lo que facilita su manejo con fines de reúso. El bajo contenido de materia orgánica contaminante del efluente ($DBO_5 < 10 \text{ mg/L}$ y $DQO < 70 \text{ mg/L}$),

evita que se generen fenómenos de putrefacción en el área donde se aplica el riego. La remoción de los enteroparásitos Helmintos disminuye en gran medida el riesgo de contaminación microbiológica para el personal que labora en las áreas agrícolas y de los cultivos irrigados.

Las cantidades disponibles de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) en el efluente del biofiltro posibilitan el desarrollo de los cultivos sin necesidad de usar fertilizantes sintéticos. Los resultados obtenidos muestran que el efluente no afecta la estructura del suelo y puede utilizarse en suelos con textura gruesa o fina. Asimismo, permite la irrigación de cultivos con una tolerancia media a la sal.

Requerimientos para el uso del efluente en riego agrícola:

Antes de utilizar aguas tratadas para el riego de cultivos agrícolas, es necesario efectuar las actividades siguientes:

- Determinar la calidad del efluente con relación a las normas nacionales establecidas para el reúso en el riego agrícola.
- Preparar el área para la aplicación del riego por gravedad. No se recomienda usar aspersores debido a la concentración remanente de coliformes fecales.
- Caracterizar el suelo para determinar la infiltración y la capacidad de campo, así como los intervalos de riego y las láminas a aplicar.

Sostenibilidad ambiental:

De manera general, los sistemas de tratamiento deben ser monitoreados con el propósito de llevar un registro de la eficiencia de las diferentes etapas de tratamiento y de la calidad con que el efluente es vertido al ambiente. Asimismo, las leyes ambientales establecen la obligatoriedad de monitorear periódicamente la calidad del efluente. Los muestreos y análisis deben incluirse como un costo periódico según cada legislación. Aunque las leyes solo establecen el monitoreo del efluente, es recomendable realizar análisis

de todas las etapas con el fin de conocer el comportamiento del sistema. Ello resultará útil para resolver problemas relacionados con la eficiencia del sistema.

El sistema de biofiltro, además de ser eficiente para la remoción de contaminantes, no genera olores desagradables, no presenta grandes espejos de agua expuestos al ambiente y, por su aspecto, se puede integrar como un área verde que combina con el paisaje en zonas rurales concentradas o en las afueras de pequeñas poblaciones, lo cual favorece su sostenibilidad ambiental.

La experiencia de los sistemas de tratamiento con biofiltro, permitió aprender las lecciones siguientes:

- a) Se requiere la construcción de dos biofiltros en paralelo para permitir el mantenimiento del sistema sin tener que verter agua al ambiente solamente con el tratamiento primario.
- b) El lecho filtrante del biofiltro debe tener secciones de diferente granulometría: material grueso en las zonas de entrada y de recolección, y material más fino en el lecho filtrante principal entre estas dos secciones.
- c) La selección del material del lecho filtrante principal debe ser efectuada por un experto sobre la base de ensayos de laboratorio que definen claramente sus características.
- d) Debe ponerse especial atención en la capacitación del operador, proporcionando además una asistencia técnica frecuente durante el primer año de operación de la planta.

Con relación a la gestión del sistema de tratamiento:

- a) La implementación de un proyecto de saneamiento y tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades o barrios debe estar basada en la demanda de la propia comunidad y su interés por solucionar sus problemas.

b) La organización de la comunidad es clave para el desarrollo exitoso del proyecto, así como lo es la coordinación entre las autoridades locales y los representantes de la comunidad para la sostenibilidad del sistema de tratamiento.

c) La sensibilización y la educación sanitaria de la comunidad contribuye a asegurar el aporte comunitario en todas las etapas del proyecto: selección de la tecnología, construcción del sistema y funcionamiento del mismo.

6.3. Marco conceptual:

6.3.1. Aguas residuales:

Cuando hablamos de aguas residuales, estamos haciendo referencia a todo tipo de agua que haya sido afectada de forma negativa por la acción del ser humano. De este modo, quedarían fuera aquellas aguas que, por causas naturales, no sean aptas para el consumo o, por ejemplo, también todas las aguas que, habiendo sido afectadas por la acción del hombre, sí que lo sean.

En este sentido, las aguas residuales son todas aquellas aguas que han sido usadas en los entornos domésticos y urbanos, en las industrias y ganaderías, así como las aguas naturales que, por accidente, se hayan mezclado con las anteriores. De este modo, nos encontramos con que las aguas residuales son agua, pero además de agua, también contienen una gran cantidad de elementos contaminantes, ya sean sólidos o disueltos en la misma agua. (Arriols, 2018).

6.3.2. Componentes de las aguas residuales:

6.3.2.1. Físicos:

Los componentes físicos de las aguas residuales son el color, el olor, los sólidos y la temperatura.

6.3.2.2. Químicos:

Los componentes químicos más comunes en las aguas residuales son orgánicos (carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles,

proteínas, contaminantes prioritarios, agentes tensoactivos, compuestos orgánicos volátiles, etc.); inorgánicos (alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, contaminantes prioritarios y azufre); gases (sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno).

6.3.2.3. Biológicos:

Los componentes biológicos más habituales en las aguas residuales son animales y plantas. (HIDROTEC, 2016).

6.3.3. Tipos de aguas residuales:

6.3.3.1. Aguas residuales domésticas.

Esta clase de aguas residuales son aquellas que tienen su origen en viviendas y están producidas en esencia por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico.

6.3.3.2. Aguas residuales industriales.

Dentro de este tipo de aguas residuales se encuentran todas aquellas que han sido vertidas desde un lugar con finalidad comercial o industrial.

6.3.3.3. Aguas residuales urbanas.

Hacen referencia a aquellas aguas que tienen aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales. También aquellas aguas que incluyen las aguas de corriente pluvial. (HIDROTEC, 2016).

6.3.3.4. Aguas residuales tratadas:

Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.

6.3.4. Riego.

El riego, constituye diversos procedimientos que permiten la distribución eficiente del agua sobre la superficie del suelo. Actualmente existen distintos tipos de riego que facilitan al agricultor compensar el déficit de precipitaciones y los suministros necesarios para el crecimiento de las plantas.

6.3.4.1. Riego por gravedad o inundación:

El riego por gravedad, también llamado riego de superficie, consiste en la distribución del agua a través de canales o surcos, que se disponen a lo largo del área de cultivo.

6.3.4.2. Riego por aspersion:

Este tipo de riego consiste en conducir el agua a través de aspersores que humedecen el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia.

6.3.4.3. Riego por goteo:

Es un riego utilizado en su mayoría en zonas áridas. Consiste en distribuir el agua generalmente ya filtrada y con fertilizantes sobre o dentro del suelo. De esta manera el agua llega directamente a la zona de raíces de las plantas cultivadas.

La distribución se realiza por una red de tuberías generalmente de plástico, ya sea de polietileno o PVC hidráulico en las líneas principales. En las líneas laterales se realiza con tubería flexible o rígida de polietileno (AGROWARE, 2016).

6.3.5. pH:

El pH es una variable química que nos permite medir el grado de acidez de una sustancia. Su definición tiene cierta complejidad, y aun así ha calado en el lenguaje coloquial. Sin embargo, la palabra pH no siempre se emplea de manera correcta. De hecho, ignorar el significado del pH, igual que ignorar qué es un ácido o qué es un álcali, hace que las decisiones también sean ignorantes.

La escala de pH, que es la que utilizamos en la actualidad, normalmente oscila entre los valores 0 y 14. Así, el valor de pH 7 se corresponde con las sustancias neutras. El agua pura tiene pH 7. Las sustancias ácidas son las que tienen un pH inferior a 7, y las básicas superior a 7.

En la actualidad, para medir el pH utilizamos un electrodo sensible a los H⁺. Se conoce como pH-metro (pronunciado peachímetro). Cada vez que se usa hay que calibrarlo usando unas disoluciones de referencia cuyo pH es conocido y sirven de patrón para que el aparato construya la escala de pH. (García Bello, 2019).

6.3.6. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tanto Industrial (PTARI) como Doméstica (PTARD) es un requisito importante para la conservación de vida en el planeta y el cuidado del agua. Con el tiempo, se han mejorado los métodos y aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales. Muchas de estas tecnologías para el tratamiento de aguas, permiten una recuperación de recursos y se dan un valor importante al residuo que se genera.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR realiza la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura a nuestro medio ambiente.

6. Eliminar los sólidos, desde plásticos, trapos y vísceras hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.
7. Reducir la materia orgánica y los contaminantes, bacterias útiles y otros microorganismos naturales que consumen materia orgánica en las aguas residuales y que luego se separan del agua.
8. Restaurar el oxígeno, el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en nuestros ríos o lagos tiene suficiente oxígeno para soportar la vida (SPENA GROUP, 2016).

Existen diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Es necesario utilizar una que garantice que el agua residual regenerada pueda ser utilizada en el riego sin contaminar, ni distribuir elementos tóxicos en las tierras de cultivo. Existen algunas que pueden regresar el agua a su estado

potable, o bien utilizar una planta en cuyo proceso deje las cantidades adecuadas de fósforo y nitrógeno que funcionen como nutrientes para los cultivos (DOMOS AGUA, 2019).

6.3.7. Las aguas residuales de reúso:

Son las aguas residuales que han sido tratadas y que cumplen con la calidad (según la normatividad vigente), para ser reutilizadas en diversas actividades productivas, entre ellas la agricultura de riego. Estas aguas también son aprovechadas en servicios al público (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2016).

6.3.8. DBO₅ y DQO:

La DBO₅, Demanda Biológica de Oxígeno y la DQO, Demanda Química de Oxígeno son unos de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales.

La DBO₅ es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅.

Con carácter general, cuanta más contaminación, más DBO.

Por otra parte, la DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Cuanto mayor es la DQO₅, más contaminada está el agua. La DQO₅ es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO. La DQO₅ en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/l, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de industria.

La diferencia principal entre la DBO₅ y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO₅ sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO₅.

DBO₅ y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, pero aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DBO₅/DQO (INDUANÁLISIS, 2019).

6.3.9. Nitrógeno.

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual. En aquellos casos en los que sea necesario el control del crecimiento de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a que se destina, puede ser necesaria la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido.

6.3.10. Fósforo.

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas

proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. Como ejemplo podemos citar el caso de las aguas residuales municipales, cuyo contenido en fósforo como P puede variar entre 4 y 15 mg/l.

Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos como el PO_4 , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ y H_3PO_4 , por ejemplo, se hallan disponibles para el metabolismo biológico sin que sea precisa una ruptura posterior. Los ortofosfatos incluyen las moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y en determinados casos, átomos de hidrógeno combinados en moléculas complejas. La hidrólisis de los polifosfatos, proceso en el que recuperan sus formas como ortofosfatos, tiene lugar en soluciones acuosas. No obstante, esta hidrólisis suele ser un proceso bastante lento. El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante en los vertidos industriales y fangos de aguas residuales domésticas.

6.3.11. Arveja.

La arveja (*Pisum sativum*) es una planta diploide que se ha extendido por todo el mundo debido a la gran diversidad genética existente en la especie, lo que ha permitido el desarrollo de esta leguminosa en diferentes regiones y climas alrededor del mundo. Originaria de una vasta área que comprende Asia central, el cercano Oriente, Etiopía y el Mediterráneo, la arveja es una de las principales leguminosas que sirven como alimento ya sea en fresco, grano seco o en productos elaborados como harinas. (Bolaños, 2001).

La arveja se clasifica en:

- Reino: Vegetales
- Clase: Angiosperma
- Subclase: Dicotiledónea
- Orden: Rosales
- Familia: Leguminosas
- Género: Pisum
- Especie: Sativum L.
- Nombre científico: *Pisum sativum L.*
- Nombre vulgar: Arveja, guisante, chícharo, pésol, arveja de campo, alverja de huerta.

Es posible cultivarla hasta dos veces al año. Una de las ventajas de la arveja es que se puede cosechar entre los 90 y 120 días de la siembra (PERALTA, 1998).

6.3.12. Fertilización de la arveja.

Dado que la arveja es un cultivo de ciclo corto, y posee un sistema radical poco extendido, requiere una alta dotación de nutrientes altamente asimilables para desarrollarse apropiadamente y alcanzar los mayores rendimientos. Como es una especie que produce granos con alto valor proteico, es principalmente exigente en fertilización nitrogenada, pero también requiere de otros nutrientes como fósforo, potasio magnesio, azufre y calcio como se muestra en la tabla N. 1.

TABLA 1.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA ARVEJA.

Nutriente	kg/ton producida
Nitrógeno (N)	53
Fósforo (P)	4
Potasio (K)	31
Magnesio (Mg)	4
Azufre (S)	2
Calcio (Ca)	22

Fuente (PRIETO,2013)

6.3.13. Valor Nutritivo y Usos.

La arveja o guisante es una legumbre muy consumida en todo el mundo, ya que es una fuente excelente de proteínas, fibra, carbohidratos, vitaminas y minerales como se aprecia la tabla N. 2. Además de estas propiedades mencionadas la arveja tiene un contenido bajo de sodio, colesterol, gluten libre, lo que permite ser consumida por diabéticos una característica importante es su alto contenido de fibra dietética.

TABLA N. 2.**COMPOSICIÓN NUTRITIVA POR 100 G. DE PRODUCTO COMESTIBLE**

COMPONENTES	GRANO VERDE	GRANO SECO
Agua	78 %	10.64 %
Proteínas	6.3 g.	24.6 %
Lípidos	0.4 g.	1 %
Hidratos de carbono	14.4 g.	62.0 %
Fibra	2 g.	ND
Cenizas	0.9 g.	ND
Vitamina A	640 (UI)	ND
Vitamina B1 o Tiamina	0.35 mg.	ND
Vitamina B2 o Riboflavina	0.14 mg.	ND
Niacina	2.9 mg.	ND
Vitamina C o Ác. Ascórbico	27 mg.	ND
Calcio	26 mg.	0.084 %
Potasio	316 mg.	0.903 %
Sodio	20 mg.	0.104 %
Fósforo	116 mg.	0.400 %
Hierro	1.9 mg.	0.006 %
Valor Energético	84 calorías	3.57 cal/g.

Fuente (PUGA, 2004).

6.3.14. Análisis bacteriológico:

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características bacteriológicas del agua. (VSB, 2005. NB-495)

6.3.15. Análisis físico-químico:

Aplicación de métodos analíticos de laboratorio que permiten determinar las características físico químicas del agua en forma cualitativa y cuantitativa, incluyéndose las organolépticas como parte de las características físicas. (VSB, 2005. NB-495).

6.3.16. Cuerpo De Agua:

Arroyos, ríos, lagos y acuíferos, que conforman el sistema hidrográfico de una zona geográfica. (RMCH).

6.3.17. Limite Permissible:

Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas. (RMCH).

6.3.18. Muestreo:

Acción que consiste en tomar muestras con el objeto de analizar sus propiedades y características. (VSB, 2005. NB-495).

6.3.19. Parámetro:

Nombre del elemento o variable a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio, variable a medirse mediante un procedimiento analítico de laboratorio de uno o varios elementos. (VSB- NB 512).

6.3.20. Punto de muestreo:

Lugar físico de donde se extrae una muestra representativa. (VSB- NB 512).

6.3.21. Sólidos Suspendidos Totales

Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro N° 42 (VSB- NB 512)

6.3.22. Biofiltros:

El biofiltro es un sistema que imita a los humedales (pantanos) naturales, donde las aguas residuales se depuran por procesos naturales, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales.

Los biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas de pantano, y en las que las aguas residuales pretratadas fluyen en sentido horizontal o vertical.

6.3.23. Fungicida:

Se trata de un tratamiento plaguicida que tiene la función específica de controlar los hongos que pueden causar una enfermedad. Por lo tanto, antes de su aplicación es indispensable asegurar que los síntomas presentados por los cultivos encajan con la acción de este tipo de organismos.

6.4. MARCO LEGAL:

6.4.1. Marco Normativo para el reúso:

No existe una ley específica que regule el reúso de aguas residuales en la agricultura, sin embargo, existen leyes sectoriales que determinan reglas de uso del agua. De igual manera, en Bolivia las leyes están basadas en la protección del medio ambiente, como se puede apreciar en los siguientes numerales:

6.4.2. Constitución Política del Estado (CPE).

La Constitución Política del Estado fue promulgada el 7 de febrero de 2009, en la que respecto a temas de reúso expresamente, no tiene ningún artículo

específico, aunque cuenta con un capítulo sobre recursos hídricos y otro de medio ambiente, entre los que podemos destacar para el presente trabajo:

En el Título II Medio Ambiente, Recursos Naturales, Tierra y Territorio, el artículo 342 establece que es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

En el Capítulo Quinto referente a Recursos Hídricos, reglamenta todo el marco de uso y aprovechamiento de los recursos hídricos:

La CPE, en el **artículo 342**, indica que:

9. Es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

El **Artículo 373** señala lo siguiente:

- I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.
- II. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorizaciones conforme a Ley.

El **artículo 374** establece que:

- I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación

social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.

II. El Estado reconocerá, respetará y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originaria campesina sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua.

6.4.3. Ley 1333 de Medio Ambiente:

Promulgada el 27 de abril de 1992, tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

Mediante Decreto Supremo 24176, del 8 de diciembre de 1995, se aprueba la reglamentación a la Ley 1333, con 6 reglamentos que son:

- Reglamento General de Gestión Ambiental
- Reglamento de Prevención y Control Ambiental
- Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica
- Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
- Reglamento para actividades con Sustancias Peligrosas
- Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos

De los reglamentos mencionados, dos de ellos tienen que ver directamente con el uso de las ARD tratadas; éstos son:

6.4.4. Reglamento de Prevención y Control Ambiental:

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333 en lo referente a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y Control de Calidad Ambiental (CCA) dentro del marco del desarrollo sustentable. Entre los instrumentos normativos reglamentados en este Reglamento están los siguientes:

- Ficha Ambiental (FA)
- Declaratoria de Impacto Ambiental (DIA)
- Manifiesto Ambiental (MA)
- Declaratoria de Adecuación Ambiental (DAA)
- Auditorías Ambientales (AA)
- Licencias y Permisos

6.4.5. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica:

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333, en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sustentable, dentro del reglamento se especifican:

- Límites permisibles de contaminación hídrica
- Procedimientos técnico - administrativos
- Descargas al alcantarillado y a cuerpos de agua
- Monitoreo y evaluación de la calidad hídrica
- Uso de aguas según calidad
- Prevención y control de la contaminación
- Conservación del recurso

Este reglamento contiene en su Anexo A, algunas características técnicas de calidad de agua que se deben cumplir, entre ellos están:

- Límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores
- Cuadro N°1: Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso (4 Clases).
- Cuadro N°2: Valores máximos admisibles para parámetros en cuerpos receptores (80 parámetros).
- Límites permisibles para descargas líquidas en mg/L (25 parámetros).

Respecto a reúso de aguas, este reglamento en el Capítulo V, Art. 67, establece que el reúso de aguas residuales crudas o tratadas por terceros, será autorizado por el Prefecto (actualmente Gobernador) cuando el

interesado demuestre que estas aguas satisfacen las condiciones de calidad establecidas en el Reglamento.

Respecto a los fangos o lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales que hayan sido secados en lagunas de evaporación, lechos de secado o por medios mecánicos, serán analizados y en caso de que satisfagan lo establecido para el uso agrícola, deberán ser estabilizados antes de su uso o disposición final, todo bajo control de la Prefectura (actualmente Gobernación).

Además de estos reglamentos, en el país existen reglamentos sectoriales cuya aplicación es obligatoria y tienen que ver todos ellos con el medio ambiente y su cuidado. Entre los reglamentos sectoriales tenemos:

Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales

- 1996: RASH - Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos.
- 1997: RAAM - Reglamento Ambiental para Actividades Mineras.
- 2002: RASIM - Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero.
- 2004: RGASAO - Reglamento de Gestión Ambiental de Sustancias Agotadoras de Ozono.
- 2006: RAMAr - Reglamento Ambiental Minero para el aprovechamiento de Áridos en Cursos de Ríos y Afluentes.

6.4.6. Ley de Riego N.º 2878:

Tiene por objeto establecer las normas que regulan el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en las actividades de riego para la producción agropecuaria y forestal, teniendo como ámbito de aplicación y regulación las actividades relacionadas con el uso y aprovechamiento del agua en riego.

Esta Ley fue emitida en el año 2004 y contiene cuatro Títulos referidos a:

- Disposiciones generales.
- Marco Institucional.
- Gestión de los Sistemas de Riego.
- Disposiciones transitorias y finales.

La reglamentación de esta Ley se la realizó mediante D.S. 28819 de 2 de agosto del 2006.

6.4.7. Ley de la Madre Tierra N.º 300:

La ley No. 300 promulgada el 15 de octubre de 2013 tiene por objetivo establecer la visión y fundamentos del desarrollo integral del ser humano en armonía y equilibrio con la Madre Tierra, la misma contiene un artículo específico sobre el aprovechamiento del agua donde se establece, a través del desarrollo integral en agua, y específicamente en el artículo 27, las bases y orientaciones del “VIVIR BIEN” mediante las siguientes acciones:

- Garantizar el derecho al agua para la vida, priorizando su uso, acceso y aprovechamiento como recurso estratégico en cantidad y calidad suficiente para satisfacer de forma integral e indistinta la conservación de los sistemas de vida, la satisfacción de las necesidades domésticas de las personas y los procesos productivos para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.
- 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.
- Regular, monitorear y fiscalizar los parámetros y niveles de la calidad de agua.
- Promover el aprovechamiento y uso sustentable del agua para la producción de alimentos de acuerdo a las prioridades y potencialidades productivas de las diferentes zonas.

- Garantizar la conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral de las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras, priorizando el uso del agua para la vida.
- Regular y desarrollar planes interinstitucionales de conservación y manejo sustentable de las cuencas hidrográficas, bajo parámetros y lineamientos emitidos por el nivel central del Estado Plurinacional de Bolivia, de acuerdo a lo establecido en la Constitución Política del Estado, destinados a garantizar la soberanía con seguridad alimentaria y los servicios básicos y la conservación de los sistemas de vida, en el marco de las normas y procedimientos propios de los pueblos indígena originario campesinos, comunidades interculturales y afrobolivianas, conforme a ley.
- Adoptar, innovar y desarrollar prácticas y tecnologías para el uso eficiente, la captación, almacenamiento, reciclaje y tratamiento de agua.
- Desarrollar políticas para el cuidado y protección de las cabeceras de cuenca, fuentes de agua, reservorios y otras, que se encuentran afectados por el Cambio Climático, la ampliación de la frontera agrícola o los asentamientos humanos no planificados y otros. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

6.4.8. Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico:

El Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia y en particular el Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico 2011 – 2015, especifican como objetivo el mejorar y ampliar los servicios de agua potable y de saneamiento básico, cubriendo las necesidades de toda persona, para hacer efectivo el derecho humano al agua segura y a los servicios de saneamiento, dando cumplimiento al compromiso de la Constitución Política del Estado y del Gobierno del Estado Plurinacional dentro del marco del “VIVIR BIEN”.

En el ámbito de los recursos naturales, el agua en particular está considerada como el recurso más importante para la sostenibilidad de los ecosistemas, que a su vez brindan servicios de apoyo a la vida de personas, animales y plantas, además de contribuir al crecimiento y desarrollo del país a través del mejoramiento en salud y educación. Por otra parte, el agua contaminada es la mayor causa de enfermedades y mortalidad; la calidad y cantidad del agua es un factor determinante en el nivel de pobreza, educación y producción, tanto en el área rural y urbana. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

6.4.9. Ley de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario N.º 2066.

Promulgada el 11 de abril de 2000, tiene por objeto establecer las normas que regulan la prestación y utilización de los servicios que comprenden: agua potable, alcantarillado sanitario, estableciendo que las obras destinadas a la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario son de interés público y tienen carácter de utilidad pública y se hallan bajo la protección del Estado.

Esta ley no cuenta con ninguna disposición específica respecto a reúso, sin embargo, en su artículo 23 establece que los prestadores de Servicios de Agua Potable o Servicios de alcantarillado sanitario deben proteger el medio ambiente conforme a las disposiciones de la ley 1333 y su reglamentación, así como promover el uso eficiente y la conservación del agua potable mediante la utilización de equipos, materiales y técnicas constructivas que no deterioren el ambiente y que contribuyan a la conservación del agua, así como el tratamiento y disposición de las Aguas Residuales.

Así también señala que las autorizaciones para el uso y aprovechamiento del recurso agua destinadas al servicio de agua potable, así como la revocatoria de las mismas, serán otorgadas por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Saneamiento Básico mientras no exista una autoridad competente del recurso hídrico. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2013).

CAPÍTULO III

7. MARCO METODOLÓGICO:

7.1. Tipo de investigación:

Cualitativa: Porque se va hacer entrevistas y cuestionarios a los potenciales beneficiarios y comunarios en general.

Cuantitativa: Porque va permitir hacer análisis de los parámetros de la calidad del agua mediante laboratorio, además de cuantificar los volúmenes o cantidades de agua a ser utilizada.

7.2. Metodologías:

Una de las metodologías empleadas será **la analítica.**

Este método parte del conocimiento general de una realidad para realizar la distinción, clasificación y conocimiento de los diferentes elementos principales que forman parte de ella y de las relaciones que mantienen entre sí. Se basa en el supuesto de que el todo permite explicar y conocer las características de cada una de sus partes y de las relaciones que existen entre ellas.

Bajo esta óptica el uso del método analítico resulta indispensable para poder aplicar, con posterioridad, el método comparativo. Por otro lado, el empleo de este método nos permite revelar las importantes relaciones de causalidad que existen entre los sucesos o variables de la realidad estudiada. Se convierte así en un método primordial para toda investigación científica o académica e indispensable para poder realizar dos de las operaciones teóricas más fundamentales: la conceptualización y la clasificación (Moreno Galindo, 2013).

La siguiente metodología empleada será **la descriptiva.**

Gracias a ésta se describirá la calidad de las aguas, mediante análisis de laboratorio para conocer los compuestos finales con los que cuenta el agua.

7.3. Materiales:

- Semilla de arveja.
- Parcela para el cultivo de arveja.
- Agua residual tratada.
- 3 turriles de 200 l C/U para el almacenamiento y transporte del agua.
- 2 mangueras de 5 metros C/U.
- 2 valdes de 20 litros C/U.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo y bolígrafo.
- Alcohol en gel y barbijos.
- Equipo de protección personal (EPP).

7.4. Métodos:

Se regará por inundación las veces que requiera el cultivo, con 400 l de agua tratada en cada riego.

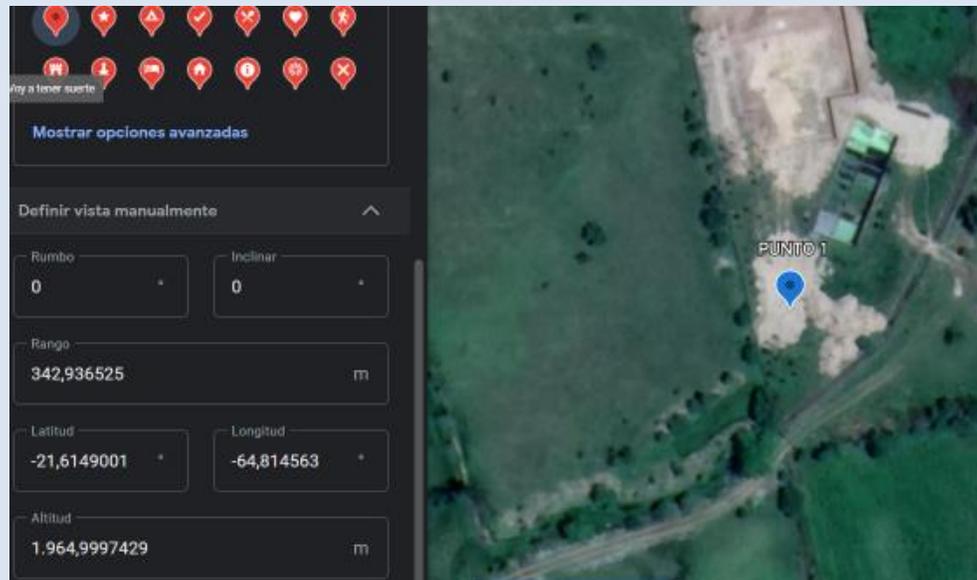
Se determinará el caudal de las aguas residuales con el método volumétrico, es decir, con la ayuda de un cronómetro y un recipiente en óptimas condiciones y con sus medidas de volumen respectivas.

Se tomarán muestras del agua residual no tratada, tratada y agua del río principal en botellas PET limpias, para llevarlas hasta el laboratorio, donde se le realizarán análisis para determinar los micronutrientes y microorganismos que contiene, como así también la contaminación o no, en el río.

La toma de muestras se hará de la siguiente manera:

Punto 1: Agua no tratada

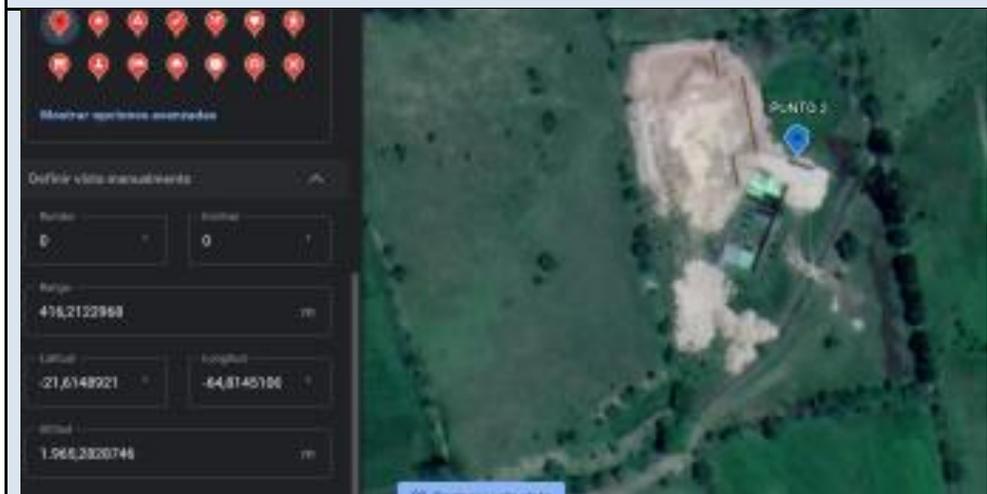
IMAGEN 6: Punto 1 (Toma de muestra del afluente).



FUENTE: Elaboración propia.

Punto 2: Agua tratada

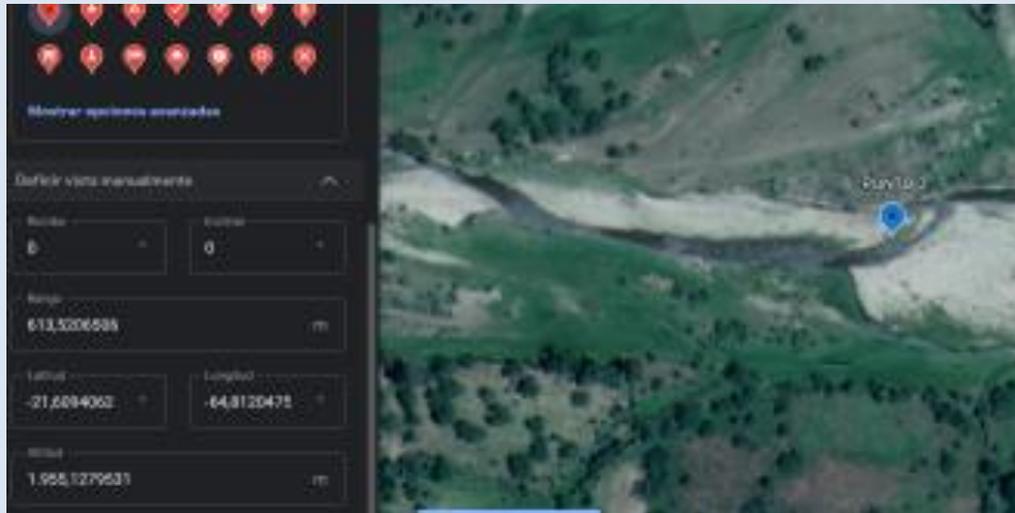
IMAGEN 7: Punto 1 (Toma de muestra del afluente).



FUENTE: Elaboración propia.

Punto 3: 100 mts aguas abajo del cuerpo receptor.

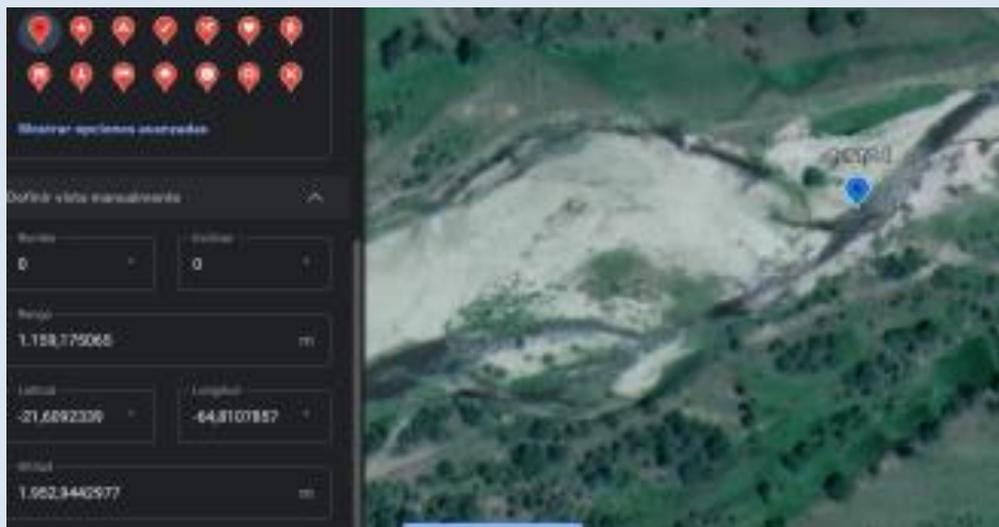
IMAGEN 8: Punto 3 (Toma de muestra)



FUENTE: Elaboración propia.

Punto 4: 100 mts aguas arriba del cuerpo receptor.

IMAGEN 9: Punto 4 (Toma de muestra)



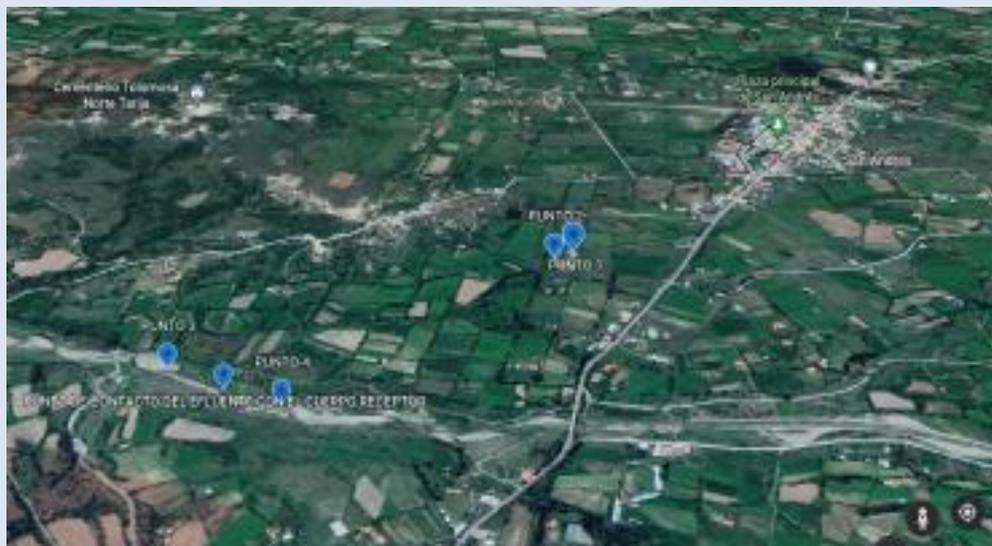
FUENTE: Elaboración propia.

IMAGEN 10: Vista satelital de los puntos 1,2,3,4 y punto de contacto.



FUENTE: Elaboración propia.

IMAGEN 11: Referencia de los puntos con la Com. de San Andrés.



FUENTE: Elaboración propia.

Una vez que el cultivo requiera de riego, se procederá a almacenar el agua en tachos de 200 l de capacidad, esto con la ayuda de una motobomba (bomba para extraer agua) o de manera manual con valdes de 20 l. Posteriormente se procederá a transportar la misma en un vehículo hasta la parcela, para dar inicio al riego respectivo.

Cabe mencionar que habitualmente en época de primavera, los cultivos requieren riego entre un lapso de 8 a 10 días. Se realizará el riego las veces que el cultivo lo requiera, es decir, hasta que el producto esté maduro y disponible para cosechar.

Se tomará nota de la cantidad de agua utilizada y el número total de riegos, ya que podrán ser de gran utilidad al momento de analizar e interpretar los resultados que se obtendrán.

El producto obtenido se comparará con otro cultivo de arveja, el cual será regado con agua del sistema de riego de la comunidad, con el fin de verificar la calidad y aspecto de ambos.

La determinación de la cantidad de hectáreas a beneficiarse con el caudal de agua se lo hará con herramientas digitales.

7.5. Técnicas:

Las técnicas que se utilizaran para la recolección de datos son:

7.5.1. Observación:

La técnica de observación es una técnica de investigación que consiste en observar personas, fenómenos, hechos, casos, objetos, acciones, situaciones, etc., con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación

Con esta técnica de observación directa se podrá apreciar el funcionamiento de la pta, la coloración del efluente, crecimiento y desarrollo del cultivo, entre

otros aspectos que serán de fundamental importancia para la elaboración del presente trabajo investigativo.

7.5.2. Entrevistas:

Con esta técnica de investigación se permitirá recolectar información testimonial de la situación actual de la comunidad de San Andrés, con respecto al conocimiento o no, del reúso de las aguas residuales tratadas.

7.5.3. Encuestas:

Las encuestas recogen información de una porción de la población de interés, dependiendo el tamaño de la muestra en el propósito del estudio. La información es recogida usando procedimientos estandarizados de manera que a cada individuo se le hacen las mismas preguntas en más o menos la misma manera. La intención de la encuesta no es describir los individuos particulares quienes, por azar, son parte de la muestra, sino obtener un perfil compuesto de la población. (BEHAR R. D, 2008).

Un cuestionario consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir. El contenido de las preguntas de un cuestionario puede ser tan variado como los aspectos que mida. Y básicamente, podemos hablar de dos tipos de preguntas: cerradas y abiertas. (BEHAR R. D, 2008).

7.6. Fases:

7.6.1. Gabinete:

- **Planificación a visitas de campo.** Esta parte permite preparar y realizar actividades de trabajo de campo. Se describe paso a paso el trabajo de campo para un punto de muestreo junto con recomendaciones sobre las técnicas de recogida de muestras.
- **Recorridos.** Es la acción y efecto de recorrer (atravesar un espacio, efectuar un trayecto, registrar con cuidado, repasar). Lo cual nos permitirá llegar hasta los puntos de muestro, visitas a planta de

tratamiento, recolección de información de las encuestas y seguimiento a la parcela.

- **Elaboración de encuestas.** Gracias a esto se pudo elaborar una serie de preguntas respecto al tema de estudio, con la finalidad de recolectar información primaria y directa de los comunarios en general sobre el tema.
- **Delimitación del área de influencia.** Su importancia es esencial para poder tomar las muestras primordialmente los puntos 3 y 4, como también para la delimitación correcta de la parcela.
- **Determinación de la población actual.** Según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) el año 2012, la población de la comunidad de San Andrés fue de 1.496 habitantes.

Con la ayuda del método geométrico podremos calcular la población actual aproximada, dicho método supone que el crecimiento de la población varía una progresión aritmética de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

Donde:

Pf = Población futura (hab)

Po = población inicial (hab)

i = Índice de crecimiento

t = Periodo de tiempo (años)

$$Pf = 1496\left(1 + \frac{2,60}{100}\right)^{10} = 1934 \text{ habitantes}$$

- **Determinación del Tamaño Muestra.**

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó el método de población finita, el cual se considera que todos los individuos están susceptibles a ser elegidos, para esto se tomó en cuenta el número de familias.

FORMULA

$$n = \frac{Z^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{i^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

$Z\alpha$ = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza, $Z\alpha = 1.96 = 90\%$.

p= Prevalencia esperada del parámetro a evaluar, en caso de desconocerse (P= 0,5).

q= 1-p (si p= 70%, q= 30%)

i= Error que se prevé cometer si es del 10%, i = 0,1

$$n = \frac{1,96^2 \times 1934 \times 0,5 \times (1 - 0,5)}{0,1^2 \times (1934 - 1) + 1,96^2 \times 0,5 \times (1 - 0,5)} = \frac{1857}{20,29} = 91$$

7.6.2. Campo:

- Toma de muestras.
- Análisis de laboratorio.
- Mediciones.

- Realización de entrevistas y encuestas.
- Riego continuo.

7.6.3. Post campo:

- Interpretación de resultados de laboratorio.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

7.7. Parámetros considerados para el análisis físico, químico y microbiológico.

Para determinar la calidad del agua de la PTAR de San Andrés, se realizará un análisis físico, químico y microbiológico en el laboratorio de CEANID y COSAALT, tomando en cuenta los parámetros establecidos por la ley 1333 de Medio Ambiente.

Los parámetros considerados son:

Físico-químicos:

- Calcio
- DBO5
- Fósforo total
- Magnesio disuelto
- Nitrógeno
- Oxígeno disuelto
- Sólidos suspendidos
- Sulfatos

Microbiológico:

- Coliformes fecales

CAPÍTULO IV

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

8.1. SEGUIMIENTO DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE ARVEJA:

Una vez puesto el terreno en condiciones para realizar la siembra, se inició la misma en fecha 15 de julio del 2021. El tipo de semilla utilizada fue la “blanca común”, se sembró una cuartilla (3kg) de arveja en un terreno de aproximadamente $\frac{1}{4}$ hectárea, pero para la aplicación del riego por inundación con el agua tratada, se delimito una pequeña parcela (imagen) de 4*3 mts donde se vieron involucradas 50 plantas. Las cuáles serán útiles para la comparación con el resto del cultivo durante el crecimiento hasta llegar al estado de cosecha, mismo que será regado con agua del sistema de riego de la comunidad.

Cabe mencionar que la parcela donde aplicara el estudio no será beneficiada con ningún nutriente externo, ya sea este, abono químico, urea o algún foliar. Salvo algún fungicida, ya que la arveja es muy propensa a ser atacada por los hongos que le impiden a la planta poder crecer en sus primeros días de haber salido de la tierra.

El resto del cultivo gozara de los fertilizantes que requiera, ya sea úrea, abono químico u orgánico.

8.1.1. RIEGO DE LA PARCELA:

En fecha 12 de agosto, se notó la falta de humedad en la parcela, por lo tanto, nos dirigimos hasta la planta de tratamiento para hacer la recolección, medición del caudal y posterior transporte del agua en 2 turriles de 200 l hasta la parcela para proceder con el riego.

IMAGEN 12: Captura del agua tratada y medición del caudal.



FUENTE: Elaboración propia.

IMAGEN 13: Delimitación de la parcela para aplicar el riego.



FUENTE: Elaboración propia.

Con ayuda de 2 mangueras de 5 mts C/U, se pudo extraer cuidadosamente el agua de los turriles hasta las los canales del surco de la arveja sin que la misma tenga algún contacto con la planta.

En las siguientes imágenes se podrá apreciar el primer riego que se le aplicó a la parcela (más imágenes en anexos).

IMAGEN 14: Primer riego.



FUENTE: Elaboración propia.

Y así se continuó con los riegos respectivos del cultivo, hasta llegar la época de cosecha que fue en la última semana del mes de octubre.

8.2. RESULTADOS DE LOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO (NITROGENO, FOSFORO Y MICRONUTRIENTES) Y MICROBIOLÓGICO (COLIFORMES TOTALES):

Para la realización de los análisis en los diferentes puntos de muestreo se contrató los servicios de laboratorios de CEANID (Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo) y COSAALT (Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija), en el primero se solicitó los análisis físico-químicos de: (DBO5, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y oxígeno disuelto). En el segundo se solicitó el análisis microbiológico de: (Coliformes fecales) y físico-químico de: (Sulfatos).

Esto con la finalidad de poder determinar si las aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de la comunidad de San Andrés pueden ser reutilizadas para el riego por inundación en el cultivo de arveja. Lo cual se podrá verificar cuando se termine de analizar los resultados que nos muestran los cuadros siguientes.

CUADRO 1

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PUNTO 1

FISICO-QUIMICO

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)	REFERENCIA DE LOS LIMITES
DBO ₅	SM 5210-B	mg/l	155	300	A-2 RMCH
Solidos suspendidos	SM 2540-D	mg/l	146	500	A-2 RMCH
pH	Medición en campo	-	6,8	6 - 9	A-2 RMCH
Temperatura	Medición en campo	°C	22	+/- 5	A-2 RMCH

SM: Standard Methods mg/l: mili gramos por litro LMA: Ley de Medio Ambiente

Los análisis en el punto 1 (afluente), tienen como finalidad conocer el valor de los parámetros con el que ingresan a la planta de tratamiento, para poder comparar con el valor con el que salen en el efluente, con el fin de tener conocimiento a cerca de la efectividad de la planta en la descontaminación del agua.

Según los resultados obtenidos en laboratorio, se tiene un DBO₅ de 155 mg/l, el cual es menor a los 300 mg/l establecidos en la ley 1333.

La presencia de este parámetro nos indica la presencia de materia orgánica biodegradable, que representa el 51,7 % con relación del LMP.

Para los sólidos suspendidos totales se tuvo un resultado de 146 mg/l, la ley establece un máximo de 500 mg/l, por lo tanto, este parámetro se encuentra por debajo de lo que establece la ley. Representa un 29,2 % con relación de los LMP.

La lectura del pH nos dio un resultado de 6,8 (neutro). La ley nos indica un rango de entre 6 - 9 y en conclusión tenemos que el pH respeta los LMP.

Como ultimo parámetro de este análisis físico-químico tenemos la temperatura, la cual nos dio una lectura de 22 °C y se encuentra en el rango establecido por la ley, ya que la misma propone una temperatura de +5 °C.

Para concluir con el análisis de resultados de este cuadro, se puede afirmar que ningún parámetro sobrepasa los límites establecidos en la ley 1333 de Medio Ambiente.

CUADRO 2

MICROBIOLOGICO

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)	REFERENCIA DE LOS LIMITES
Coliformes fecales	Tubos múltiples	NMP/100 ml	4,60E+07	1000	A-2 RMCH
<i>NMP/100 ml: Numero más probable por 100 ml</i>				<i>LMA: Ley de Medio Ambiente</i>	

Al hacer el muestreo de las aguas de entrada dio un resultado de 4,60E+07 o 46.000.000, el límite permisible es de 1000 según la ley de Medio Ambiente 1333 es de 1000. La concentración de entrada es muy elevada a comparación del LMP, lo que significa que esta agua ingresa contaminada con este parámetro (coliformes fecales).

CUADRO 3

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PUNTO 2

FISICO-QUIMICO

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)	REFERENCIA DE LOS LIMITES
DBO ₅	SM 5210-B	mg/l	5,5	300	A-2 RMCH
Solidos suspendidos	SM 2540-D	mg/l	< 2	500	A-2 RMCH
pH	Medición en campo	-	6,6	6 - 9	A-2 RMCH
Temperatura	Medición en campo	°C	21	+/- 5	A-2 RMCH
Calcio	SM	mg/l	6,37	Sin referencia	
Fósforo total	SM	mg/l	0,63	2,0	A-2 RMCH
Magnesio disuelto	SM	mg/l	5,05	Sin referencia	
Nitrógeno total	SM	mg/l	26,83	15	A-2 RMCH
Sulfatos	Espectrofotométrico	mg/l	1,00	2,0	

SM: Standard Methods mg/l: mili gramos por litro LMA: Ley de Medio Ambiente

Considerando los parámetros del cuadro 1, comparado con el cuadro 3, se puede apreciar una gran disminución en los valores de cada uno de ellos y que ninguno sobrepasa los límites permisibles indicados en la ley. Esto nos indica la gran eficiencia con la que está operando la planta.

El punto 2 (cuadro 3) se caracteriza por ser el de mayor importancia para este trabajo de investigación, donde se hicieron los análisis físico-químicos de los macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo) y micronutrientes (Calcio, Magnesio y Sulfatos) requeridos como nutrientes de mayor importancia y requerimiento para el crecimiento y desarrollo de la arveja.

Al conocer los requerimientos nutricionales de la arveja y que gracias a los análisis podemos afirmar la presencia de ellos en el efluente de la planta.

8.2.1. CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE MINERALES:

Para este cálculo se tomará en cuenta el requerimiento nutricional (tabla 1) que requiere la planta de arveja de cada nutriente.

NITROGENO

53 Kg N 1000 Kg Arveja.

X12,87 Kg

X = 0,68 Kg N

Cantidad de N total: 26,83 mg/lit

Vol. Total = 2000 lit

Cantidad total de N usado = 26,83 mg/lit *2000 lit = 53660 mg = 0,05366 Kg.

0,68 Kg N 100%

0,05366 Kg P..... Y

Y = 7,9 %

RENDIMIENTO MEDIO DE ARVEJA = 3500 Kg/has.

Plantas de arveja por Has. Que se cultivan = 12000 plantas por has.

Producción por planta de Arveja = $3500 / 12000 = 0,29$ Kg.

En la parcela se tenía 50 plantas, sabiendo que el rendimiento promedio por planta es de 25 vainas y cada una con peso medio de 10,3 g.

Peso promedio por planta de la parcela = $25 * 10,3 \text{ g} = 257,5 \text{ g} = 0,26 \text{ kg}$.

El peso promedio por planta obtenido gracias a bibliografías dedicadas al cultivo de arveja es de: 0,29 Kg. La producción en la parcela nos dio un peso promedio de: 0,26 kg. Lo que nos indica que se pudo obtener un producto más que aceptable al solo gozar del agua tratada y no de nutrientes externos como la primera.

FOSFORO

4 Kg P 1000 Kg Arveja

X 12,87 Kg

$X = 0,0515 \text{ Kg P}$

Cantidad de P total: 0,63 mg/lit

Vol. Total = 2000 lit

Cantidad total de P usado = $0,63 \text{ mg/lit} * 2000 \text{ lit} = 1260 \text{ mg} = 0,00126 \text{ Kg}$.

0,0515 Kg P 100%

0,00126 Kg P..... Y

$Y = 2,45 \%$

CALCIO

22 Kg Ca 1000 Kg Arveja

X 12,87 Kg

X = 0,283 Kg Ca

Cantidad de Ca total: 6,37 mg/lit

Vol. Total = 2000 lit

Cantidad total de Ca usado = 6,37 mg/lit * 2000 lit = 12740 mg = 0,01274 Kg.

6,37 Kg Ca 100%

0,01274 Kg Ca Y

Y = 0,2 %

MAGNESIO

4 Kg Mg 1000 Kg Arveja

X 12,87 Kg

X = 0,0515 Kg Mg

Cantidad de Mg total: 5,05 mg/lit

Vol. Total = 2000 lit

Cantidad total de Mg usado = 5,05 mg/lit * 2000 lit = 10100 mg = 0,011 Kg.

0,0515 Kg Mg 100%

0,011 Kg Mg Y

Y = 21,36 %

SULFATOS

2 Kg S 1000 Kg Arveja

X 12,87 Kg

$$X = 0,02574 \text{ Kg S}$$

Cantidad de S total: 1 mg/lit

Vol. Total = 2000 lit

Cantidad total de S usado = 1 mg/lit * 2000 lit = 2000 mg = 0,002 Kg.

0,02574 Kg S 100%

0,002 Kg S Y

$$Y = 7,77 \%$$

8.3. DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN EL CUERPO RECEPTOR:

Las muestras y resultados tomadas en los puntos 3 y 4 (cuadro 4 y 6 respectivamente) nos facilitaran la interpretación, con la recolección de datos en laboratorio, se podrá evidenciar la magnitud o ausencia de la contaminación que causa el efluente al cuerpo receptor.

CUADRO 4

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PUNTO 3

FISICO-QUIMICO

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)	REFERENCIAS DE LOS LIMITES
DBO5	SM 5210-B	mg/l	5,5	300	A-2 RMCH
Solidos suspendidos	SM 2540-D	mg/l	< 2	500	LMA 1333
pH	Medición en campo	-	6,0		LMA 1333
Temperatura	Medición en campo	°C	21,5		LMA 1333
Oxígeno disuelto	SM 4500-O-G	mg/l	6,65	Sin referencia	Sin referencia

SM: Standard Methods mg/l: mili gramos por litro LMA: Ley de Medio Ambiente

CUADRO 5

COMPARACION DE RESULTADOS DE PUNTO 2 Y 3

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADOS PUNTO 3	RESULTADOS PUNTO 2	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)
DBO5	mg/l	5,5	5,5	300
Solidos suspendidos	mg/l	< 2	<2	500
pH	-	6,0	6,6	6 – 9
Temperatura	°C	21,5	21	+/- 5

SM: Standard Methods mg/l: mili gramos por litro LMA: Ley de Medio Ambiente

Como se puede apreciar en el cuadro 5, haciendo la comparación de parámetros en el punto 2 que corresponde al efluente y el punto 3 que es aguas abajo, se pudo ver que tanto el DBO₅ y solidos suspendidos son los mismos. El pH y la temperatura de ambos puntos están dentro del rango de los LMP, aun que guardan una leve diferencia de 0,5 tanto la temperatura y pH, por lo que consideramos que es normal y que no hay ninguna afectación al hábitat.

CUADRO 6

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PUNTO 4

FÍSICO-QUÍMICO

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	LIMITES PERMISIBLES (para agua residual)	REFERENCIA DE LOS LIMITES
DBO5	SM 5210-B	Mg/l	46,5	300	LMA 1333
Solidos suspendidos	SM 2540-D	Mg/l	6	500	LMA 1333
pH	Medición en campo	-	6,3	6,9	LMA 1333
Temperatura	Medición en campo	°C	21	+5	LMA 1333
Oxígeno disuelto	SM 4500-O-G	Mg/l	7,04	Sin referencia	Sin referencia

SM: Standard Methods mg/l: mili gramos por litro LMA: Ley de Medio Ambiente

CUADRO 7
COMPARACION DE RESULTADOS DE PUNTO 3 Y 4

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADOS PUNTO 3	RESULTADOS PUNTO 4	LIMITES PERMISIBL ES (para agua residual)
DBO ₅	mg/l	5,5	46,5	300
Solidos suspendidos	mg/l	< 2	6	500
pH	-	6,0	6,3	
Temperatura	°C	21,5	21	
Oxígeno disuelto	mg/l	6,65	7,04	Sin referencia
<i>SM: Standard Methods</i>		<i>mg/l: mili gramos por litro</i>	<i>LMA: Ley de Medio Ambiente</i>	

La elevada concentración del DBO₅ en el punto 4 (cuadro 6), tiene relación con la presencia de animales (vacas) por cercanías de la zona de muestreo, ya que las heces fecales contienen materia orgánica y por eso se dio el aumento del parámetro. La presencia de los animales se da por la existencia de áreas de pastoreo a orillas del río.

La disminución del DBO₅ en el punto 3 (cuadro 4), se da gracias a la dilución ocasionada por el buen caudal con el que contaba el río al momento de muestrear y la distancia que había entre un punto y el otro.

La temperatura y pH no muestran diferencia considerable y se mantiene dentro de los LMP.

El oxígeno disuelto en ambos puntos guarda cierta similitud del 95 % y una diferencia del 5 % por lo tanto no es apreciable la diferencia.

8.4. MEDICION DEL CAUDAL:

La medición del caudal del efluente se hizo con el método volumétrico, se necesitó un balde de 20 l y 1 cronometro para conocer el volumen y el tiempo.

Sabiendo que la fórmula del caudal es igual a:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Las mediciones se realizaron cada vez que se iba a la planta a obtener el agua para riego de la parcela. Por lo tanto, quedaron distribuidas de la siguiente manera:

La primera medición se realizó en fecha 8 de agosto, arrojando los siguientes datos:

Volumen = 20 l.

Tiempo = 16 seg.

Aplicando la fórmula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{20l}{16 \text{ seg}} = 1,25 \text{ l/seg}$$

La segunda medición se realizó en fecha 27 de agosto, arrojando los siguientes datos:

Volumen = 20 l.

Tiempo = 12 seg.

Aplicando la fórmula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{20l}{12 \text{ seg}} = 1,7 \text{ l/seg}$$

La tercera medición se realizó en fecha 11 de septiembre, arrojando los siguientes datos:

Volumen = 20 l.

Tiempo = 15,4 seg.

Aplicando la fórmula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{201}{15,4 \text{ seg}} = 1,3 \text{ l/seg}$$

La cuarta medición se realizó en fecha 24 de septiembre, arrojando los siguientes datos:

Volumen = 20 l.

Tiempo = 13,2 seg.

Aplicando la fórmula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{201}{13,2 \text{ seg}} = 1,5 \text{ l/seg}$$

La última medición se realizó en fecha 6 de octubre, arrojando los siguientes datos:

Volumen = 20 l.

Tiempo = 10,5 seg.

Aplicando la fórmula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{201}{10,5 \text{ seg}} = 1,9 \text{ l/seg}$$

A partir de estos datos aplicaremos la fórmula de la media aritmética para conocer el valor medio aproximado del caudal.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$X = \frac{1,25 + 1,7 + 1,3 + 1,5 + 1,9}{5} = 1,53$$

Q medio = 1,53 l/seg

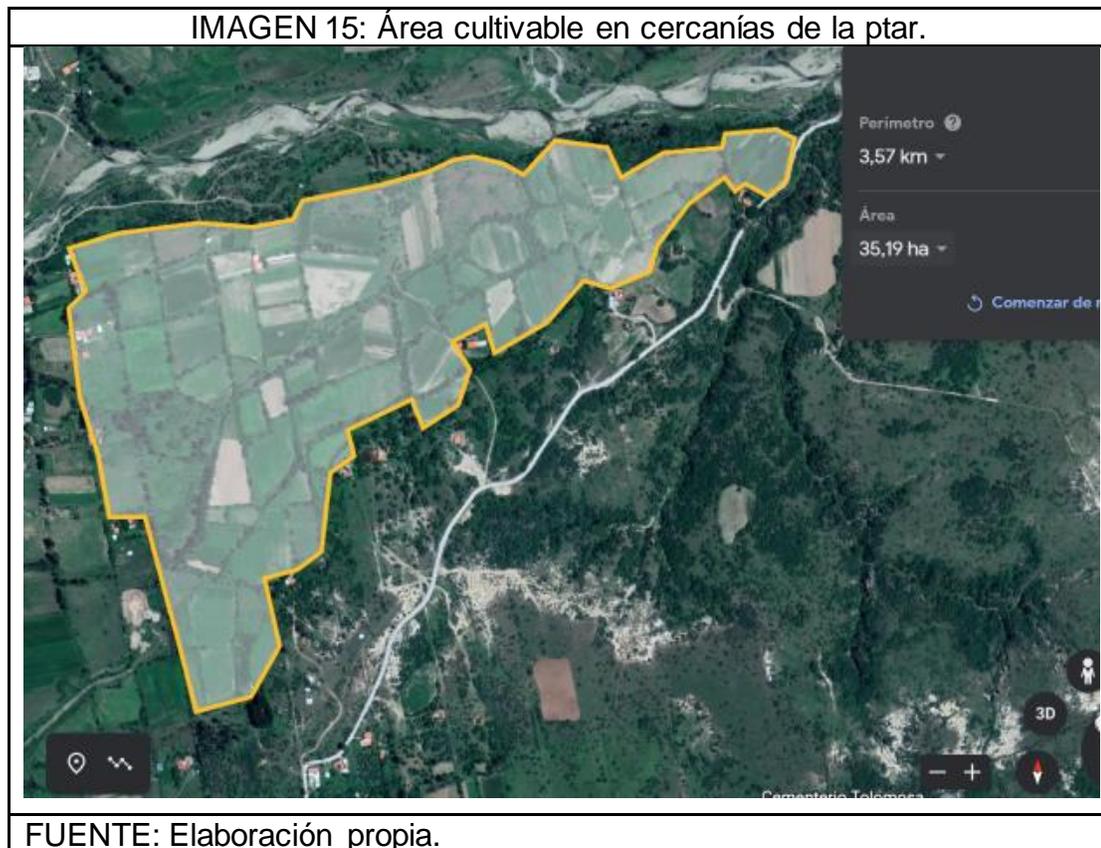
Seguidamente se hará el cálculo diario del caudal para poder determinar si abastece con riego a cierta cantidad de hectáreas de tierra cultivable que se encuentran en cercanías a la planta de tratamiento.

Caudal diario aproximado igual a:

$$1,53 \text{ l/seg} \left(\frac{86400 \text{ seg}}{1 \text{ d}} \right) = 132.192 \text{ l/d ó } 132,192 \text{ m}^3/\text{d}$$

8.4.1. DETERMINACION DE LAS HECTAREAS A SER BENEFICIADAS CON RIEGO DEL AGUA DE LA PLANTA.

La cantidad aproximada de hectáreas que se encuentran cerca de la planta y que pueden ser regadas por gravedad es de: 35,19 has, las cuales se pueden evidenciar mejor en la IMAGEN 15 y 16.





No se pudo encontrar bibliografía exacta que nos indique la cantidad de agua que se necesita para regar una hectárea de cultivo, por lo tanto, se hizo unos cálculos en un terreno de 0.33 ha, el cual tarda un tiempo aproximado de 2,5 horas en regarse totalmente. La información del tiempo es por experiencia propia ya que año a año se lo trabaja y por consiguiente se tiene conocimiento del tiempo aproximado que tarda en abastecer de agua el área.

Se desconocía del caudal por lo que se tuvo que hacer el cálculo con el método del flotador, que consiste en sacar el ancho del canal y la altura del agua, luego se tomó un espacio de 10 mts en el canal para poder sacar el tiempo y con estos datos se obtuvo la velocidad.

Con la siguiente fórmula se pudo conocer el valor aproximado del caudal.

$$Q = A * Vel * 0.8 \text{ (factor de corrección para canales de cemento)}$$

Donde se obtuvo un valor para el caudal de 40,5 l/seg.

40,5 l/s 2,5 h 0,33 has (datos de uso personal en terreno)

1,53 l/s Z1Z2

Z1= 0,09 h (tiempo)

Z2 = 0,012 has

0,012 has 0,09 h

1 has Z3

Z3= 7,5 h

Conclusión: 3 has por día

En San Andrés = 7 días promedio para repetición de riego.

DIA 1: 3 has

DIA 2: 3 has

DIA 3: 3 has

DIA 4: 3 has

DIA 5: 3 has

DIA 6: 3 has

DIA 7: 3 has

Total, de hectáreas que se podrá regar = 21 has.

Por GOOGLE EARTHS = 35,19 has aledañas a la planta.

Hectáreas disponibles para que en lo futuro se pueda regar, cuando aumente el caudal de la PTAR = 35,19 has – 21 has = 14,19 has.

si consideramos la capacidad máxima de la PTAR en 7,8 l/s entonces aumentaría en 5 veces más el caudal que ahora estamos trabajando, por lo tanto, tendríamos una cantidad máxima de terreno en promedio para regar en lo futuro de 90 has.

8.5. COMPARACION DE PRODUCTOS:

Durante el crecimiento y floración se estuvo en continuo seguimiento de la planta, pero no se pudo identificar ningún tipo de cambio o anomalía en las plantas de la parcela ya que ambas (parcela y resto del cultivo) tenían similar tamaño, color, macollaje y floración.

En la etapa de crecimiento de la vaina se veía que no había diferencia, pero esto fue hasta que la vaina llegó a su crecimiento y comenzó a dar paso a la maduración del grano, es aquí donde se notó una diferencia a tomar en cuenta, y se trata del tamaño.

El tamaño de las vainas de la parcela eran ligeramente más pequeñas en comparación con las que fueron regadas de manera tradicional, por otra parte, se evidenció que eran más propensas a la plaga, más específicamente al llamado comúnmente “polvorín”.

IMAGEN 15: Arveja regada tradicionalmente.



FUENTE: Elaboración propia.

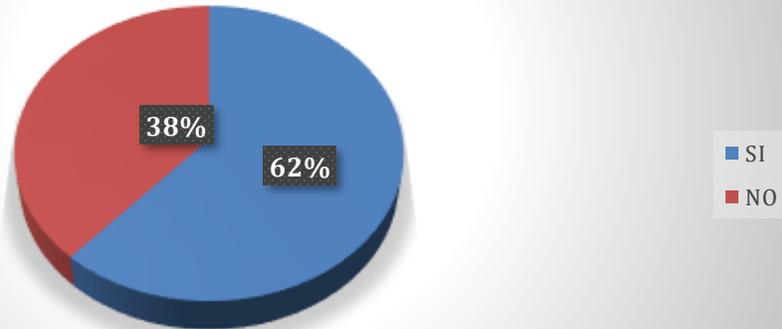
IMAGEN 16: Arveja producida en la parcela de estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

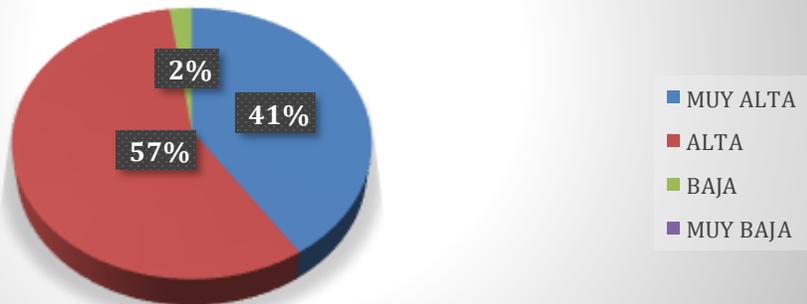
8.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS ENCUESTAS:

1. ¿CONOCE EL SIGNIFICADO DE AGUA RESIDUAL?



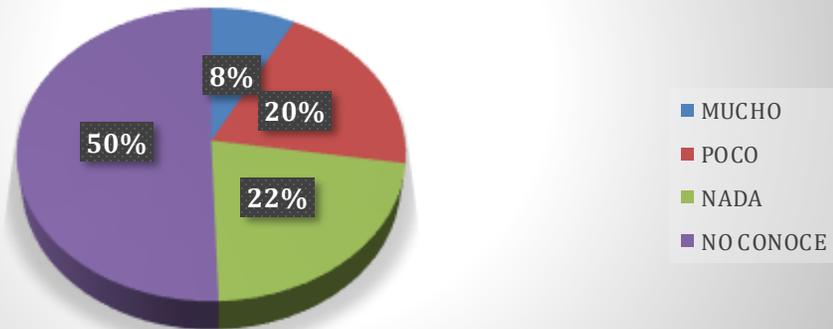
Esta encuesta nos demuestra el nivel de conocimiento que tiene la población a cerca del agua residual, un 62 % de los encuestados conoce el significado mientras que un 38 % no tiene conocimiento sobre dicho concepto.

2. ¿CUAL CREE QUE ES LA IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES?



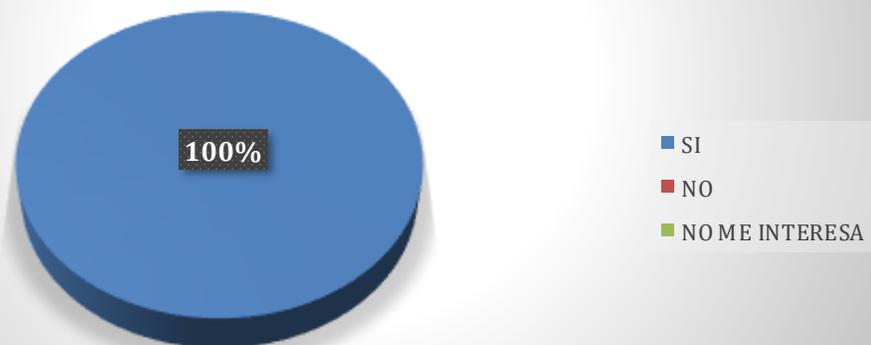
Aquí podemos evidenciar que la importancia del tratamiento del agua residual es alta y muy alta de acuerdo a lo que respondieron los comunarios, ya que cerca del 100 % respondió que es importante el tratamiento.

3. EN CASO DE CONOCER LA PTAR DE LA COMUNIDAD, ¿PERCIBIO MALOS OLORES?



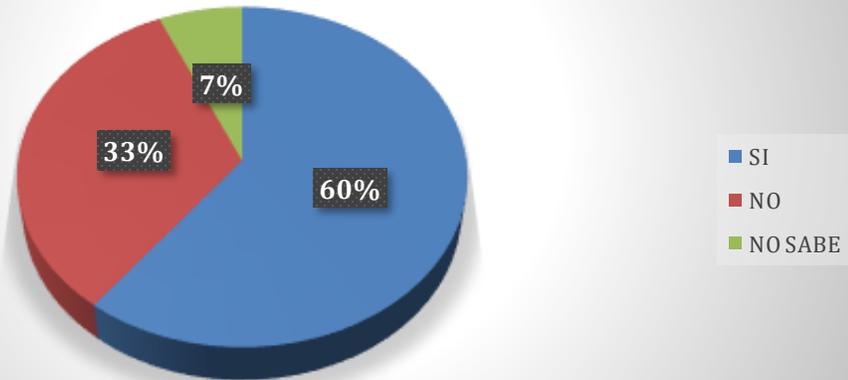
El 50 % de la población no conoce la planta de tratamiento, mientras el 22 % no percibió malos olores en planta, el 20 % indicó que es poco y el 8 % restante dijo que mucho el mal olor.

4. ¿USTED COMO HABITANTE DE LA COMUNIDAD, LE GUSTARIA TENER UNA CAPACITACION SOBRE EL USO Y BENEFICIOS DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS?



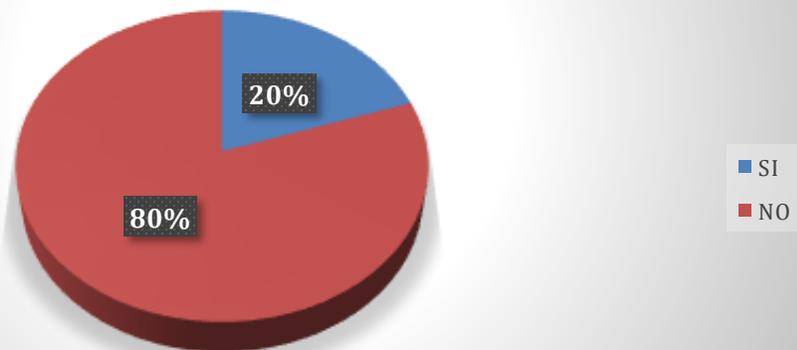
Aquí tenemos una rotunda afirmación de la población al mencionar que les gustaría conocer el uso y beneficio de las aguas residuales.

5. ¿USARIA USTED EL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA RIEGO AGRICOLA?



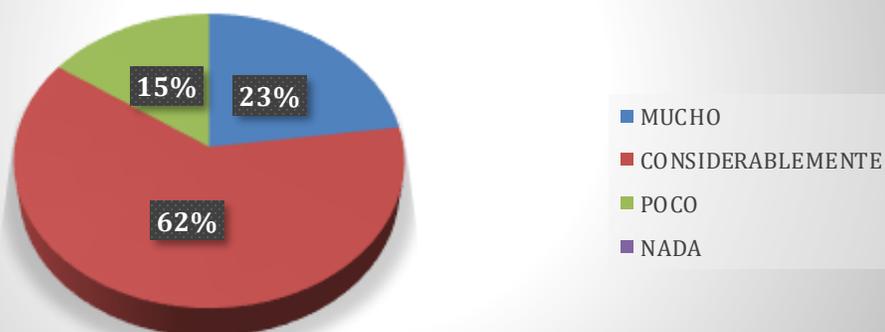
El 60 % de los encuestados mencionó que sí utilizaría el agua para riego agrícola, el 33 % dijo que no y el 7 % se encuentran indecisos.

6. ¿SABE EN QUE CULTIVOS PUEDEN SER UTILIZADAS LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS?



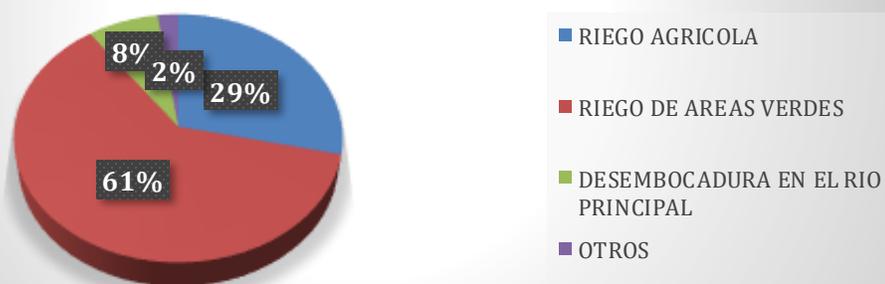
Gran parte de la población no sabe en que tipos de cultivos es aplicable el riego con agua residual tratada y solo el 20 % tiene conocimiento a cerca del tipo de cultivo aplicable.

7. EN EPOCA DE ESTIAJE, ¿CUANTO CARECEN SUS CULTIVOS DE AGUA PARA RIEGO?



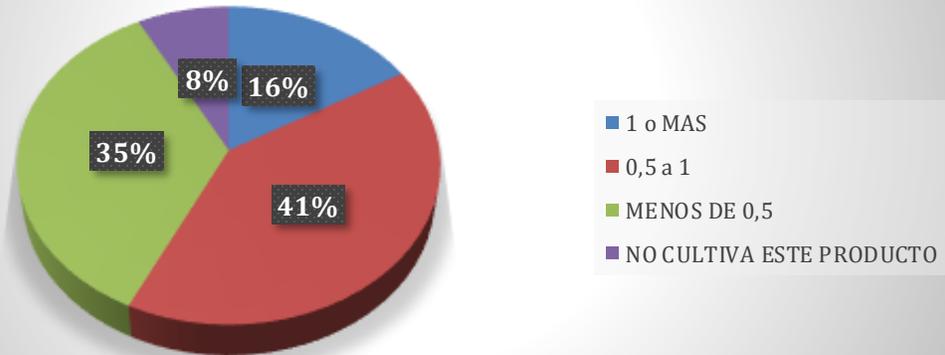
Un 62 % de la población encuestada nos mencionó que es considerable la falta de agua en tiempo de sequía, un 23 % dijo que es mucha la falta de agua en la época y el 25 % restante indicó que es poca.

8. ¿CUAL CREE USTED QUE SERIA EL MEJOR APROVECHAMIENTO O DESTINO PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS?.



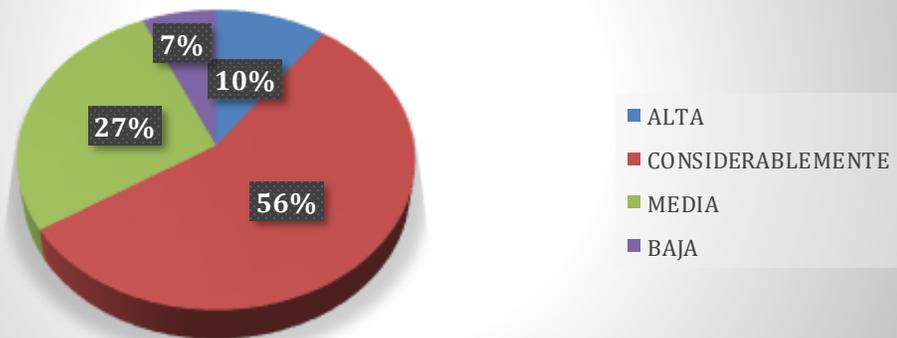
El riego de áreas verdes se llevó un 61 % de la opinión de la gente para que el destino final de agua tratada, seguida de un 29 % que destinaría el agua para riego agrícola, un 8 % que indicó que lo mejor sería la desembocadura en el río principal y un 2 % que recomendó otros destinos.

9. ¿USTED, QUE CANTIDAD DE HECTAREAS CULTIVA ARVEJA?



El 41 % de los encuestados cultiva entre 0,5 y 1 hectárea, el 35 % cultiva menos de 0,5, el 16 % de 1 o mas y el 8 % no cultiva este producto ya que se les hace difícil poder conseguir los materiales para atención del producto.

10. ¿COMERCIALMENTE QUE TAN VENDIBLE ES LA ARVEJA?



El 56 % de los encuestados dijeron que la venta de la arveja en los mercados de abastecimiento es buena o aceptable, un 27 % dijo que medianamente vendible, el 10 % mencionó que es alta y el 7 % restante sostuvo que la venta es baja. En esto influye la época en la que se cosecha la arveja.

CAPÍTULO V

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

10.1. Conclusiones:

En conclusión, al objetivo general: “Reutilizar las aguas tratadas de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Andrés” para el riego por inundación en el cultivo de arveja”. Tenemos que:

El tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de un biofiltro en países de clima cálido proporciona excelentes resultados debido a la alta eficiencia obtenida en la remoción de los principales contaminantes.

La proliferación del uso de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en comunidades rurales concentradas y pequeños municipios (de menos de 10,000 habitantes), donde se descargan los desechos líquidos no tratados o tratados deficientemente a cuerpos receptores o al subsuelo, tendrá un impacto favorable al medio ambiente y, al mismo tiempo, puede proveer agua de riego para cultivos agrícolas.

El reúso del efluente para el riego agrícola en áreas donde el terreno lo permite, proporciona la posibilidad de generar los recursos necesarios para contribuir a la sostenibilidad de la planta de tratamiento.

En conclusión, al primer objetivo específico: “Determinar el contenido de N, P y Ca de otros micronutrientes de las aguas tratadas para el cultivo de arveja mediante análisis de laboratorio”. Tenemos que:

Las cantidades disponibles de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Azufre y Magnesio) en el efluente del biofiltro posibilitan el desarrollo de los cultivos sin necesidad de usar fertilizantes sintéticos. Los resultados obtenidos muestran que el efluente no afecta la estructura del suelo y puede utilizarse en suelos con textura gruesa o fina. Asimismo, permite la irrigación de cultivos con una tolerancia media a la sal.

La presencia y la concentración de cada uno de los macro y micronutrientes (N, F, Ca, Mg y S) favoreció al crecimiento y desarrollo de la arveja, se tiene argumentos favorables tanto los análisis en laboratorio, así como la calidad del producto después de haber aplicado el riego, para poder confirmar que las aguas tratadas en la planta de San Andrés son aptas para el riego por inundación para el cultivo de arveja.

En conclusión, al segundo objetivo específico: “Determinar los microorganismos presentes en el agua de la PTAR mediante un análisis de laboratorio”. Tenemos que:

Toda agua residual tendrá presencia de coliformes, ya que estos derivan principalmente de las heces de los humanos.

Se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos (intestino). En general, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

En conclusión, al tercer objetivo específico: “Determinar mediante análisis de laboratorio físico-químico la contaminación del efluente de la PTAR con el cuerpo receptor”. Tenemos que:

De acuerdo a los parámetros estudiados (DBO5, Sólidos suspendidos, pH, Temperatura, Oxígeno disuelto) no se pudo evidenciar que existe contaminación en río principal de la comunidad, ya que ninguno de ellos sobrepasa los límites permisibles.

En conclusión, al cuarto objetivo específico: “Determinar la cantidad de hectáreas que se van a beneficiar con las aguas residuales para el cultivo de arveja”. Tenemos que:

La cantidad de hectáreas cultivables sobrepasa la capacidad de riego del caudal, esto no significa un problema ya que este caudal ayudará como amortiguamiento a la escasez de agua en época de estiaje.

En conclusión, al quinto y último objetivo específico: “Comparar el producto obtenido con otro cultivo de arveja regado tradicionalmente mediante observación directa”. Tenemos que:

Se obtuvo un producto de tamaño y apariencia estética más que aceptable tanto para consumo como para su comercialización en mercados, sin grandes diferencias con el producto que se obtuvo haciendo el riego tradicional, más la inclusión de abonos químicos para que ésta última tenga un mejor rendimiento que es lo que el agricultor siempre se busca.

Conclusiones generales:

El desarrollo exitoso de un proyecto de saneamiento en pequeñas comunidades debe incluir la participación ciudadana en los procesos de gestión e implementación del mismo, integrando a los pobladores en la toma de decisión sobre el tipo de tecnología a utilizar. Ello incluye brindarles capacitación para que comprendan, como usuarios del sistema, los beneficios de tratar adecuadamente las aguas residuales, así como los compromisos que deben adquirir en las etapas de construcción y funcionamiento del sistema de tratamiento.

Los vecinos a la planta podrán realizar sus actividades laborales normalmente, ya que la planta no genera malos olores e incluso podrían hacer sus viviendas sin riesgo o incomodidades.

10.2. Recomendaciones:

Realizar cultivos de arveja más extensos para aprovechar todo el volumen de agua en terrenos cercanos a la planta.

Utilizar diferentes variedades de arvejas de grano verde y amarillo, liso y rugoso, destinadas al consumo en fresco como grano seco remojado, o para forraje. Con el fin de identificar si alguna tiene mejor rendimiento o si demuestra mayor fortaleza a plagas.

Adquirir productos orgánicos para el control de plagas, como también fertilizantes.

Hacer cloración con hipo Clorito de Calcio en la salida de efluente, esto con el fin de eliminar las Escherichia Coli.

Una vez conocidos los valores nutricionales del producto y del agua residual, para estudios futuros se debe tener en cuenta el tipo de suelo, es decir, su composición nutricional y textura, lo cual ayudara a obtener datos más exactos para el tema a estudiar.

Realizar la expansión de la información mediante talleres o capacitaciones para informar a la población sobre el uso y beneficios de la reutilización del agua residual tratada para riego agrícola, porque se notó gran desconocimiento sobre el tema.

Proponer otras alternativas de reúso, con el fin de aprovechar el potencial nutritivo del agua tratada.