

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR MIRIKIRI
CARRERA RECURSOS HIDRICOS ORIENTACION RIEGO Y AGUA



**CLARIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR MIRIKIRI**

POR

NELLY RAMOS ASPI

TUTOR

ING. ROGELIO NINA HUANCA

**proyecto de grado para optar el título de técnico superior en Recursos Hídricos
Orientación – Riego.**

Comanche – Bolivia

2018

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado primeramente a dios por haberme permitido llegar hasta este punto.

A nuestros docentes por su gran apoyo y motivación para la culminación del proyecto.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante y a todos aquellos amigos que me ayudaron sin esperar nada a cambio.

AGRADECIMIENTO

A dios por darme la sabiduría y por la realización y culminación del proyecto.

A mi ingeniero tutor del proyecto por haberme guiado apoyado y ayudado sin esperar nada a cambio, compartiendo sus conocimientos.

A mi madre por su gran apoyo, y motivación constante y a todos aquellos amigos.

INDICE

CAPITULO I	1
1.2. INTRODUCCION	1
1.3. DIAGNOSTICO	1
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.6. OBJETIVOS	3
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.6.2. OBJETIVO ESPECIFICO	3
1.7. ALCANCE	4
1.7.1. ALCANCE TEMPORAL.....	4
1.7.2. ALCANCE ESPACIAL.....	4
1.8. MATERIALES METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.8.1. a) UBICACIÓN GEOGRÁFICA	4
Latitud y Longitud.....	4
1.8.2. b) MATERIALES	4
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.6. Generalidades	8
2.5.1. Concepto de Aguas Residuales	10
2.1. AGUAS RESIDUALES EN BOLIVIA	11
2.1.1. Lagunas Anaeróbicas Cubiertas, Santa Cruz, Bolivia	12
2.2.1. Infiltración.....	13
2.2.2. Agua Potable.....	15
2.2.2.2. Fuente subterránea:	16
2.3. AGUA PARA FINES DE RIEGO	18
2.3.1. Clasificación y Aptitud de Las Aguas para Riego	18
2.3.2. Restricciones en el uso del agua para riego.....	19
c) Toxicidad de iones específicos.....	20
2.4.2. Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	23
c) Tratamientos secundarios:	25

2.5.2. La capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua	26
2.5.3. Estrategias para mejorar la calidad del agua para riego	27
2.5.4. Las tecnologías de tratamiento utilizadas.....	28
2.6.1. Cámara de rejillas y desarenador	30
2.6.1.1. Sedimentador primario	30
2.7. NORMATIVA EXISTENTE RESPECTO AL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y RIEGO	35
2.7.1. Ley 1333 de Medio Ambiente.....	35
2.7.1.1. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales	35
• Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica	35
2.7.2. Ley de Riego N° 2878	36
2.7.3. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales.....	37
2.7.4. SISTEMATIZACIÓN SOBRE TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES.....	38
2.8. MARCO INSTITUCIONAL PARA EL REÚSO DE AGUAS SERVIDAS.	38
2.8.1. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)	38
2.8.2. Vice ministerio de Recursos Hídricos y de Riego (VRHR)	39
2.8.3. Servicio Nacional de Riego (SENARI).....	39
2.8.4. Actores sub nacionales para el reúso.....	39
CAPÍTULO III	40
3.1 TITULO DE LA PROPUESTA	40
3.2. LOCALIZACION	40
3.2.1. Límites Territoriales	41
3.2.3. Extensión.....	41
3.3 PROPOSITO DE LA PROPUESTA.....	41
CLARIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR MIRIKIRI.....	41
3.4 ETAPAS DEL PROYECTO	41
FASE 1	41
FASE 2.....	42
FASE 3.....	43

FASE 4.....	43
FASE 5.....	47
FASE 6.....	47
3.5 RESULTADOS E INTERPRETACION DE DATOS.....	48
3.5.1. Volúmenes de aguas grises generados por el comedor.	48
3.5.2. Calidad de aguas generadas.....	48
3.5.3. Calidad de aguas grises	49
3.5.4. Calidad de aguas clarificadas para riego.....	49
3.5.5. Instalación de tanque de almacenamiento	49
3.6 IMPACTO TECNOLOGICO SOCIAL AMBIENTAL Y ECONOMICO	49
3.6.1 IMPACTO SOCIAL.....	49
3.6.2 IMPACTO AMBIENTAL.....	50
3.6.3 IMPACTO ECONOMICO.....	50
3.8. ANALISIS DE RESULTADOS ESPERADOS.....	53
CAPITULO IV.....	55
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS	

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Imagen de ubicación Municipio de Comanche	40
---	----

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Volumen de las aguas grises generadas por el comedor del ITSM....	48
Tabla N° 2. Presupuesto para la construcción del prototipo de clarificación de aguas grises	52
Tabla N° 3. Clasificación de las aguas del sistema de agua potable ITSM	53
Tabla N° 4. Clasificación de las aguas clarificadas.....	54

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Planta De Tratamiento El Alto Puchucollo	11
Imagen 2. Sedimentador Primario	30
IMAGEN 3. Clarificador de aguas servidas.....	59
IMAGEN 4. Planta de tratamiento de aguas servidas.....	60

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. Fosa para recolección de aguas grises	41
FOTOGRAFÍA 2. Conexión de tubo PVC a la Fosa	42
FOTOGRAFÍA 3. Fosa de con envase de recolección de aguas servidas	42
FOTOGRAFÍA 4. Tanque sedimentador.....	43
FOTOGRAFÍA 5. Vista de la Criba	43
FOTOGRAFÍA 6. Clarificador de aguas grises	44
FOTOGRAFÍA 7. Colocado capa de carbón activo	44
FOTOGRAFÍA 8. Grava debidamente lavadas y desinfectadas	45
FOTOGRAFÍA 9. Desinfección Piedrecillas de 1 a 2 Cm	45
FOTOGRAFÍA 10. Capa de piedrecillas	46
FOTOGRAFÍA 11. Colocación de la arena fina	46
FOTOGRAFÍA 12. Funcionamiento del sistema de clarificación de aguas.....	47

CAPITULO I

CLARIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR MIRIKIRI.

1.2. INTRODUCCION

La mayoría de las viviendas generan en su uso diario aguas residuales que deben ser tratadas. En Bolivia estas aguas no son tratadas, siendo estos efluentes vertidos a canales de alcantarilla y por tanto a los cuerpos de agua (ríos, lagos, etc).

Esta situación existió desde por lo menos hace 70 años esto debido a la superpoblación, y la crisis del agua esto también se puede decir que uno de los factores es el costo elevado para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La contaminación de las aguas servidas de uso doméstico representan un grave problema para la salud pública, el presente trabajo fue ejecutado con fines de evitar o aliviar los efectos de la contaminación al medio ambiente en el Instituto Tecnológico Superior Mirikiri.

El 60 % de las aguas residuales no pasan por plantas de tratamiento, las aguas recolectadas por sistemas de alcantarillado arrastran desde elementos patógenos hasta sustancias toxicas dañinas para las poblaciones y el medio ambiente.

Esto genera altos niveles de contaminación de afluentes, debido a la falta de recursos económicos y por tanto la capacidad operativa de los municipios en esta temática, la cual dificulta la implementación de unidades de saneamiento del líquido.

Nuestro país no cuenta con muchas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR apenas abarcamos un 40 % de las aguas residuales (Laruta, 2018).

1.3. DIAGNOSTICO

En la población de Comanche donde se encuentra el Instituto Tecnológico Superior Mirikiri, dichas instalaciones no se cuenta con sistema de alcantarillado, solo se tiene por el momento los pozos ciegos, esto genera la conglomeración o estancación de las aguas.

En los predios del instituto se crea la contaminación y malos olores, estas son producidas por las descargas de efluentes del comedor del instituto, ya que diariamente se usa para todo tipo de actividad como el lavado de los utensilios, etc. Y es por esta razón que estas aguas grises son vertidas a la superficie en el patio del Instituto generando contaminación.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto es para ver la contaminación y malos olores que produce estas aguas en los predios del Instituto, esto hace que se requieran plantas de clarificación para la reutilización de las aguas para riego.

Las alternativas para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales dependen de usos y la ubicación y características del agua que será tratado, pero también depende de un estudio especializado para poder manipular este sistema y no puedan ser dañados y que sean de durabilidad

La composición de las aguas residuales es clave para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales y determine el sistema que será implementado.

1.5. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

No existe cultura de reciclaje del agua residual domestica ni sistemas de reutilización de los volúmenes generados, los cuales producen un nivel de contaminación que puede manifestarse en la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

El principal problema a tratarse es la contaminación de los predios del instituto con aguas residuales (aguas grises) que son generados por usos domésticos en el comedor del Instituto, las misma no son tratadas ni almacenadas, presentando un mal aspecto y contaminando el medio ambiente.

Estas aguas serán tratadas por el sistema de clarificación para el tratamiento de las aguas ya que constantemente en la vida diaria se usa para todo tipo de aseo esto crea consecuencias negativas de contaminación ya que las aguas después de ser usadas son desechadas.

¿Por qué?

Las aguas residuales de carácter doméstico generadas por la institución no son evacuadas a alcantarillado ni fosas sépticas, por lo que son desechadas a campo abierto ocasionando la contaminación de los suelos.

Porque la optimización del agua es importante e indispensable para la vida del hombre, además beneficia en un factor económico y ambiental dado a que en la actualidad el agua escasea por la contaminación y desperdicio, ocasionado por los seres humanos.

¿Para qué sirve?

Estas aguas después de su tratamiento se pretenden reutilizar en actividades de riego de parcelas de cultivo en la institución.

¿A quién beneficia?

El presente proyecto beneficiaría al Instituto Tecnológico Superior Mirikiri y al medio ambiente para una mayor producción y bienestar de los estudiantes.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

- Clarificar las aguas residuales domésticas generadas en el comedor del Instituto Tecnológico Superior Mirikiri para la reutilización en sistemas de riego.

1.6.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Instalar un sistema demostrativo de clarificación de las aguas residuales domésticas.
- Evaluar la calidad de estas aguas para riego.
- Instalar un tanque de almacenamiento.

1.7. ALCANCE

1.7.1. ALCANCE TEMPORAL

El proyecto se desarrolló en un tiempo de 2 meses de acuerdo al cronograma de actividades y fueron ejecutados en los predios de Instituto con la finalidad de contrarrestar la contaminación de las aguas residuales domésticas.

1.7.2. ALCANCE ESPACIAL

El presente proyecto se realizó en predios del INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR MIRIKIRI específicamente en áreas pertenecientes al comedor del Instituto donde se generan las aguas residuales domiciliarias donde se instaló la infraestructura de clarificación de las aguas residuales.

Para así poder reutilizar estas aguas para riego u otro tipo de actividades que se puedan realizar, esto ayudaría a evitar el desperdicio del Recurso Hídrico.

1.8. MATERIALES METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1. a) UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Cuarta Sección de la Provincia Pacajes con capital Comanche pertenece al Departamento de La Paz. Se encuentra ubicada al noreste de la Provincia Pacajes y al sudoeste de la ciudad de La Paz (mapa 1) a una distancia de 70 km. La ruta de acceso a Comanche es a través de la carretera troncal La Paz – Charaña.

Latitud y Longitud

El municipio de Comanche se encuentra situado entre las coordenadas 16°45'49", 17°5'19" de latitud sur y 68°2'27" - 68°35'43" de longitud oeste.

1.8.2. b) MATERIALES

Los materiales a ser usados son:

- Fuentes o baldés.
- Tuberías.
- Tanques de almacenamiento.

Para la clarificación

- Algodón.
- Carbón.
- Arena.
- Grava.

Materiales de gabinete

- Hojas.
- Marcadores.

1.8.3. c) MÉTODOS

Método descriptivo

(Fibras Y Normas de Colombia S.A.S., 2004) Indica el tratamiento de las aguas residuales incluye una serie de procesos tanto físicos y químicos y biológicos que tienen como objetivo, eliminar las concentraciones presentes en el recurso para que este pueda ser reutilizado.

El material en suspensión que se pueda encontrar en el agua residual puede ser desde partículas inorgánicas de varios centímetros y muy densas, hasta suspensiones coloidales de origen orgánico muy estables.

Tratamiento de estas aguas pasos a seguir.

- **Devaste.** - Es un método físico de separación que consiste en retener los sólidos gruesos que generalmente se encuentran en las aguas residuales mediante una reja o tamiz.
- **Sedimentación.** - En Este método también conocido como de decantación, se aprovecha la fuerza de gravedad.
- **Filtración.** - Este método mediante la filtración consiste en pasar el agua a través de diferentes procesos que ayudaran a la clarificación.

El método explicativo

El tema de las aguas residuales domesticas son aguas que se pueden generar mediante acciones naturales o antropicas a partir de residuos líquidos de origen doméstico como ocurre en los predios del comedor de la institución.

1.8.4. e) TÉCNICAS

Se utilizara la técnica experimental. El experimento dentro de los métodos empíricos resulta más complejo y eficaz éste surge como resultado del desarrollo de la técnica y del concomitamiento humano, como consecuencia del esfuerzo que realiza el hombre por penetrar en lo desconocido a través de su actividad transformadora.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. RESEÑA HISTORICA

(Garcia, 2010) Indico, Aunque se conocen ya primitivas alcantarillas en el Imperio romano, el proyecto y construcción de redes de saneamiento no experimentó desarrollo alguno hasta la década 1840-1850.

La preocupación por el problema de evacuación y eliminación de los residuos procedentes de la actividad humana, llevó a las autoridades competentes a la construcción de redes de alcantarillado que alejaban las aguas residuales del núcleo de la población.

(Garcia, 2010) Indico, se dejaron de utilizar los pozos negros, que solían contaminar los pozos de obtención de agua potable, y se canalizaron los residuos de forma que fueran a parar a uno o unos pocos puntos.

Pero el problema continuaba, ya que las alcantarillas debían seguir las líneas de pendiente, y el punto de vertido final solía estar a un nivel más bajo que la ciudad, coincidiendo en la mayoría de los casos con un cauce de agua.

En las ciudades desarrolladas, las redes de alcantarillado conducen las aguas residuales hasta las estaciones de tratamiento. Estos sistemas de recogida pueden ser de dos tipos:

a) Separativo: Comprende dos canalizaciones distintas, una la sanitaria, para la Evacuación de aguas residuales domésticas e industriales, y otra que recoge las aguas superficiales y atmosféricas y que suele descargar directamente en los cursos de aguas naturales.

b) Unitario: se recogen en una misma canalización los dos tipos de aguas residuales señalados. En este sistema se producen cambios significativos de flujo durante las tormentas.

Cada uno de los sistemas tiene ventajas e inconvenientes. El sistema unitario es más económico, ya que sólo habría que construir una conducción por cada calle. Pero

tiene inconvenientes, ya que el volumen de agua es mayor. Además, han de construirse redes capaces de soportar las variaciones de flujo debidas a las precipitaciones atmosféricas.

La planificación y proyecto de una red de saneamiento supone la determinación del caudal de aguas residuales, el cálculo hidráulico de alcantarillas, grandes conducciones y estructuras de enlace y derivación, selección adecuada de instalaciones complementarias y proyecto de estaciones de bombeo (Garcia, 2010).

Los avances más importantes a este respecto, han sido la aplicación de técnicas fotogramétricas y de ordenadores al proyecto de alcantarillas, la mejora de los materiales de construcción y la utilización de informática al control de alcantarillas para aguas pluviales.

2.6. Generalidades

(Garcia E. , 2010) Indico, desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de los residuos ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse tanto de las excretas como de los restos de alimentación. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial.

Las masas receptoras, es decir, ríos y corrientes subterráneas, lagos, estuarios y el mar, en la mayoría de las ocasiones, especialmente en las zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, para absorber y neutralizar la carga polucionar que tales residuos imponen.

(Garcia E. , 2010) Indica también que de esta forma, han venido perdiendo sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responde al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar nuestras masas hídricas. Como consecuencia de esto, en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o aún como fuentes de energía.

Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves (García E. , 2010).

Es evidente que la polución está disminuyendo la calidad del agua en muchas partes de Bolivia. Con este progresivo deterioro, el uso de técnicas y modelos para predecir la conducta de los organismos indicadores de la calidad del agua, ha llegado a ser cada vez más importante.

En la mayoría de las naciones, los programas de control de la contaminación, se han iniciado restringiendo las descargas, estableciendo limitaciones para determinados compuestos químicos y parámetros, y se han identificado algunos productos químicos tóxicos en las aguas residuales, para los que se han fijado límites de vertido.

Muchos efluentes continúan deteriorando los sistemas acuáticos e interfiriendo en los usos potenciales del agua. Los vertidos de aguas residuales pueden contener desde algunos centenares a varios miles de productos diferentes, muchos de ellos sub productos que ni siquiera han podido ser identificados. Es por esto que las aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado según su composición, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, hasta evitar que se provoquen los problemas enunciados de polución y de contaminación de las aguas receptoras (García E. , 2010).

La eliminación de las aguas residuales no es el único problema a considerar, ya que, al ser el agua un bien escaso, que cada día se necesita en mayores cantidades, es cada vez más imprescindible la reutilización de los recursos hídricos disponibles para poder satisfacer las necesidades humanas.

2.5.1. Concepto de Aguas Residuales

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

-Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.

- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.

- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales.

Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

Tipos de uso de aguas residuales claridad que el rehusó directo es cuando las aguas residuales tratadas o sin tratar son utilizadas directamente en el riego agrícola o de áreas verdes, u otra actividad que las demande. En cambio el uso indirecto es cuando los desagües se descargan a los cuerpos receptores que luego son utilizados para las diferentes actividades.

Este segundo tipo no es considerado por la legislación como rehusó, y sin embargo es el que más preocupa por sus graves impactos en la salud y el ambiente cuando no existe un tratamiento previo adecuado (LÓPEZ, 1985)

2.1. AGUAS RESIDUALES EN BOLIVIA

(Laruta, 2018), indicó que la inversión depende de la tecnología a usarse y de la población que se atenderá, puede ser Bs 2 millones si se trata de una pequeña planta o Bs 348 millones para el caso de La Paz.

Imagen 1. Planta de Tratamiento El Alto Puchucollo



Fuente: La Razón, (2018).

Según el Ministerio de Medio Ambiente, solo el 40% de las aguas residuales que se genera en el país son tratadas en plantas, que con el proceso aminoran el riesgo de enfermedades y mejoran la calidad del medio ambiente. La Paz y Potosí no tienen plantas.

“La cobertura de plantas de tratamiento está por debajo del 40%. Lo que sucede es que en muchos municipios se dedicaron a construir redes de alcantarillado, no plantas de tratamiento porque es más caro”

Indicó (Laruta, 2018), director de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente.

La información fue proporcionada luego de un seminario realizado en La Paz, que contó con la participación de 50 técnicos que serán capacitados en el análisis y diseño de plantas de aguas residuales, en el marco del Día Mundial del Agua,

celebrado cada 22 de marzo. Una de las conclusiones del evento fue que en Bolivia no hay profesionales en plantas residuales.

Diagnóstico explicó que en el Marco de la Ley 031, de autonomías, alcaldías y operadoras de agua potable y saneamiento son responsables de dar soluciones sobre aguas residuales, pero estas últimas no tienen capacidad de inversión y las primeras no demuestran el interés necesario ante la existencia de operadoras. A partir de ese problema es que el Gobierno participa en este rezago.

(Suarez, 2018) director general del Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (Senasba), del Ministerio de Medio Ambiente, señaló que si se habla de principales ciudades, las que no cuentan con una planta de tratamiento son La Paz (que está en proyecto) y Potosí; mientras que Santa Cruz, Cochabamba, El Alto y Sucre lo tienen de manera parcial.

Resaltó que la importancia de una planta de tratamiento radica en la prevención de enfermedades por que las aguas residuales pueden contener desechos químicos, patógenos, toxinas y gérmenes de industrias y hospitales, cuyo afluente puede llegar a productos de consume humano, como es el caso de Río Abajo (La Paz) (Laruta, 2018).

2.1.1. Lagunas Anaeróbicas Cubiertas, Santa Cruz, Bolivia

Tradicionalmente los investigadores han recomendado no utilizar procesos anaeróbicos en lugares fríos con temperaturas menores a 10° C funcionados bien. Es probable que el manejo de grandes volúmenes de agua y el uso de lagunas escavadas y profundas permitan mantener temperaturas en el agua por encima de los 10°C. Recientemente varios sistemas de lagunas anaeróbicas han sido cubiertos con geomembranas para evitar la fuga del metano, que luego es simplemente quemado, o mejor aún, utilizado para combustible. Esta cobertura también puede conservar la temperatura.

Existe una situación intermedia entre los procesos aeróbicos y anaeróbicos, que se ha convenido llamar facultativo, EFLUENTE y que está referido principalmente a AGUA RESIDUALES las lagunas facultativas. En realidad no es el término más

correcto porque el concepto ha sido tomado de las bacterias facultativas que pueden actuar con o sin oxígeno.

2.2.1. Infiltración

Se produce una actividad aeróbica en la columna superior de la masa proceso de estabilización en una de agua y anaeróbica en la inferior y laguna facultativa principalmente en el fondo.

Como se, lo relevante de las lagunas facultativas es la actividad de las bacterias aeróbicas que degradan la materia orgánica aprovechando el oxígeno generado por las algas en la fotosíntesis.

A su vez, los productos de descomposición, especialmente el dióxido de carbono es la principal fuente para realizar esa actividad fotosintética por las algas. Se trata de un proceso alimentado de oxígeno en forma natural, sin requerir aireadores y energía eléctrica.

Esta condición es especialmente importante en zonas elevadas como la sierra, en donde la disponibilidad de oxígeno atmosférico es restringido, por tanto la producción de oxígeno por las algas resulta siendo estratégica.

Por último la materia orgánica sedimentable que se acumula en el fondo de las lagunas como lodo sufre una descomposición anaeróbica, de forma similar a la descrita anteriormente, permitiendo una completa estabilización y reducción significativa del volumen de estos lodos.

Una cualidad que diferencia a las lagunas de estabilización de otros procesos de tratamiento su gran eficiencia en la remoción de gérmenes patógenos, ya que está basada en periodo de retención prolongada (días a semanas).

El valor de la constante de decaimiento de bacterias (K_b) representa la velocidad real a la que desaparecen las bacterias patógenas en una laguna de estabilización en función a los siguientes factores:

- **Temperatura del agua:** el incremento de la temperatura aumenta el decaimiento bacterias, presuntamente por un incremento de la actividad metabólica que genera una mayor susceptibilidad a las sustancias tóxicas y la multiplicación de los

predadores. La mayor temperatura también promueve un aumento en la concentración de algas, que mejora la eficiencia de remoción de bacterias patógenas que son anaerobias y les afecta a un ambiente oxigenado.

- **Radiación solar:** permite la formación de sustancias tóxicas de oxígeno (radicales de oxígeno libre, peróxido de hidrógeno y probablemente su peróxido y radicales hidroxilo) que dañan y destruyen a la membrana interna de las bacterias patógenas, a través del proceso de foto-oxidación favorecido por un pH elevado. La radiación ultravioleta es una bactericida muy efectiva. Por último la radiación solar también favorece la proliferación de las algas, que como antes se ha dicho, contribuyen a la remoción de las bacterias patógenas.

- **Valor de pH:** la intensa fluctuación del pH en las lagunas durante las 24 horas afectan significativamente las condiciones de las bacterias patógenas. La fotosíntesis en el día favorece el incremento del pH hasta niveles mayores de 8, valor que decae durante la noche por la respiración algal que exhala dióxido de carbono. Un valor de mayor de 9 es letal para los coliformes fecales.

- **Oxígeno Disuelto (DO):** las altas concentraciones de oxígeno disuelto generadas por la intensa actividad fotosintética tienen un efecto positivo sobre la formación de compuestos tóxicos de oxígeno. Las bacterias patógenas entéricas son anaeróbicas, por tanto son afectadas por la presencia abundante de oxígeno disuelto.

- **DBO y nutrientes:** las bacterias entéricas patógenas se alimentan del sustrato orgánico de las heces, que luego de ser diluidas en las aguas residuales generan una situación de escasez. Se estima que las últimas lagunas en una serie con poco DBO favorece la remoción de estas bacterias patógenas.

- **Competencia y prefación:** en la laguna se presenta una fuerte competencia por los nutrientes disponibles entre los organismos de la cadena trófica y los patógenos, por tanto cuando hay una escasez relativa de nutrientes, las bacterias fecales ofrecen una competencia menos fuerte que los otros organismos. Además las bacterias patógenas también pueden ser consumidas por protozoarios u otras formas más evolucionadas debidas animal. Algunos bacteriófagos específicos también destruyen organismos fecales.

• **Sedimentación:** una parte importante de las excretas transportadas por las aguas Residuales sedimentan en las lagunas, por tanto arrastran gran cantidad de gérmenes patógenos, incluyendo helmintos parásitos.

Clarificación Esta clarificación puede ser más o menos completa según la turbiedad de agua, su color y su contenido de materia en suspensión o coloidales y de materias orgánicas. Puede efectuarse en función de estos distintos factores:

- Por coagulación total, floculación, decantación y filtración
- Por coagulación parcial, micro floculación y filtración

La adicción de un coagulante al agua, disminuye el potencial electro negativo de las partículas que contiene. Puede utilizarse una dosis que anule este potencial, se obtiene así la coagulación total de los coloides que permite conseguir una clarificación óptima, después de su floculación, decantación y filtración.

También puede inyectarse una dosis pequeña de coagulante y efectuar una coagulación parcial de los coloides, formando flósculos muy finos (micro floculación) los cuales, con o sin ayudante, se retienen por filtración. De esta forma no se consigue el valor mínimo de materias en suspensión, de color o de materias orgánicas, sin embargo puede ser suficiente si el agua cruda no está muy contaminada.

2.2.2. Agua Potable

De acuerdo a (MMAyA, 2005) Se denomina agua potable o agua para consume humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de potabilización, no representa un riesgo para la salud.

El término se aplica al agua que cumple con las Normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

Cuando hablamos de agua potable hacemos referencia a aquella que ha sido debidamente tratada, encontrándose en condiciones óptimas para el consume humano.

¿De dónde proviene el agua potable?

El agua puede provenir de diferentes tipos de fuentes.

El agua natural o agua cruda, destinada a consume humano proviene de ríos lagos y vertientes (Fuentes superficiales) y de perforaciones (Fuentes subterráneas).

2.2.2.1. Fuente superficial:

Es aquella que se encuentra en arroyos, ríos, lagos, etc. El agua superficial, al estar expuesta al medio que la rodea, presenta turbiedad y color. Esto hace que sea tan importante el proceso de potabilización, previo a su entrega para consumo.

2.2.2.2. Fuente subterránea:

Es aquella que se encuentra abajo la superficie terrestre (en pozos profundos). El agua proveniente de las lluvias, que se filtra a través de las capas permeables del suelo, detiene su recorrido cuando se encuentra con una capa impermeable, formando lo que se llama "napa" o capa de agua subterránea. Estas capas se dividen en freáticas y confinadas.

Las capas freáticas se encuentran a poca profundidad y carecen de presión, por lo que al perforar un pozo no suben del nivel en que se las encuentra. No son aptas para el consume humano ya que al entrar en contacto con las aguas ya usadas por el hombre (desechos, pozos ciegos, etc.) generalmente resultan contaminadas.

Las capas de aguas confinadas, son las que están ubicadas a mayor profundidad que las freáticas, entre capas de suelo impermeables. Estas pueden clasificarse en ascendentes y surgentes. Las surgentes son aquellas que cuando se las alcanza con la perforación, ascienden a la superficie del terreno por la presión interior a que está sometido el fluido. Estas napas son aptas para el consumo.

Generalmente las aguas superficiales necesitan de un proceso específico para llegar a ser potable.

Este proceso complejo se denomina Potabilización del Agua y abarca a diferentes etapas que a continuación van a ser explicadas.

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año.

El agua de los ríos proviene principalmente de la fusión de la nieve caída durante el invierno y de la fusión de glaciares. El agua de lluvia es un aporte esporádicamente que no llueve frecuentemente.

En su camino por el lecho del río va disolviendo sales, la presencia del carbonato de calcio que la califica como “agua dura”.

Conducción: Desde la toma de agua del río hasta el pre sedimentador, el agua se conduce por medio de acueductos ó canales abiertos. Esta etapa se realiza en piletas preparadas para retener los sólidos sedimentables (arenas) que por ser más pesados caen al fondo.

Desarenador: entra a una pileta en la que sedimentan sólidos como la arena.

Floculación: De las piletas de pre sedimentación es conducida a una pileta donde se le incorpora sulfato de aluminio y cal, con el objeto de agrupar las partículas que producen la turbiedad y facilitar posteriormente su eliminación (FLOC).

Sedimentación: La sedimentación se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según la Planta potabilizadora. Allí se produce la decantación de los floculantes, que precipitan al fondo del decantador formando barro. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Filtración: pasa por un filtro de arena que retiene impurezas y partículas finas que todavía producen turbiedad. Al pasar el agua por arena, quedan retenidas las partículas finas que producen la turbiedad que quedó luego de la sedimentación en la pileta anterior.

Desinfección final: el agua limpia ingresa a una cisterna o pileta techada con conductos de ventilación en el techo. Se le agrega un desinfectante para completar la

eliminación de bacterias. Aquí se le agrega un desinfectante para eliminar las bacterias que puedan perjudicar la salud.

La desinfección se realiza con cloro gaseoso o con lavandina. La cisterna permite abastecer de agua sin interrumpir el servicio cuando en ciertos horarios se consume más agua de la que se produce. Es un efecto amortiguador.

2.3. AGUA PARA FINES DE RIEGO

2.3.1. Clasificación y Aptitud de Las Aguas para Riego

(Riego Senari, 2010) El desarrollo de la agricultura está basado en la disponibilidad de agua que exista, tanto en cantidad como calidad. La calidad de agua es importante para determinar las láminas de riego, frecuencia de riego y tratamientos a realizarle para un mejor aprovechamiento.

En los campos agrícolas factores como clima, estructura física del suelo, mineralogía de arcillas, sistema de producción o cultivo establecido determinan el nivel de restricción que puede tener cierto tipo de agua.

Por lo anterior, se considera que los criterios para clasificar el agua no deben ser tan rígidos y deben basarse en las condiciones propias de cada caso. Parámetros de clasificación del agua Las principales variables utilizadas para clasificar la calidad del agua desde una perspectiva agrícola son: Salinidad. Parámetro que se mide mediante la conductividad eléctrica (CE) y que se reporta como dS/m.

También se puede reportar como sólidos disueltos totales (TDS) y se reporta en mg/L. En la práctica para manejar aguas con elevadas concentraciones de sales, es necesario dar los riegos con mayor frecuencia y un ligero excedente (depende de la magnitud de la salinidad y del cultivo) que ayude a remover el exceso de sales. Un mal manejo de aguas con alta concentración de sales puede ocasionar baja disponibilidad de agua para los cultivos y por lo tanto disminución en el rendimiento. Las condiciones específicas de cada sitio juegan un papel importante para predecir el riesgo que existe de salinizar un suelo al utilizar agua con altas concentraciones de sales, ya que condiciones de limitada precipitación o lluvias erráticas y escasas

resultan más riesgosas que en aquellas donde la precipitación está por arriba de 600 mm.

En la actualidad con el riego por goteo y cultivos hidropónicos bajo invernadero es posible obtener rendimientos aceptables con aguas salinas, siempre y cuando sean manejados.

El uso o no de un agua en la agricultura dependerá de su calidad y el cultivo que se pretenda establecer (INTAGRI, 2001-2017).

2.3.2. Restricciones en el uso del agua para riego

Según FAO (1985), Para la valoración de la utilización de agua para el riego se dan directrices para su clasificación en base a la observación los síntomas en las plantas indiquen una determinada reacción ante las sales. Se presentan tres grados de restricciones: ninguna, ligera o moderada y alta.

a) Salinidad: Las sales presentes en el agua o en el suelo reducen la disponibilidad de agua para el cultivo, provocan un estado de marchitamiento y afectan por tanto a los rendimientos, a partir de 0,7 dS/m de CEa se produce riesgo para los cultivos más sensibles a las sales.

b) Infiltración: Un contenido relativamente alto de sodio o relativamente bajo de calcio en el agua o en el suelo reduce la velocidad a la cual el agua de riego se infiltra, hasta el extremo de, en situaciones graves, no poder abastecer al cultivo de manera adecuada.

Los problemas más frecuentes relacionados con una baja infiltración suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura. Los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que taponan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad (IAGUA, s.f.).

El parámetro utilizado para determinar el riesgo que supone el sodio es el RAS (Relación de Adsorción de Sodio). Esta medida indica la cantidad de sodio en el agua de riego en relación con los cationes calcio y magnesio.

c) Toxicidad de iones específicos

Algunas sales, cuando se acumulan en cantidad suficiente, resultan tóxicas para los cultivos u ocasionan desequilibrios en la absorción de nutrientes. Veamos a continuación las principales.

Sodio: Para la mayoría de las plantas cultivadas no se ha demostrado que el sodio (Na^+) sea esencial. Los síntomas de toxicidad del sodio en las hojas son manchas necróticas de color pardo.

El efecto perjudicial del sodio sobre los cultivos es, en la mayoría de los casos, indirecto, debido a la influencia negativa que tiene este catión sobre la estructura del suelo como ya ha sido comentado.

Cloro: El cloro es uno de los elementos que más abundan en el agua de riego. Éste aparece como anión cloruro (Cl^-). El cloruro es indispensable para el desarrollo de la planta pero cuando su concentración es muy alta, el cloruro puede convertirse en un elemento tóxico.

Boro: El boro es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas. Sin embargo la diferencia entre la concentración requerida por la planta (0,3-0,5 meq) y la toxicidad (0,6-1,0 meq) en la mayoría de las plantas cultivadas) es muy pequeña, por lo que se debe tener especial cuidado con este elemento. Los síntomas de toxicidad se presentan generalmente como zonas amarillentas en las hojas, parecidas a quemaduras, partiendo de las puntas y difundiéndose hacia la base.

pH: Cuando el suelo presenta una alta concentración de iones hidrógeno [H^+], se considera ácido y cuando presenta una baja concentración se considera básico.

El valor del pH de un suelo suele oscilar entre 4 y 9. Los suelos que menos problemas dan para los cultivos son los de pH comprendido entre 6,0 y 7,5, ya que los nutrientes de las plantas en general presentan su máxima solubilidad en este intervalo. A medida que el valor del pH se aparta de dicho intervalo pueden presentarse los problemas de asimilación de nutrientes (IAGUA, s.f.).

2.4. AGUAS RESIDUALES

(Eddy, 1979), las Aguas Residuales son el resultado de la utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso, el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Dependiendo del tipo de utilización, las aguas residuales presentan características muy diferentes.

En especial, existe una gran diferencia entre las aguas residuales urbanas o domésticas, originadas en el uso del agua en las casas, y las aguas residuales industriales, provenientes de instalaciones fabriles.

Entre estas últimas la diversidad es muy acusada, ya que la alteración de propiedades del agua resultante del uso industrial puede variar entre contaminación puramente física (como ocurre en la contaminación térmica que presentan las aguas de refrigeración) hasta contaminación bioquímica de gran complejidad (aguas que reciben efluentes de industrias farmacéuticas o químicas).

Cualquier a que sea su procedencia, las aguas residuales plantean una amenaza para el medio ambiente, ya que modifican las características iniciales del medio natural donde se produce su descarga.

La importancia de esta amenaza depende de sus propiedades, es decir, su composición y cantidad. Por tanto, antes de escoger un método de tratamiento, el primer paso consiste en averiguar lo más exactamente posible todas las características del agua residual a tratar.

En el caso de las lagunas de estabilización, las aguas residuales son en su práctica totalidad de tipo urbano. Esto se debe a que, como veremos más adelante, el lagunaje es un método biológico de tratamiento sensible a la presencia de tóxicos originados en algunas actividades industriales.

Por tanto, en este capítulo nos centraremos en la descripción de las propiedades y características del agua residual urbana, que va a constituir nuestra materia prima en las instalaciones de depuración por lagunaje.

2.4.1. Características de las Aguas Residuales Urbanas

(MOPT, 2010) Uno de los datos fundamentales a la hora de proyectar una planta de tratamiento es la cantidad de vertido por unidad de tiempo que va a llegar a la instalación. Esta cantidad o caudal depende de la población servida por la planta de tratamiento y de las costumbres en relación al uso de agua.

Por ejemplo, para la misma población se observa que la cantidad de agua utilizada por día es mayor en pueblos que no tienen instalado un sistema de contadores individualizado.

El caudal del agua residual suele estimarse en función del caudal de agua potable suministrado a la red por los servicios municipales. Para hacer esta estimación se tiene en cuenta que existen una serie de pérdidas que provocan que el caudal de aguas residuales generado sea inferior al de agua potable suministrada (MOPT, 2010)

Estas pérdidas se deben, fundamentalmente, al estado de la red. Cuando ésta se encuentra en mal estado se producen infiltraciones importantes en el subsuelo. Otras posibles pérdidas se deben a usos del agua en los que no se produce su reincorporación al alcantarillado, como ocurre en los riegos

Por tanto, la fracción de agua facturada por el municipio que llega a la planta de tratamiento varía de pueblo a pueblo en función del estado de la red y del uso del agua por la población. En general, se considera que un 60-80 % del agua potable se transformará en agua residual (Eddy, 1979).

Suponer o no de sistemas que permitan separar las aguas de lluvia de las aguas residuales. En el primer caso, la red se llama separativa, ya que las aguas pluviales se incorporan a distintas conducciones y, en consecuencia, nunca llegan a la planta de tratamiento de residuales.

En el segundo caso, la red se llama unitaria. Esta diferencia es muy importante cuando se proyecta la planta depuradora, puesto que para las redes unitarias durante los períodos lluviosos hay un aumento de caudal a tratar acompañado por

una reducción en la carga orgánica por unidad de volumen, es decir, una dilución del agua residual ocasionada por la incorporación a ésta del agua de lluvia.

En consecuencia, la instalación debe tener la capacidad para encajar tanto la punta de caudal como el efecto de dilución del agua residual (Eddy, 1979).

2.4.2. Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

2.4.2.1. Por tipo de proceso:

- **Procesos físicos:** Remoción de Material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentado primario, espesadores y filtración.
- **Procesos químicos:** Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección.
- **Procesos biológicos:** Se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de los microorganismos. Eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del N y P y producción de gases.

2.4.2.2. Por el grado de tratamiento:

a) Tratamientos preliminares

- **Cribado:** Rejas o rejillas de barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas. Su función es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua. Pueden ser de limpieza manual (gruesas) o de limpieza mecánica (finas).
- **Tamices estáticos:** Es un filtro utilizado para la separación sólido-líquida en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.). Este equipo se instala como pre tratamiento en aguas industriales, con luces de 0,5 a 1 mm, para eliminar los gruesos en industrias papeleras, textiles, de curtidos, lavaderos, conserveras, mataderos y lácteas. El tamiz estático también se emplea como tratamiento primario en aguas urbanas, con luces de malla de 1 a 1,5 mm.
- **Trituradores de canal:** Reduce los sólidos de aguas servidas con sus poderosos trituradores dobles y una avanzada tecnología de barrido. Se emplean para triturar los sólidos gruesos con objeto de mejorar las

operaciones y procesos que se llevan luego a cabo y para eliminar los problemas que producen los diferentes tamaños de los sólidos presentes en el agua residual.

- Los sólidos se trituran para conseguir partículas de tamaño menor y más uniforme. Su empleo resulta especialmente ventajoso en las estaciones de bombeo para la protección de las bombas frente a problemas de obstrucciones producidas por objetos de gran tamaño, y para evitar tener que manejar y eliminar manualmente residuos.

- **Homogenización o tanques de igualación:** Son tanques que sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales.

Estos tanques son indispensables en el tratamiento de las aguas residuales industriales y a veces se utilizan en las instalaciones municipales. Un tanque de igualación es un depósito con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobre pasa un determinado valor.

- **Desarenadores:** Estructuras destinadas a remover arenas y otros guijarros presentes en las aguas residuales. Los desarenadores pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no; de limpieza manual o mecánica. Tienen como función prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas en tuberías, canales y tanques ubicados aguas abajo.

b) Tratamientos primarios: Reducen los sólidos en suspensión del agua residual.

- **Sedimentación:** La sedimentación es un proceso físico que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas. Los sólidos, más pesados que el agua, se precipitan produciéndose su separación del líquido. La sedimentación primaria aplica para partículas floculantes (con o sin coagulación previa). Los sedimentadores pueden ser circulares o rectangulares.

- **Flotación:** Es un proceso utilizado para la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido. En el tratamiento de las aguas residuales se utiliza para remover aceites y grasas y también para aglutinar sólidos suspendidos.

La separación se consigue por flotación simple o introduciendo burbujas muy finas de aire en la masa líquida para que arrastren las partículas suspendidas hacia la superficie (DAF).

- **Coagulación:** Es el proceso por el que los componentes de una suspensión o dilución estables son desestabilizados por suspensión de las fuerzas que mantienen su estabilidad, por medio de coagulantes químicos.

c) Tratamientos secundarios:

Remoción de la DBO soluble y de sólidos suspendidos que no son removidos en los procesos anteriores; aproximadamente el 85% de DBO y SS, aunque la remoción de nutrientes, nitrógeno, fosforo, metales pesados y patógenos es baja. Las reacciones que generan estos procesos son generalmente biológicas.

- Sistema de biomasa en suspensión –Lodos activados. El nombre del proceso se deriva de la formación de una masa de "microorganismos activos" capaz de estabilizar un desecho orgánico bajo en condiciones aeróbicas. El ambiente aeróbico se logra mediante aireación difusa o mecánica en un tanque de aireación. Después de tratado el residuo en el tanque de aireación, la biomasa es separada en un sedimentador secundario. (Lockett, 1914).

En esencia es la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, a medida que las bacterias reciben el oxígeno, consumen la materia orgánica del agua residual y la transforma en sustancias más simples. Este caldo bacteriano recibe el nombre de lodo activado. La mezcla de lodos activados y agua residual recibe el nombre de licor mezclado que se lleva a un tanque de sedimentación para su purga.

- **Sistema de biomasa adherida:** Los microorganismos se encuentran pegados a un medio de soporte que puede ser de plástico, piedra o cualquier otro material inerte. Dependiendo de las condiciones ambientales que rodean el

medio de soporte, los sistemas de biomasa adherida pueden ser aeróbicos o anaeróbicos (Lockett, 1914).

2.5.2. La capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua

Cuando se trató el tema del rehusó indirecto, se explicó que muchas aguas residuales son descargadas a los cuerpos de agua naturales como ríos, lagos y mar, generando una contaminación de dicho cuerpo que puede afectar su uso posterior en diversas actividades.

Sin embargo, existe la percepción de que apenas las aguas son vertidas a estos cuerpos naturales, automáticamente son depuradas y por tanto se pueden usar sin mayores problemas.

Es necesario entender que la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua es finita, y no se puede esperar que la naturaleza pueda asimilar en forma ilimitada todo tipo y cantidad de contaminantes.

La autodepuración es el proceso complejo de recuperación de un cuerpo de agua después de un episodio de contaminación. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos, sedimentados y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, mientras que los químicos pueden precipitar según el Río torrentoso muy oxigenado caso, recuperando así la estabilidad del cuerpo de agua. En una primera instancia, se tiene que el vertimiento sufre una dilución que permite reducir las concentraciones de los contaminantes (Lockett, 1914).

Paralelamente se produce una sedimentación de las partículas y sólidos sedimentables. Luego en el recorrido de los ríos o el esparcimiento en lagos y mares estas aguas residuales pasan por un proceso de degradación biológica de los compuestos orgánicos disueltos, favorecidas por la capacidad de oxigenación del cuerpo de agua.

También se pueden producir procesos de precipitación de ciertos compuestos químicos y metales pesados, que también contribuye a reducir las cargas contaminantes.

Todos estos procesos van a depender de muchos factores, tales como los caudales y volúmenes de dilución, la capacidad de oxigenación según el régimen torrencioso o calmo de las aguas y de la temperatura del agua que determina la actividad biológica, entre otros.

En suma, todo cuerpo de agua tiene una capacidad de autodepuración, pero esta no será igual en un riachuelo que un gran río caudaloso como el Amazonas, ni tampoco será igual en la época desavenida y de estiaje. Por ello resulta difícil y hasta cierto punto riesgoso supeditar la depuración total de las aguas residuales a la capacidad de autodepuración de un cuerpo receptor.

Es más seguro establecer estándares de calidad de agua (ECA) según el tipo de uso que tienen estos cuerpos de agua, y que finalmente determinaran el nivel de tratamiento de las aguas que se viertan en ellos. El uso del 100% de las aguas residuales en el riego agrícola libera de algún modo de este requisito establecido para los vertimientos, y en ese caso dependerá de las exigencias de cada tipo de cultivo, ya que tampoco es igual regar hortalizas que árboles (Lockett, 1914).

2.5.3. Estrategias para mejorar la calidad del agua para riego

El vertimiento de desagües domésticos sin tratamiento a los ríos ha determinado que en muchas zonas agrícolas se utilicen aguas contaminadas para el riego de cultivos de hortalizas, condiciona la que se enfrentan la mayoría de agricultores urbanos y peri-urbanos de las ciudades más grandes.

Este círculo vicioso se cierra al ofertar a estas mismas ciudades estos alimentos contaminados producidos, que finalmente generan serios problemas de salud en la población más pobre y vulnerable.

El Instituto del Agua de la ONU estima que existen a nivel mundial 20 millones de hectáreas, y a nivel de América Latina 500,000 hectáreas regadas con aguas que contienen aguas residuales (Water, 2013).

Se esperaría que este problema se resuelva definitivamente cuando todas las aguas residuales generadas se logren tratar, pero este proceso es aún lento en el país, era necesario buscar alternativas inmediatas que reduzcan la contaminación del agua

utilizada en el riego de productos agrícolas, especialmente de hortalizas de consumo crudo.

Es por ello que el Programa de Cosecha Urbana del Centro Internacional de la Papa (CIP) entre 2005 y 2007 evaluaron la calidad de agua utilizada en las zonas agrícolas. La concentración de coliformes fecales superaba más de cinco mil veces los límites permitidos para agua de regadío en hortalizas. Resultando en que más del 30% de hortalizas no eran aptas para el consumo humano (Flores, 1991).

Es así que la implementación de sistemas de tratamiento del agua de río basados en el uso de reservorios permitió promover una agricultura regada con agua de buena calidad, sustentando una producción de hortalizas sanas que no afecte la salud de los consumidores.

2.5.4. Las tecnologías de tratamiento utilizadas

La tecnología utilizada en el tratamiento de las aguas residuales define la calidad sanitaria del efluente y por tanto las posibilidades y tipo de rehusó, las tecnologías utilizadas en las plantas identificadas, que como se puede observar en realidad son combinaciones de diferentes procesos tecnológicos de tratamiento.

Se puede apreciar que el 73% de las PTAR incluyen en su proceso de tratamiento algún tipo de laguna desde solo una laguna facultativa primaria, dos o más facultativas, lagunas anaeróbicas con facultativas y de pulimento, hasta lagunas aireadas con facultativas y de pulimento.

El sistema más importante es la combinación de lagunas facultativas primarias y secundarias utilizado en el 48% de las PTAR que manejan el 25% del caudal tratado, seguido por las lagunas primarias que constituyen otro 28% de las PTAR, aun cuando solo tratan el 5% del caudal nacional. Si bien el proceso de lodos activados solo representa el 5% de las PTAR, ya maneja el 9% del agua tratada y representa una tecnología que se está incorporando aceleradamente sobre todo en las ciudades más grandes.

2.6. CLASIFICACIÓN HISTÓRICA DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

(Oakley, 2015), este enfoque de ingeniería lineal establece que el afluente o crudo recolectado por el sistema de alcantarillado debe ser trasladado a la planta de tratamiento (PTAR) para pasar por varias de las etapas siguientes:

- **Pre-tratamiento:** Que permite la retención de sólidos gruesos y arenas mediante cribas rejillas y desarenadores respectivamente.
- **Tratamiento primario:** que básicamente es un proceso para sedimentar sólidos finos mediante un sedimentador primario (tanques sépticos).
- **Tratamiento secundario:** que busca remover los sólidos disueltos, generalmente bajo la forma de materia orgánica soluble (DBO soluble). Normalmente el efluente de esta tercera etapa alcanzaba los niveles de calidad en sólidos y DBO, normados para disponerlos en los ambientes naturales.
- **Tratamiento terciario:** para efluentes que no son aptos para su disposición por tener elevadas concentraciones de patógenos y nutrientes, que pueden impactar a la salud y el ambiente. Se trata de procesos para la remoción de los nutrientes y ahora incluyen la desinfección.
- **Tratamiento de lodos:** los lodos generados en el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales son estabilizados y deshidratados para su disposición final, mediante espesadores, digestores y lechos de secado.

En principio todas las plantas deben tener los procesos considerados en el pre-tratamiento (cámaras de rejillas y desarenadores), que al retener los sólidos gruesos y arenas favorecen las siguientes etapas del tratamiento (Oakley, 2015).

Algunos proyectistas consideran que las lagunas pueden retener directamente estos sólidos, por tanto proponen eliminar el pre-tratamiento, alternativa que no debe ser aceptada porque genera formación de conos de estos sólidos en los puntos.

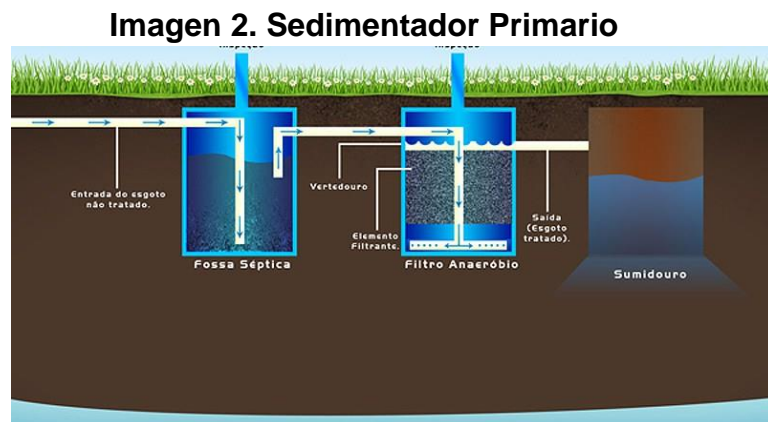
El tratamiento primario está orientado principalmente a retirar la materia sólida fina de las aguas residuales, orgánica o no, mediante un dispositivo de sedimentación donde se depositen los materiales para su posterior eliminación.

Existen varios sistemas que realizan la sedimentación, tales como los tanques sépticos, sedimentadores primarios, tanques de flotación y tamices rotatorios. Esta sedimentación puede reducir de 20 a 40 % de materia orgánica y 40 a 60 % los sólidos (Oakley, 2015).

2.6.1. Cámara de rejas y desarenador

2.6.1.1. Sedimentador primario

(Wagner, 2010) Indico, el tratamiento secundario está orientado a la remoción de la materia orgánica disuelta mediante procesos biológicos realizados por biomasa de bacterias en suspensión o adheridas a sustratos, bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas. En ese sentido hay que destacar los dos grandes grupos de procesos aeróbicos y anaeróbicos.



Fuente: Google, (2018).

Los procesos aeróbicos son realizados por bacterias que demandan de oxígeno para degradar la materia orgánica. Pueden utilizar el oxígeno natural atmosférico o disuelto en agua (lagunas de pulimento, biofiltros) o el generado artificialmente por aireación oxigenación (lagunas aireadas, lodos activados, zanjas de oxidación) (Wagner, 2010)

El proceso más representativo son los lodos activados, que reciben aireación inyectada por sopladores o mezcladores, estos sistemas aeróbicos son:

El control efectivo de olores desagradables, ya que el proceso de degradación de la materia orgánica utilizando oxígeno no genera compuestos finales que tengan mal olor.

- Requieren de un área reducida cuando se aplica aireación artificial en procesos como los lodos activados, por tanto permiten implementar plantas compactas en un terreno relativamente pequeño.
- Permiten obtener efluentes muy clarificados por su alta eficiencia en remoción de sólidos y materia orgánica, lo que podría ser más adecuados para los métodos de riego presurizados que deben filtrar el agua antes de inyectarse en el sistema para evitar las obstrucciones de los dispositivos de entrega.

2.6.2. Clarificación por coagulación total, floculación, decantación y filtración

(Orellana, 2005) Indico, este tratamiento se aplica a las aguas que presentan una o varias de las características siguientes:

- Contenido de materias en suspensión que exceda de 20 a 40 k/m³ durante todo o parte del año.
 - Color superior a 30 mg/l de Pt-Co (existen otros tratamientos, que se ven más adelante, que pueden utilizarse cuando el único defecto del agua se el exceso de color).
 - Contenido elevado de materias orgánicas, que quiere reducirse al mínimo.
 - Contenido de metales pesados superior a la concentración máxima recomendada.
 - Presencia abundante aún en el caso de que se temporal de planeación
- Efectivamente, este tratamiento combinado

Con una precloración es el único que puede reducir del 95 al 99 % eliminándose el resto por filtración.

Esta clarificación puede realizarse siguiendo diferentes esquemas de acuerdo con la importancia de las materias en suspensión contenidas en el agua.

Cuando se tiene aguas muy turbias, es decir que los contenidos de materias en suspensión puedan ser superiores a los 2.000 a 3.000 g/m³ durante un tiempo prolongado, es necesario prever:

- Una decantación en una etapa, un decantador flocculador de rasquetas, es decir de limpieza mecánica. Este procedimiento solo es admisible si el contenido máximo no es demasiado grande y no da lugar a un volumen de fangos excesivos que sobre pase la capacidad de purga del decantador. Las velocidades ascensionales generalmente varían de 1 a 1,50 m/mm.
- O una decantación en dos etapas: un decantador de desbaste (pre decantador), seguido de un decantador propiamente dicho. Con esta instalación puede tratarse las aguas más cargadas de arcilla.

El pre decantador, para ser eficaz, no debe considerarse como un desarenador. Si el contenido de arena es grande, debe eliminarse previamente hasta un diámetro de 0,1 a 0,2 mm, ya que, en caso contrario, el dispositivo de rascado del decantador se vería expuesto a atascos y desgastes.

En el caso de un contenido elevado de materias en suspensión y para conseguir, sin reactivos, una reducción suficiente de las mismas en el agua de entrada, debe preverse un decantador sobre dimensionado.

Si se adopta un decantador de dimensiones más pequeñas, puede ser suficiente durante los períodos de turbiedad media, un simple funcionamiento estático, pero durante los períodos de punta (más de 5.000 a 10.000 g/m³), deberá efectuarse una primera inyección de coagulante y/o flocculante, en una dosis inferior a la determinada por el ensayo de flocculación con lo que se conseguirá el desbaste deseado, con una velocidad ascensional relativamente alta.

Esta velocidad ascensional, esencialmente, es función de la naturaleza de las materias que deben eliminarse, de su contenido, del volumen de fangos que producen y de la dosis de coagulante inyectado.

En el período de crecida puede ser necesario añadir también un reactivo neutralizante para corregir el pH del agua. Este reactivo puede no ser útil durante el resto del tiempo.

El segundo decantador recibe por tanto, un agua de calidad que varía dentro de unos límites aceptables y puede dar siempre, después de una coagulación total y floculación, un agua decantada de buena calidad.

En el esquema de instalación descrito, la utilización de una inyección de reactivos en dos fases, durante los períodos de punta, no da lugar a una sobre dosificación de coagulante con relación a una inyección en una sola fase.

Sin embargo, debe estudiarse cuidadosamente la dosificación de reactivos, para poder hacer frente a puntas cuya amplitud puede variar de un años otro. Es necesario, por tanto, un buen conocimiento del agua o un amplio margen de seguridad en la capacidad de los dosificadores (Orellana, 2005).

Cuando la turbiedad en las aguas es media, es decir de 20 a 2.000 o 3.000 g/m³, en general es suficiente una coagulación total combinada con un floculador y una decantación en una sola etapa. Puede efectuarse en un floculador, seguido de un decantador estático, o en un decantador floculador de rasquetas, de recirculación de fangos o de lecho de fangos (Orellana, 2005)

Para obtener el resultado óptimo de decantación, debe ajustarse, con la mayor precisión la dosificación del reactivo coagulante y el pH de floculación, corregido eventualmente por un reactivo de neutralización.

La utilización de un ayudante de floculación es casi siempre beneficiosa, pues aumenta la velocidad de sedimentación, y se obtiene gracias a ello, en todo momento, un agua mejor clarificada. La experiencia demuestra que, a igualdad de calidad de agua tratada, no hay ayudante con el que se consiga disminuir la dosis de coagulante.

Si se acepta una calidad inferior de agua, manteniéndose dentro de los límites de las normas oficiales, puede reducirse la dosis de coagulante, con o sin empleo de ayudante.

Por último para que se óptima la eficacia de los distintos reactivos, es preciso que se efectúe la floculación en un medio concentrado de flósculos; en esto se basa el empleo de los decantadores floculadores, en los que se tiene la mayor concentración posible de fangos floculados. (Orellana, 2005).

Puede preverse un floculador clásico, seguido de un decantador con el tiempo de retención corto, con este conjunto puede obtenerse un agua de la calidad exigida por las normas, aunque no se alcance la calidad óptima.

Este tratamiento de clarificación por coagulación total, floculación, decantación en una etapa y filtración es, sin duda, el más frecuentemente empleado, es compatible con el empleo simultáneo de tratamientos complementarios, como son la de sertización, desmanganización, u otro proceso necesario.

Ofrece la ventaja de poder utilizarse de forma completa durante una parte del año y funcionar con coagulación parcial sobre filtro, el resto del año, el decantador queda entonces fuera del tratamiento utilizándose como simple depósito de contacto, antes de la filtración, en el caso de que se efectuara una precloración.

Cuando las aguas se mantienen en forma constante poco cargadas, es decir menos de 20 a 40 g/m³, con poco color, y un contenido bajo de materias orgánicas, hierro y manganeso, puede tratarse por coagulación parcial, seguida de filtración.

Generalmente la adición del coagulante exige un cierto tiempo de contacto antes de que el agua llegue a los filtros, mientras que la del ayudante de floculación, debe efectuarse a su entrada.

La dosis de coagulante fija la turbiedad final, después de la filtración, y el papel del ayudante consiste en hacer más lenta la penetración, en el lecho filtrante, de los flósculos muy finos y con poca cohesión.

Este tipo de tratamiento se utiliza solamente con aguas poco contaminadas, ya que el grado de reducción de materias orgánicas es más bajo que en el tratamiento de coagulación total, por lo que si se aplica este procedimiento con aguas muy cargadas, la calidad filan del agua no sería aceptable.

También viene limitado este tratamiento por la capacidad máxima de retención de los filtros, pudiendo aumentar esta capacidad empleando una capa de gran altura o lechos de varias granulometrías (Orellana, 2005).

2.7. NORMATIVA EXISTENTE RESPECTO AL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y RIEGO

2.7.1. Ley 1333 de Medio Ambiente

La Ley 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. MMAyA (1992).

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

1. Reglamento General de Gestión Ambiental (RGGA).
2. Reglamento de Prevención y Control Ambiental (RPCA).
3. Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA).
4. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH).
5. Reglamento para Actividades con Sustancias Peligrosas (RASP)
6. Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos (RGRS)

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

2.7.1.1. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales

- **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 rehusó 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:

2.7.2. Ley de Riego N° 2878

Según (MMAyA, 2004) 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.

2.7.3. Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales

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. (MMAyA , 2013)

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 afro bolivianas, conforme a ley.

Adoptar, innovar y desarrollar prácticas y tecnologías para el uso eficiente, la captación, almacenamiento, reciclaje y tratamiento de agua (MMAyA , 2013).

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.

2.7.4. SISTEMATIZACIÓN SOBRE TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo es 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.

2.8. MARCO INSTITUCIONAL PARA EL REÚSO DE AGUAS SERVIDAS.

Existen varios actores que tienen que ver con el reuso de las ARD tratadas, tanto a nivel central como a nivel regional, cuyas competencias están establecidas en el ordenamiento legal vigente en Bolivia. Las instituciones y órganos de gobierno conforman un marco institucional que hace al manejo actual del agua de reuso.

2.8.1. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (creado el año 2009 D.S 29894) con sus tres viceministerios:

Agua Potable y Saneamiento Básico, Recursos Hídricos y Riego, y Medio Ambiente Biodiversidad Cambio Climático y Gestión Forestal, es la instancia gubernamental encargada de la política, normas y desarrollo del sector agua en Bolivia.

De acuerdo al Plan Estratégico Institucional, la visión del MMAyA es promover, proteger y administrar de manera sustentable los recursos y servicios ambientales, generando condiciones para el desarrollo económico y social del país.

Para cumplir con esta visión, la misión del MMAyA es desarrollar y ejecutar políticas públicas, normas, planes, programas y proyectos para la conservación, adaptación y aprovechamiento sustentable de los recursos ambientales, así como el desarrollo de riego y saneamiento básico con enfoque integral de cuencas, preservando el medio

ambiente, garantizando el uso prioritario del agua para la vida, respetando usos y costumbres para “VIVIR BIEN”.

Este escenario otorga las condiciones para la implementación de proyectos integrales de aprovechamiento de agua.

2.8.2. Vice ministerio de Recursos Hídricos y de Riego (VRHR)

Su principal función es la de contribuir al desarrollo y ejecución de planes, políticas y normas de Manejo Integral de Cuencas y de Riego, además del diseño de estrategias para la conservación, uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos con los diferentes actores involucrados en la gestión ambiental de las cuencas hidrográficas, respetando los usos y costumbres.

2.8.3. Servicio Nacional de Riego (SENARI)

Es una entidad pública autárquica bajo la tuición del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, con la responsabilidad de regular, planificar y promover la inversión y gestión pública para el desarrollo del riego y la producción agropecuaria y/o forestal bajo riego.

2.8.4. Actores sub nacionales para el rehúso

Bolivia se encuentra en proceso de implementación de las autonomías regionales, departamentales municipales y Autonomías Indígenas Originarias Campesinas (AIOC).

Este proceso de autonomías se enmarca en dos tipos de competencias que tienen que ver con los recursos hídricos y riego, además del agua potable y servicios básicos; las competencias exclusivas y las concurrentes.

En la tabla 2 se puede observar las responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Departamentales (GAD) y la de los gobiernos Autónomos Municipales (GAM).

CAPÍTULO III

La propuesta está en la clarificación de las aguas residuales domesticas para la reutilización de estas aguas para riego y otros tipos de actividades.

3.1 TITULO DE LA PROPUESTA

Clarificación de las aguas residuales del Instituto Tecnológico Superior Mirikiri para fines de riego.

3.2. LOCALIZACION

La Cuarta Sección de la Provincia Pacajes con capital Comanche pertenece al Departamento de La Paz. Se encuentra ubicada al noreste de la Provincia Pacajes y al sudoeste de la ciudad de La Paz (mapa 1) a una distancia de 70 km. La ruta de acceso a Comanche es a través de la carretera troncal La Paz – Charaña.

El municipio de Comanche se encuentra situado entre las coordenadas 16°45'49"-17°5'19" de Latitud Sur y 68°2'27"-68°35'43" de Longitud Oeste (PDM, 2001 - 2005).

Mapa 1. Imagen de ubicación Municipio de Comanche



Fuente: Google, (2018).

3.2.1. Límites Territoriales

El Municipio de Comanche tiene los siguientes:

- Al norte con el Municipio de Viacha de la Provincia Ingavi,
- Al sur con el Municipio de Coro coro de la Provincia Pacajes.
- Al oeste con el Municipio de Caquiaviri de la Provincia Pacajes.
- Al este limita con los Municipios de Colquencha y Collana, ambos de la Provincia Aroma.

3.2.3. Extensión

Según SEMTA (1994) la Provincia Pacajes tiene una extensión territorial de 10.584 km². El municipio de Comanche tiene una superficie aproximada de 483,44 km², distribuido en 5 cantones, 4 de los cuales cuentan con límites y jurisdicción definida tal como muestran.

El Municipio de Comanche está conformado por los Cantones Ballivián, Comanche, Cantuyo y Rosas Pata.

3.3 PROPOSITO DE LA PROPUESTA

CLARIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DEL INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR MIRIKIRI

3.4 ETAPAS DEL PROYECTO

FASE 1

En esta fase de inicio fue la excavación de lugar de drenaje de estas aguas para colocar una cañería y direccionar a un envase para la recolección de las aguas residuales (Ver Fotografía 1,2, y 3).

FOTOGRAFÍA 1. Fosa para recolección de aguas grises



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FOTOGRAFÍA 2. Conexión de tubo PVC a la Fosa



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FOTOGRAFÍA 3. Fosa de con envase de recolección de aguas servidas



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FASE 2

Una vez recolectada se le pasa a un tanque llamado sedimentador para que cumpla una de las primeros procesos del sistema, en esta paso lo que se izó fue recolectar 100 litros de las aguas y dejar reposar cada 20 minutos para que vaya sedimentado por capas el total de la espera fue de tres horas (Ver Fotografía 4).

FOTOGRAFÍA 4. Tanque sedimentador



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FASE 3

Una vez sedimentada se pasa por el siguiente proceso que es de la criba en esta etapa pasa por una cañería en donde cumple la función de cernir partículas que se quedaron en la superficie del agua (Ver Fotografía 5).

FOTOGRAFÍA 5. Vista de la Criba



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FASE 4

Una vez ya pasado por el proceso de la criba, ahora pasa por el clarificador esta paso es el más importante de todas es donde el agua pasa por diferentes etapas.

La construcción del filtro se comienza con un envase de plástico de una dimensión de 20 litros la primera capa de 20 cm de algodón desmenuzando para que quede todo cubierto (Ver Fotografía 6).

FOTOGRAFÍA 6. Clarificador de aguas grises



Fuente: Elaboración propia, (2018).

La siguiente capa es la colocación de carbón activo vegetal desmenuzado de unos 2 a 3 centímetros de tamaño (Ver Fotografía 7).

FOTOGRAFÍA 7. Colocado capa de carbón activo



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Siguiente capa de 20 cm consiste de la grava de 5 a 6 cm de tamaño esto debe estar debidamente lavadas y desinfectadas (Ver Fotografía 8 y 9).

FOTOGRAFÍA 8. Grava debidamente lavadas y desinfectadas



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FOTOGRAFÍA 9. Desinfección Piedrecillas de 1 a 2 Cm



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Una vez colocada la grava lo que sigue es las piedrecillas de unos 1 a 2 cm de tamaño esto tiene que ser lavados y desinfectados como lo mencionamos anteriormente (Ver Fotografía 10).

FOTOGRAFÍA 10. Capa de piedrecillas



Fuente: Elaboración propia, (2018).

Una vez colocada ahora viene el último paso que es la colocación de la arena fina limpia de 30 cm de capa (Ver Fotografía 11).

FOTOGRAFÍA 11. Colocación de la arena fina



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FASE 5

En esta fase se procedió con el funcionamiento del sistema clarificador y ver cada paso del sistema después sacar lo que se esperaba del sistema el del agua clarificada.

De este proceso se tomó muestras de 2 litros y respectivamente se mandaron a analizar para corroborar si el agua clarificada se pueda usar para riego de cultivos (Ver Fotografía 12).

FOTOGRAFÍA 12. Funcionamiento del sistema de clarificación de aguas



Fuente: Elaboración propia, (2018).

FASE 6

De acuerdo a la NB 496 define como muestra de agua la fracción significativa y representativa de una masa mayor de agua que conserva sus propiedades y características.

En el presente trabajo se tomó en cuenta los procedimientos de toma de muestras de la norma NB 496 muestra simple para determinar parámetros físicos químicos (MMAyA, 2007).

- En la cual señala que se debe hacer el enjuagar el frasco dos a tres veces con la misma muestra.
- Llenar el frasco hasta que rebalsé evitando el contacto con la boca del frasco.

- Tapar el frasco con sumo cuidado para que no se produzcan burbujas en su interior.
- Registrar en las planillas de muestreo la fecha y hora.
- Transportar los frascos en conservadores con hielo.

FASE 7

Se instaló un tanque de 10.000 litros para almacenar el volumen agua clarificada en el sistema de purificación de aguas servidas.

3.5 RESULTADOS E INTERPRETACION DE DATOS

3.5.1. Volúmenes de aguas grises generados por el comedor.

Tabla N° 1. Volumen de las aguas grises generadas por el comedor del ITSM

N°	Actividad	Horas del día	Volumen generado Litros/día
1	Aseo de utensilios	Desayuno	57
2	Aseo de utensilios	Almuerzo	100
3	Aseo de utensilios	Te y cena	157
TOTAL			314

Fuente: Elaboración propia, (2018)

Según la Tabla 1, los volúmenes generados aguas residuales son de 57 litros en la mañana después del desayuno al momento de asear los utensilios que se utilizó para el desayuno.

También al medio día se pudo observar que son utilizados 100 litros de agua para el aseo de platos, ollas etc.

Y en el transcurso de la tarde se usa la misma cantidad, para el té y la cena es de 157 litros de agua, esto nos da una sumatoria de agua utilizada en el transcurso del día de 314 litros de aguas utilizada para el comedor del Instituto.

3.5.2. Calidad de aguas generadas

Las generadas en el comedor pueden estar presentes como:

1. Sólidos suspendidos flotantes o grandes: arenas, trapos y papel entre otros.
2. Sólidos suspendidos pequeños y coloidales: moléculas orgánicas grandes, partículas de suelo y microorganismos entre otros.
3. Sólidos disueltos: compuestos orgánicos y sales inorgánicas entre otros.
4. Gases disueltos: Sulfuro de Hidrógeno, entre otros.
5. Líquidos no mezclables: grasas y aceites.

3.5.3. Calidad de aguas grises

Las aguas grises son aguas que provienen de la cocina, los lavatorios, bañeras, duchas y bidets de los cuartos de baño. A primera vista las aguas grises pueden resultar inservibles, sin embargo su reutilización consigue disminuir el gasto en agua potable, así como reducir el vertido de aguas residuales.

3.5.4. Calidad de aguas clarificadas para riego

La técnica de clarificación es ampliamente difundida en la remoción de turbiedad y color del agua e implica la utilización de coagulantes o poli electrolitos. Estos provocan que las finas partículas que determinan la turbiedad se agrupen, formando flóculos cuya precipitación y remoción son mucho más simples.

3.5.5. Instalación de tanque de almacenamiento

La instalación de estos tanques nos ayudara a almacenar el agua después de su tratamiento para fines riego, para así también poder implementar la suficiente agua que se necesita para regar un cultivo de cualquier tipo.

Estos tanques son de material casero, la instalación remplazamos los tanques bicapas por turriles.

3.6 IMPACTO TECNOLOGICO SOCIAL AMBIENTAL Y ECONOMICO

3.6.1 IMPACTO SOCIAL

Este supone que las aguas residuales Albergan microorganismos que causal enfermedades (diarrea y gastroenteritis), incluyendo virus, protozoos y bacterias, que pueden originarse en los individuos infectados o en animales domésticos o salvajes,

de los cuales pueden o no presente señales de enfermedad. Un tratamiento indebido genera graves problemas de contaminación. El tratamiento de las aguas residuales da como resultado la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento. Este tratamiento de aguas negras, necesario para la prevención de la contaminación ambiental, al igual que para la protección de la salud pública.

3.6.2 IMPACTO AMBIENTAL

Lo que se puede rescatar es indicando que el agua residual que se libera en el patio del Instituto puede ser una gran preocupación para la salud humana y el equilibrio ecológico.

Las aguas residuales que están llenas de sustancias químicas complejas pueden generar disminución en el nivel de oxígeno (DBO) en las fuentes de agua naturales y, por lo tanto, causar un cambio drástico.

Po tanto debemos priorizar la contaminación para contrarrestar este fenómeno que afecta de gran manera ala Instituto.

3.6.3 IMPACTO ECONOMICO

Los beneficios económicos de la reutilización del agua residual tratada para la agricultura para una mejor producción de diferentes tipos de cultivo, estas aguas residuales se mantienen de manera constante durante el año. Esto hace que sea una fuente fiable que permita inversiones intensas en la agricultura, particularmente en regiones altiplánicas.

Esta fuente íntegra presenta un nuevo componente económico en donde los agricultores pueden comprar el agua residual tratada desde el sector urbano, invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales o en los costos de operaciones y mantenimientos de estas plantas. De esta manera, los costos totales de tratamiento de aguas residuales tratadas pueden ser compartidos entre los sectores urbanos y rurales.

En cuanto al sector urbano, éste se beneficia de una reducción en los costos de tratamiento, mientras que el sector rural se beneficia de una fuente confiable de agua a un costo menor que el agua convencional importada desde una fuente distante. En términos de costo-beneficio.

(Friedler, 2015) Señalo que los depósitos de Perspectivas en Asuntos Ambientales Ponencia, almacenamiento de aguas residuales tratadas y unidades similares tienen un tiempo de vida de aproximadamente 40 años, en comparación con depósitos tradicionales, lo que hace que el pago anual para la recuperación del capital, sea más bajo que la que habitualmente se calcula. También expuso además que las aguas tratadas para el año 1995 representaban el 65%, y para el año 2010 se esperaba llegaran al 90%.

3.7. PRESUPUESTO

De acuerdo a la Tabla N° 2 se empleó un monto total de 948.33 Bolivianos para la construcción del sistema de clarificación de aguas grises generados por el Instituto.

Tabla N° 2. Presupuesto para la construcción del prototipo de clarificación de aguas grises

MATERIALES	ESPECIFICACIONES TECNICAS	UNIDAD	CANT.	PROVEEDOR (COSTO)			P.U. Bs.	TOTAL Bs.
				1	2	3		
Fuentes	Plásticos	Unidad	4	40	45	57	47.33	189.33
Tuberías	Plástico PVC 1 pulg	Pieza	1	30	38	35	34.33	34.33
Tanques de almacenamiento	Tanques con un volumen de 100 litros	Unidad	2	80	75	60	71.67	143.33
Rejillas	Fierro galvanizado	Piezas	1	40	50	45	45.00	45.00
Algodón		Unidad	20	1	1.5	2	1.50	30.00
Carbón	Madera	Barras	1	20	18	22	20.00	20.00
Arena	Fina limpia	Cubo	1	25	30	28	27.67	27.67
Piedras	Medianas forma normal	Cubo	1	20	15	28	21.00	21.00
Piedras	Pequeñas forma menuda	Cubo	1	20	18	22	20.00	20.00
Madera	Listones	Piezas	4	209	18	21	82.67	330.67
Tijera	Estabilo	Pieza	1	3	3.5	2	2.83	2.83
Estilete	Estabilo	Pieza	1	3	3.5	4	3.50	3.50
Marcador	Estabilo color negro y azul	Unidad	2	3.5	2.5	4	3.33	6.67
Regla	Metálico de un metro	Unidad	1	10	15	18	14.33	14.33
Flexo	De cinco metros	Unidad	1	10	12	15	12.33	12.33
Codo	Platico	Unidad	4	3	3.5	4	3.50	14.00
Acople	Plástico	Unidad	4	3.5	2	2.5	2.67	10.67
Clavos	Fierro	Unidad	1	15	20	18	17.67	17.67
Teflón		Pieza	2	2.5	3	2	2.50	5.00
Total								948.33

Fuente: Elaboración propia, (2018).

3.8. ANALISIS DE RESULTADOS ESPERADOS

La instalación del sistema de clarificación de las aguas residuales del Instituto funcionó satisfactoriamente como se esperaba esto nos ayudara a la optimización en el uso de agua potable proveniente del cerro Mirikiri.

También se pudo observar que estas aguas si son aptas para riego esto nos ayudara a la mejor producción de cultivos y usar para diferentes tipos de actividades.

El agua clarificada se puede mencionar que es suficiente para regar parcela de menor tamaño para estas parcelas, debido a que se hace el uso de 200 litros por día para el cultivo de la lechuga.

De acuerdo al análisis de las aguas del sistema de agua potable de Comanche (Tabla N° 3), según su salinidad presenta, Ninguna restricción de uso para riego por presentar un valor menor a 0,7 dS/m, de la misma manera con relación a la toxicidad por cloruros presenta Ninguna restricción para su uso en riego. El rango de pH se clasifica como normal para el desarrollo de los cultivos (Ver Anexos).

Tabla N° 3. Clasificación de las aguas del sistema de agua potable ITSM

Muestra	Código	Clasificación		
		Toxicidad		Otros efectos
		Salinidad	Cloruro	pH
1	MAP 31-10	N	N	Normal

Fuente: Elaboración propia en base análisis de laboratorio IBTEN, (2018).

- **Calidad de las Aguas Clarificadas**

De acuerdo a la Tabla N° 4, las aguas clarificadas según su salinidad presentan Ninguna restricción para uso en riego siendo sus valores de CE menor a 0,7 dS/m, por su bajo contenido de sales no afecta a la disponibilidad de agua en el suelo.

Según el RAS las aguas clarificadas presentan severos problemas de infiltración.

Respecto a la toxicidad por Sodio las aguas clarificadas se clasifican en umbral Ninguna restricción de uso para riego, en relación a la toxicidad por Cloruros igualmente presenta restricción Ninguna para uso en riego.

Respecto al Bicarbonato 3.15 meq/l, tiene de ligera a moderada restricción para riego.

Los valores de pH se encuentran clasificados como normal para el desarrollo de los cultivos.

Tabla N° 4. Clasificación de las aguas clarificadas

Muestra	Código	Clasificación según FAO				
		Toxicidad			Otros efectos	
		Salinidad	Sodio	Cloruro	-HCO ₃	pH
2	MAC 31- 10	N	N	N	N	Normal

Fuente: Elaboración propia, en base análisis de laboratorio IBTEN, (2018).

CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Con la realización del proyecto se logró clarificar las aguas residuales domesticas generadas en el comedor del Instituto Tecnológico Superior Mirikiri para la reutilización en sistemas de riego.
- De la misma forma se logró instalar un sistema demostrativo de clarificación de las aguas residuales domésticas.
- Se pudo realizar el análisis de la calidad de las aguas clarificadas aguas para su uso en riego, estas aguas presentan una buena aptitud para riego, a excepción de que presentan problemas de infiltración por sus valores de RAS.
- Se instaló un tanque de almacenamiento para estas aguas tratadas.
- Ante la problemática actual de la contaminación de agua que se vive en el instituto la necesidad de utilizar técnicas efectivas para el tratamiento de aguas residuales sea convertido en un tema muy importante.
- La aplicación de estas tecnologías a resultado de gran ayuda para el sistema de tratamientos esto permite lograr cada vez un mayor grado de clarificación, además de que estos procesos no poseen efectos secundarios, que pongan en peligro la vida de la persona o causen algún efecto negativo al medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda replicar el presente proyecto de clarificación de aguas grises en dimensiones de mayor tamaño
- Realizar estudios de contenido de algunos iones que pueden producir toxicidad en las plantas, como metales pesados.
- Si se va investigar a cerca de las aplicaciones de estas técnicas de tratamiento de aguas residuales domésticas, se debe evaluar los resultados

que se han obtenido en el proyecto realizado que se toman como referencia, esto con el propósito de tener claro la eficacia y eficiencia.

BIBLIOGRAFIA

(s.f.).

Eddy, M. (1979). Obtenido de file:///D:/Aguas_residuales_MOPT.pdf

Fibras Y Normas de Colombia S.A.S. (2004). Obtenido de https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/aguas-residuales-metodos-de-tratamiento/#Metodos_Para_Eliminar_Materia_En_Suspension_En_Las_Aguas_Residuales

Flores, M. y. (1991). *sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales*. Obtenido de file:///D:/buenas%20practicass%20aarr%20domesticas.pdf

Friedler. (2015). *aguas residuales* .

Garcia. (2010). Obtenido de file:///D:/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Garcia, E. (2010). Obtenido de file:///D:/Aguas_Residuales_composicion.pdf

IAGUA. (s.f.). *ASUD Tratamiento Industrial*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>

INTAGRI. (15 de Agosto de 2001-2017). *Clasificación de Aguas para Riego Agrícola*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/clasificacion-de-aguas-para-riego-agricola>

Laruta, E. (13 de Marzo de 2018). Planta de Puchucollo.

Lockett, A. y. (1914). *Tratamientos*. Inglaterra.

LÓPEZ, M. E. (1985). file:///D:/Aguas_Residuales_composicion.pdf.

MMAyA . (2013). *Sistematización sobre tratamientos y uso de aguas residuales* .

MMAyA. (2004). *Ley de Riego N° 2878*.

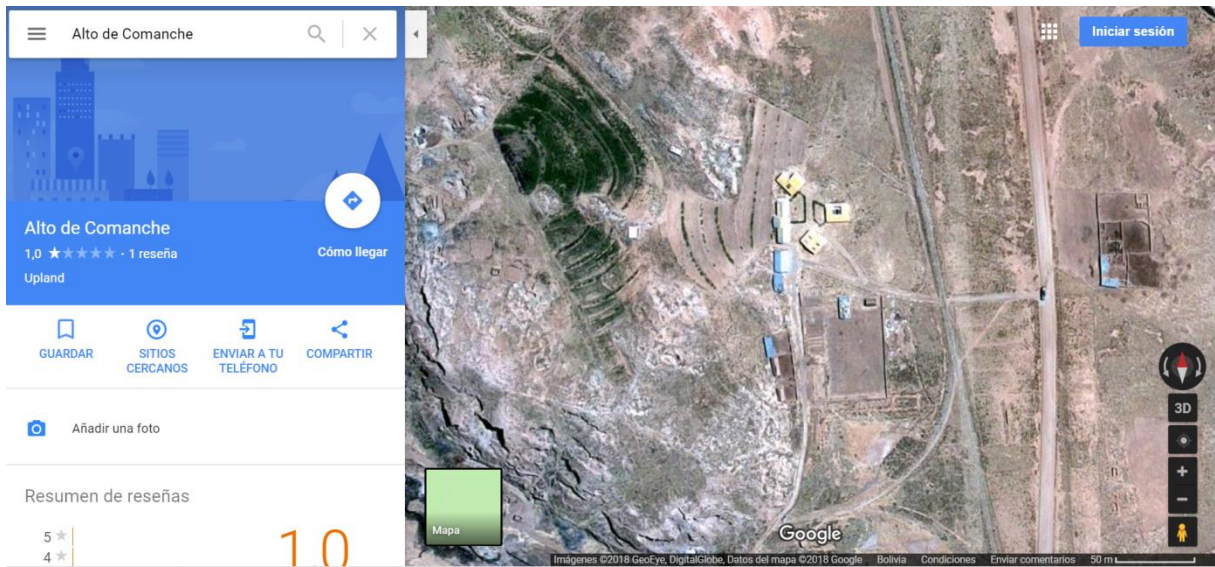
MMAyA. (2005). *NB 512*.

MMAyA. (2007). *Agua Potable toma de muestras*.

- MOPT. (2010). *file:///D://Aguas_residuales_MOPT.pdf*.
- Oakley. (2015). *el uso seguro y productivo de las aguas rsiduales domesticas*. San Isidoro Lima.
- Orellana, J. (2005). Obtenido de *file:///D://Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf*
- PDM. (2001 - 2005). *Plan de Desarrollo Municipal*. Comache.
- Riego Senari. (2010). *Guia para la Elaboracion de proyectos de riego menores*.
- Sampieri. (2014). *Metdologia de la Investigacion*. Mexico DF: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Suarez, G. (13 de Marzo de 2018). *Aguas Residuales en Bolivia*.
- Wagner. (2010). Obtenido de *file:///D://Sistematización-sobre-tratamiento-y-reúso-de-aguas-residuales.pdf*
- Water. (2013). *Calidad de Agua para Riego*.

ANEXOS

Mapa 2. Mapa de ubicación Instituto Tecnológico Superior Mirikiri



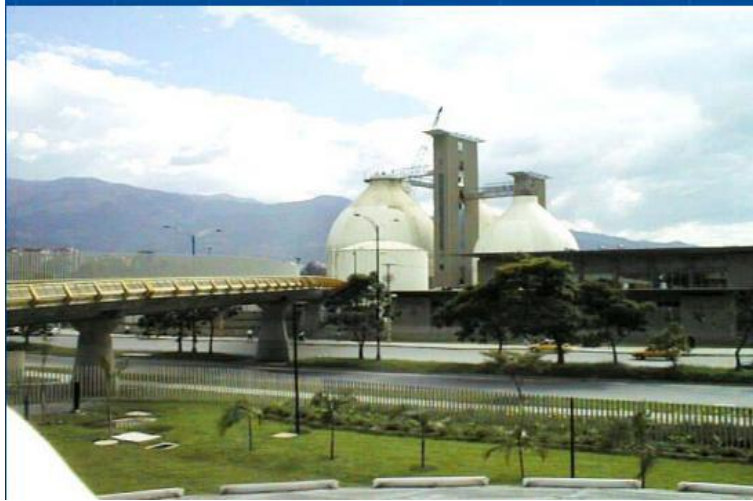
Fuente: Google Maps, (2018)

IMAGEN 3. Clarificador de aguas servidas



Fuente: Elaboración propia, (2018).

IMAGEN 4. Planta de tratamiento de aguas servidas



Fuente: Elaboración propia, (2018).



MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *NELLY RAMOS ASPI*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia : PACAJES,
Comunidad : COMANCHE
INSTITUTO TECNOLOGICO MIRIKIRI

Nº SOLICITUD: **181 / 2018**
FECHA DE RECEPCION : **31 / Octubre / 2018**
FECHA DE ENTREGA : **21 / Noviembre / 2018**

DESCRIPCIÓN : *Muestra de agua : MAC - 31 - 10*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
534-01 2018	pH	7,40	-	Potenciometría
534-02 2018	Conductividad eléctrica	614,00	µS/cm	Conductancia
534-03 2018	Sodio	33,24	mg / L	Flamometría
534-04 2018	Potasio	10,13	mg / L	Flamometría
534-05 2018	Calcio	53,76	mg / L	Absorción atómica
534-06 2018	Magnesio	12,47	mg / L	Absorción atómica
534-07 2018	Cloruros	24,55	mg / L	Método argentométrico
534-08 2018	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetría
534-09 2018	Bicarbonatos	192,41	mg / L	Volumetría
534-10 2018	Sulfatos	78,45	mg / L	Espectrofotometría UV-Visible
534-11 2018	Sólidos Suspendidos	20,00	mg / L	Gravimétrico
534-12 2018	Sólidos Totales	434,56	mg / L	Gravimétrico
534-13 2018	Sólidos Disueltos	412,44	mg / L	Gravimétrico

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.



MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : *NELLY RAMOS ASPI*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia : PACAJES,
Comunidad : COMANCHE

N° SOLICITUD: *180 / 2018*
FECHA DE RECEPCION : *31 / Octubre / 2018*
FECHA DE ENTREGA : *21/ Noviembre/ 2018*

INSTITUTO TECNOLOGICO MIRIKIRI

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE AGUA : MAP - 31 - 10*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
533-01 /2018	pH	8,41	-	Potenciometría
533-02 /2018	Conductividad Eléctrica	310,00	μS/cm	Conductancia
533-03 /2018	Turbidez	0,00	NTU	Nefelometría
533-04 /2018	Alcalinidad total	56,99	mg CaCO ₃ / L	Volumetría
533-05 /2018	Acidez total	2,0	mg CaCO ₃ / L	Volumetría
533-06 /2018	Dureza total	99,37	mg CaCO ₃ / L	Volumetría
533-07 /2018	Cloruros	9,47	mg / L	Método argentométrico
533-08 /2018	Color	1	Un Pt/Co	Comparación visual
533-09 /2018	Olor	Inodoro		
533-10 /2018	Aspecto	Líquido transparente, incoloro		

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.