

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

UNIDAD ACADÉMICA LAS PIEDRAS

ÁREA CIENCIAS BIOLÓGICAS Y NATURALES

PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL CON EL TAROPE (*Eichhornia crassipes*) EN LA P.T.A.R. DE LA CIUDAD DE RIBERALTA”

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERIA AMBIENTAL

Postulante: Jose Fernando Roca Siripi

Tutor: Ing. Maida Katherine Lazcano Espinoza

Las Piedras-Pando-Bolivia.

2018

HOJA DE APROBACIÓN

Proyecto de grado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL CON EL TAROPE (*Eichhornia crassipes*) PARA LA PTAR. DE LA CIUDAD DE RIBERALTA”. Fue aprobado por los siguientes: Tutor, Presidente del Tribunal y los Tres Miembros del Tribunal Calificador, que dieron el visto bueno para ser aprobado.

Postulante:

Univ. Jose Fernando Roca Siripi.

Tutor.

Ing. Maida Katherine Lazcano Espinoza

Presidente de Tribunal.

Lic. Luis Alberto Oliveira Carrillo

Director Académico Administrativo de la U.A.L.P.

Tribunal

Lic. Claudia L. Banzer Domínguez

Tribunal

Ing. Wisner Ávila Valera

Tribunal

Dr. Freddy Domínguez Stadler

DEDICATORIA.

Quiero dedicar este trabajo con mucho amor y cariño a mis padres, SALOMÓN ROCA MARUPA Y MIRNA SIRIPOI TECO quienes fueron forjadores de mi existencia, por ser ejemplos de constancia, dedicación y sacrificio, aquellos que jamás me han dejado solo en la lucha de la vida.

Agradezco también a XIMENA SOLIZ la mujer que dio el regalo más importante de la vida. Mi pequeña hija ITZEL BELENIZ, que siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo, comprensión y confianza. Gracias por enseñarme a construir mi vida y por ser el soporte fundamental para la realización de mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le agradezco a Dios por darme fortaleza para salir adelante a pesar de todas las dificultades.

A la UNIDAD ACADÉMICA LAS PIEDRAS dependiente de la UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO, por darme la oportunidad de realizar mi formación profesional dentro de sus aulas, permitiendo a si mi superación académica personal.

A los docentes de la carrera de Ing. Ambiental que nos brindaron valiosos conocimientos y capacitarnos en personas con las habilidades y capacidades necesarias para enfrentarnos al campo profesional.

A mi asesora de mi proyecto de grado la Ing. MAIDA K. LAZCANO ESPINOZA, por brindarme su orientación apoyo y paciencia en la realización de este trabajo.

De la misma manera agradezco a mis tíos Samuel, Agner y Mónica siripi quienes me brindaron su apoyo en todo momento.

A mi compañero de curso CRISTOBAL PANICA MAMANI por haber colaborado en la elaboración de este documento.

También agradezco al Ing. CARLOS ENRRIQUE LIMPIAS PARADA por brindarme su colaboración en la recolección de datos para realizar

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1. Antecedentes del proyecto:	3
1.2. Planteamiento del problema.....	10
1.3. Objetivos	11
1.4. Justificación.	11
1.5. Limitación del estudio.....	13
1.5.1 Proyecciones del estudio.	13
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	14
2.1. Tratamiento de aguas residuales en Bolivia.	14
2.2. Antecedentes de la investigación:	17
2.3. Bases teóricas.....	21
2.4. El Tarope (Eichhornia crassipes).	35
2.5. Marco legal.	48
2.6. Marco Conceptual	49
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	53
3.1. Tipo de investigación.....	53
3.2. Diseño de la investigación.....	53
3.3. Métodos y técnica de recolección de datos.	54

3.4. Enfoque de investigación:	55
CAPITULO IV. MARCO CONTEXTUAL.....	56
4.1. Generalidades:.....	56
4.2. Servicio municipal de agua potable y alcantarillado sanitario (SEMAPAR).....	56
4.3. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	58
CAPITULO V. DIAGNOSTICO.....	61
6.1. Modelo Real.....	62
6.2. Modelo Ideal.	62
CAPITULO VII. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS- Discusión y análisis.....	63
7.1. Análisis e interpretación de datos cualitativos: observación directa y Entrevistas.	63
7.1.1. Observación directa.	63
7.1.2. Entrevistas.	64
7.2. Interpretación de datos cuantitativos: resultado del análisis del agua.....	65
7.2.1. Interpretación de datos.....	68
CAPITULO VIII. PROPUESTA.....	70
8.1. Criterios de diseño	70
8.2. Operación y mantenimiento.....	70
8.3. Modelo general del diseño del humedal artificial.	71
8.4. Diseño Hidráulico.	73

8.5. Sistemas con especies flotantes.	75
8.6. Estimación de gastos en la construcción del humedal artificial.....	76
CAPITULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
9.1. Conclusiones.	77
9.2. Recomendaciones.	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de la ciudad de Riberalta	4
Figura 2. Plano de la ciudad de Riberalta.....	5
Figura 3. Imagen satelital de la ciudad de Riberalta	7
Figura 4. Contaminación del agua en las comunidades según departamentos	15
Figura 5. Causas de la contaminación del agua en las comunidades según departamentos	16
Figura 6. Causas de la contaminación del agua en las comunidades según departamentos	17
Figura 7. Esquema general del funcionamiento de un humedal artificial	24
Figura 8. Clasificación de los humedales artificiales.....	26
Figura 9. Humedal artificial de flujo superficial.....	27
Figura 10. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	28
Figura 11. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.....	29
Figura 12. Fotografía de tarope (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	36
Figura 14. Fotografía de la laguna anaeróbica de la PTAR	61
Figura 15. Interpretación grafica de los Parámetros Físico químicos y bacteriológicos	67
Figura 16. Sistemas con macrofitas flotantes.	76

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas del municipio de Riberalta	6
Cuadro 2. Distritos que forman parte del municipio de Riberalta	10
Cuadro 3. Taxonomía del tarope (<i>Eichhornia crassipes</i>)	35
Cuadro 4. Cobertura de alcantarillado	58
Cuadro 5. Guía de observación directa.	63
Cuadro 6. Guía de entrevista.....	64
Cuadro 7. Concentraciones naturales en humedales de flujo libre	70
Cuadro 8. Fórmula básica para determinar el caudal	72
Cuadro 9. Fórmula para determinar el área superficial	73
Cuadro 10. Fórmula para determinar la retención hidráulica	74
Cuadro 11. Características típicas de los medios para HSS	74
Cuadro 12. Fórmula para determinar el largo y ancho del humedal	75

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1 Toma de Muestra del Agua Residual en la Planta de Tratamiento de Riberalta	1
Fotografía 2 Recolección de datos in situ	1
Fotografía 3 Después de la recolección de muestras en la PTAR.....	2
Fotografía 4 vista del efluente de la PTAR.....	2
Fotografía 5 De la Laguna Facultativa	3
Fotografía 6 Laguna Anaeróbica de la PTAR.....	3
Fotografía 7 Laguna de maduración 1	4

RESÚMEN.

La presente propuesta de un sistema de depuración de aguas residuales mediante un humedal artificial con el tarope (*Eichhornia crassipes*) se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Riberalta, Provincia Vaca Díez, Departamento Beni”.

La descarga de aguas residuales en cursos naturales de agua (arroyos, ríos, humedales) es una práctica antigua, surgida de la necesidad de evacuar dichas aguas fuera de los núcleos urbanos. El impacto ambiental que tales descargas causan obligó a considerar que la depuración previa era imprescindible, particularmente para núcleos urbanos de gran población. El objetivo principal al diseñar una depuradora natural es someter el agua a diferentes condiciones ambientales dentro del sistema: variaciones de temperatura, de concentración de oxígeno, de pH, de incidencia solar, etc. Eso permite que los sistemas tengan una gran versatilidad y capacidad para depurar distintos tipos de contaminantes, los cuales, a su vez, son eficaces en la eliminación de patógenos. Los humedales artificiales son sistemas de Fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluente es depurada progresiva y lentamente. Para recolectar los datos de la investigación se realizó observaciones directas, entrevistas y se envió muestras de agua al laboratorio para determinar el grado de contaminación de las aguas residuales que descarga al cuerpo receptor el río Beni.

Palabras claves: Humedales artificiales, Macrófitas flotantes, tarope.

SUMMARY.

The present proposal for a wastewater treatment system by means of an artificial wetland with tarope (*Eichhornia crassipes*) was carried out in the wastewater treatment plant of the municipality of Riberalta, Vaca Diez Province, Beni Department ".

The discharge of wastewater into natural water courses (streams, rivers, wetlands) is an ancient practice, arising from the need to evacuate these waters outside the urban centers. The environmental impact caused by such discharges forced us to consider that prior cleaning was essential, particularly for large population urban centers. The main objective when designing a natural treatment plant is to subject the water to different environmental conditions within the system: variations in temperature, oxygen concentration, pH, solar incidence, etc. This allows the systems to have a great versatility and ability to purify different types of contaminants, which, in turn, are effective in the elimination of pathogens. Artificial wetlands are systems for phytodepuration of wastewater. The system consists in the development of a macrophytes crop rooted on a bed of waterproofed gravel. The action of the macrophytes allows a series of complex physical, chemical and biological interactions through which the effluent wastewater is progressively and slowly purified. To collect the research data, direct observations, interviews and water samples were sent to the laboratory to determine the degree of contamination of the wastewater discharging into the receiving body of the Beni river.

Keywords: Artificial wetlands, floating macrophytes, tarope

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

El Agua es una sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno. En pequeñas cantidades no tiene color, mientras que cuando en grandes masas tiene un color como verde o azul. En su estado natural carece de olor y sabor. El agua es indispensable para la vida, ya que está en todos los seres vivos de éste planeta. Algo acertado sería decir que 'Tierra' no es el nombre correcto de nuestro planeta, el agua debería de serlo, ya que tres cuartas partes de éste están cubiertas por agua en forma de lagos, ríos, arroyos y mares. (Harvey, 2018)

Para muchas de las culturas de la Tierra, el agua ha simbolizado la vida. Los países con agua eran prósperos y los que no la tenían se enfrentaban al desastre. El saber donde estaba el agua y donde encontrarla era la clave del éxito. Hace 400 años era difícil sacar el agua porque las bombas no eran buenas y la gente se preocupaba por ahorrar agua, no la desperdiciaba, pero hoy en día la sacan con las bombas modernas con las cuales es más cómodo obtener el agua de las montañas y además hay aparatos con los cuales se le hace el tratamiento.

El agua es considerada como contaminada cuando sus características naturales están alteradas de tal modo que la hace total o parcialmente inadecuada para el uso al que es destinada.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. La degradación de las aguas viene desde hace ya mucho tiempo y en algunos lugares, como la desembocadura del Nilo, hay niveles altos de contaminación desde hace siglos; pero

ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo.

Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en sucias cloacas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes. Con la industrialización y el desarrollo económico este problema se ha ido trasladando a los países en vías de desarrollo, a la vez que en los países desarrollados se producían importantes mejoras.

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social. (Cruz, 2009).

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta Tierra y que a su vez es responsable del desarrollo de las distintas formas de vida, bien sean vegetales, animales o el ser humano. Todos los seres vivos están compuestos de agua en una alta proporción y la necesitan para continuar viviendo, por lo que sin agua no sería posible la vida. Sin embargo, debido al desarrollo humano y a nuestros patrones de consumo actuales, este recurso tan valioso enfrenta un problema fundamental. (Vasques, 2017)

El agua se considera contaminada cuando su composición o estado no reúne las condiciones requeridas para los usos a los que se hubiera destinado en su estado natural. En condiciones normales disminuye la posibilidad de contraer enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería y las enfermedades diarreicas; esta última es la principal causa de mortalidad de los niños de 1 a 4 años. El crecimiento de la industrialización, de la urbanización y de la población humana acrecienta los problemas de contaminación y en consecuencia el suministro de agua potable y el tratamiento de las aguas cloacales. (Ambarlesly, 2008)

La contaminación del agua se produce por los residuos vertidos en ella, tales como fertilizantes, pesticidas o químicos que, desde nuestros hogares, sitios de trabajo o industrias, terminan desembocando en fuentes de agua dulce y que acaban por contaminar lagos, aguas subterráneas e incluso el mar. (Vasques, 2017)

A su vez, según el informe de 2016 de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, casi el 80% de los puestos de trabajo que constituyen la fuerza laboral mundial dependen del acceso a un suministro adecuado de agua y servicios relacionados con el agua, incluyendo el saneamiento. (Vasques, 2017)

La descarga de aguas residuales en cursos naturales de agua (arroyos, ríos, humedales) es una práctica antigua, surgida de la necesidad de evacuar dichas aguas fuera de los núcleos urbanos. El impacto ambiental que tales descargas causan obligó a considerar que la depuración previa era imprescindible, particularmente para núcleos urbanos de gran población (Gonzales, 2018)

1. Antecedentes del proyecto:

1.1. Municipio de Riberalta – Provincia Vaca Diez – Departamento Beni, Ubicación física y geográfica.

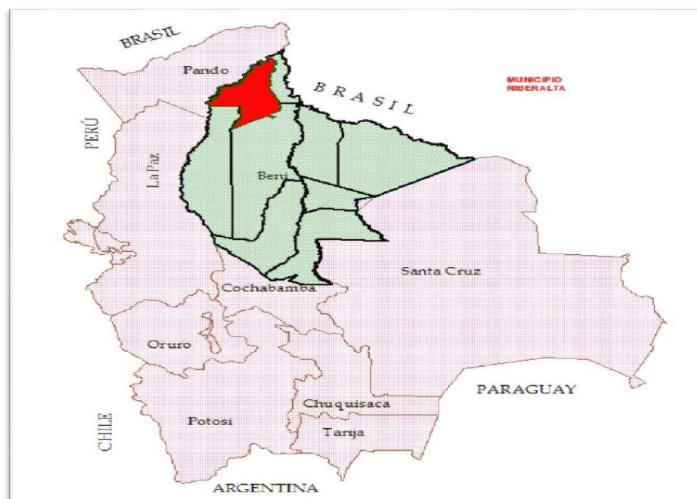
El municipio de Riberalta, se halla situada en la provincia Vaca diez, del departamento del Beni.

Riberalta es una ciudad boliviana situada en la provincia de Vaca Díez, dentro del departamento del Beni es la mayor población del departamento. Geográficamente se localiza en la cuenca amazónica, situada en la confluencia de los ríos Beni y Madre de Dios.

Es una ciudad de constante crecimiento, es el sostén de la región y de todo el departamento. Tiene centros de estudios superiores, como la "Universidad Autónoma del Beni", "Universidad de la Amazonia Boliviana", "Escuela Militar de Ingeniería" (E.M.I).

Riberalta, es la segunda ciudad más importante del departamento Beni y la primera sección municipal de la provincia Vaca Diez. Limita al norte con el municipio Guayaramerín, al sur con las provincias Ballivián y Yacuma, al este con la República del Brasil y al oeste con las provincias Madre de Dios y Manuripi del departamento de Pando. Está ubicada en la ribera alta del río Beni, de donde proviene su nombre. Está a una altitud media de 172 msnm, con un relieve plano y sin variaciones significativas, con interfluvios y pisos de drenaje amplios y terrazas formadas por la erosión fluvial perteneciente al piso ecológico de Selva Húmeda Ecuatorial. Su clima es cálido, con una temperatura promedio de 26°C y precipitación media anual de 1,775 mm. Sus suelos son muy profundos, pero químicamente pobres.

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de la ciudad de Riberalta



Fuente: PDM 2009

El Municipio está dividido en 5 Distritos urbanos, 3 Distritos rurales y 1 Distrito indígena. En el margen izquierdo del río Yata y derecha del río Beni, existen 72 comunidades campesinas y 25 comunidades indígenas, de las cuales 9 pertenecen a la etnia Chacobo, 4 a los Cavineños y 12 a los Takanas. El castellano es el idioma oficial, sin

Cuadro 1. Coordenadas geográficas del municipio de Riberalta

Latitud: 11°00'23" S

Longitud: 66°03'47" O

Altitud sobre el nivel del mar: 150 m

Coordenadas de Riberalta en grados decimales

Latitud: -11.0065400°

Longitud: -66.0631200°

Coordenadas de Riberalta en grados y minutos decimales

Latitud: 11°0.3924' S

Longitud: 66°3.7872' O

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Imagen satelital de la ciudad de Riberalta



Fuente: Imagen Satelital Google Earth

Riberalta es el centro administrativo de la Provincia Vaca Diez y es asiento principal de la industria del área (beneficiadoras de castañas, aserraderos, etc.), además de servicios de metalmecánica, carpintería y otros. Cuenta con un parque de transporte fluvial que zurca las aguas de los ríos: Beni, Madre de Dios y Orthon; un parque automotor para el transporte urbano y carretero hacia Guayaramerín y Rurrenabaque,

así como un importante parque automotor pesado con que se extrae la producción del área

1.1.1. Clima

La ciudad de Riberalta capital de la Amazonia Boliviana, posee un clima cálido y húmedo con una precipitación anual promedio de 1.650 mm.

El año se caracteriza por dos épocas muy marcadas: la seca y la lluviosa.

La época seca oscila entre tres a cinco meses, de mayo a septiembre, principalmente los meses de junio, Julio, Agosto, tienen a ser secos con una precipitación de menos de 25- 30 mm/mes, esta época también se caracteriza por tener temperaturas variables entre cálidas y con frentes fríos del cuadrante Sur que alternan con vientos cálidos del Norte.

La época lluviosa es de noviembre a marzo, con una precipitación Pluvial de 250 - 260 mm/mes y con una humedad relativa de 80 a 90%.

Por lo que establece que la media anual de las precipitaciones pluviales en el municipio de Riberalta es de 144.9 mm., y que las precipitaciones a partir del mes de octubre, son favorables para los cultivos.

En el municipio de Riberalta, la temperatura tiene una media anual de 29° C. llegando a 37° C., en verano, con mayores variaciones entre los meses de mayo a agosto, cuando la temperatura puede bajar, por los vientos provenientes del Sur hasta los 12° C. y subir a los 39°C.

1.1.2. Aspectos demográficos.

a) Riberalta, Primera Sección Municipal de la Provincia Vaca Díez

Ubicada en la ribera alta del Río Beni, de donde proviene su nombre "RIBERALTA". Esta bella ciudad es la capital amazónica de la provincia Vaca Díez fundada el 3 de

febrero de 1894 por Lisímaco Gutiérrez. Denominada oficialmente como la región castañera más importante, columna económica de toda la zona y del departamento

b) Ubicación Geográfica.

Este Municipio se constituye en la Primera Sección Municipal de la Provincia Vaca Díez; se encuentra ubicada al Norte del departamento del Beni (Extremo Norte amazónico boliviano), en la ribera alta del río Beni. Limita al Este con el municipio de Guayaramerín, al Oeste con la provincia Madre de Dios y Ballivián, al Norte con el departamento de Pando (municipio Puerto Rico, Provincia Manuripi) y al Sur con la Provincia Ballivián.

Las coordenadas geográficas sitúan al municipio entre los 10°59`59” de latitud Sur y 66°04`28” de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Se encuentra a una altitud de 130 msnm.

1.1.3. División política, administrativa y demográfica.

“El gobierno municipal de la primera sección de la provincia Vaca Diez con capital Riberalta de acuerdo a lo que establece la Ley 1551 de Participación Popular en el artículo 17 numeral III, aprueba la creación de distritos municipales en los lugares que exista una unidad geográfica, sociocultural, productiva y económica, creando mediante resolución municipal número 69/96. 9 distritos en la sección territorial del municipio de Riberalta, (5 urbanos y 4 rurales). Actualmente se está en proceso de redistribución para una mejor distribución de la jurisdicción territorial, manteniendo el número establecido en dicha resolución municipal.”

Cuadro 2. Distritos que forman parte del municipio de Riberalta

Distritos	Característica	Superficie(Ha)
Distritos 1 al 5	Distritos urbanos	1.025
Distrito 6	Cantón Ivón	723.186
Distrito 7	Cantón florida	234.220
Distrito 8	Cantón concepción	307.096
Distrito 9	Distrito Indígena	414.676

Fuente: Diagnóstico Municipal – Riberalta

1.2. Planteamiento del problema.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Riberalta, no cuenta con el personal suficiente, tampoco cuenta con los equipos técnicos, que realicen el muestreo y monitoreo, para determinar el grado de contaminación de las aguas para ver si cumple con los y límites máximos admisibles de parámetros en cuerpo receptores, establecidos en el marco de normativa ambiental vigente. Así mismo, no se le realizan los mantenimientos correspondientes que establece el diseño de funcionamiento. Solo se realizan los mantenimientos preventivos, que consta de la limpieza de los alrededores de la planta de tratamiento, y no así mismo el mantenimiento correctivo, que consta de la limpieza de todas las lagunas.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Proponer un sistema de depuración de aguas residuales mediante un humedal artificial con el tarope (*Eichhornia crassipes*) para la ptar de la ciudad de Riberalta, Provincia Vaca Diez, Departamento Beni”

1.3.2. Objetivos específicos:

- ❖ Determinar el grado de contaminación físico química y bacteriológica de las aguas residuales de la P.T.A.R, a través de análisis de un laboratorio.
- ❖ Formular procesos de depuración de aguas residuales mediante el tarope (*Eichornia crassipes*) para PTAR de la ciudad de Riberalta.
- ❖ Diseñar el modelo del humedal artificial para la P.T.A.R. de la ciudad de Riberalta.

1.4. Justificación.

1.4.1. Técnica.

La planta de tratamiento obtendrá los siguientes beneficios:

Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.

Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.

1.4.2. Económica.

Los sistemas de tratamiento con humedales artificiales, no generan gastos económicos debido a los siguientes aspectos:

La diferencia entre las tecnologías de bajo coste y de un sistema convencional es la velocidad de los procesos de depuración, ya que los sistemas de bajo coste trabajan a velocidad natural propia de los procesos, sin apenas gasto energético ni de reactivos.

1.4.3. Social.

Los humedales son elementos importantes del medio natural que interactúa con la sociedad y sirve a esta de diferentes formas. El conocimiento sobre estos elementos es de central importancia ya que permite orientar acciones de gestión para lograr una interrelación sostenible entre la sociedad y aquellos.

1.4.4. Ambiental.

La presente propuesta de un humedal artificial para la depuración de aguas residuales, justifica en analizar el aporte del humedal artificial, el medio ambiente.

Están bien integrados dentro del paisaje, contribuyen al desarrollo de vida salvaje y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental.

Son fuentes de producción de oxígeno; por lo tanto, tienen un impacto positivo sobre la calidad del aire, y segundo, es que son estanques de acumulación de aguas lluvia; o sea, los humedales tienen la capacidad de retener grandes cantidades de agua en los meses en que se producen precipitaciones más abundantes y por lo tanto, desde ese punto de vista, es sumamente importante retenerlos y preservarlos por todo el tiempo que sea posible. Ahora, lo lamentable es que cada vez se destruyen más humedales en pos de la construcción.

1.5. Limitación del estudio.

- El presente proyecto de investigación solo será una propuesta, debido al poco tiempo que establece el reglamento de modalidad de graduación, en el proyecto de grado.
- El proyecto de investigación será exclusivamente una propuesta de un diseño de humedal artificial, debido a que se estiman elevados costos para realizar el control y monitoreo de las aguas de la P.T.A.R.
- El presente estudio se efectuará en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Riberalta, que carece estudios en las aguas que descarga al río Beni.

1.5.1 Proyecciones del estudio.

- Mejorar el proceso de tratamiento biológico de las aguas residuales de la PTAR del municipio de Riberalta.
- Disminuir el grado de contaminación de las aguas, que descarga la PTAR, con la depuración natural de los taropés.
- Mejorar el servicio a la población, que brinda la empresa encargada de la P.T.A.R.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. Tratamiento de aguas residuales en Bolivia.

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. (Cuevas, 2018)

“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 Edwin Laruta, director de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente.

2.1.1. Contaminación de agua en Bolivia.

El Instituto Nacional de Estadística (INE) informó, con datos recogidos en el censo Agropecuario, que un 39,9% del agua que abastece a las comunidades rurales del país está afectada por contaminación. Según el INE esta contaminación se registra más en los departamentos de Tarija, Chuquisaca y Pando; y en menores proporciones en Potosí, Oruro y Santa Cruz. (ERBOL, 2014)

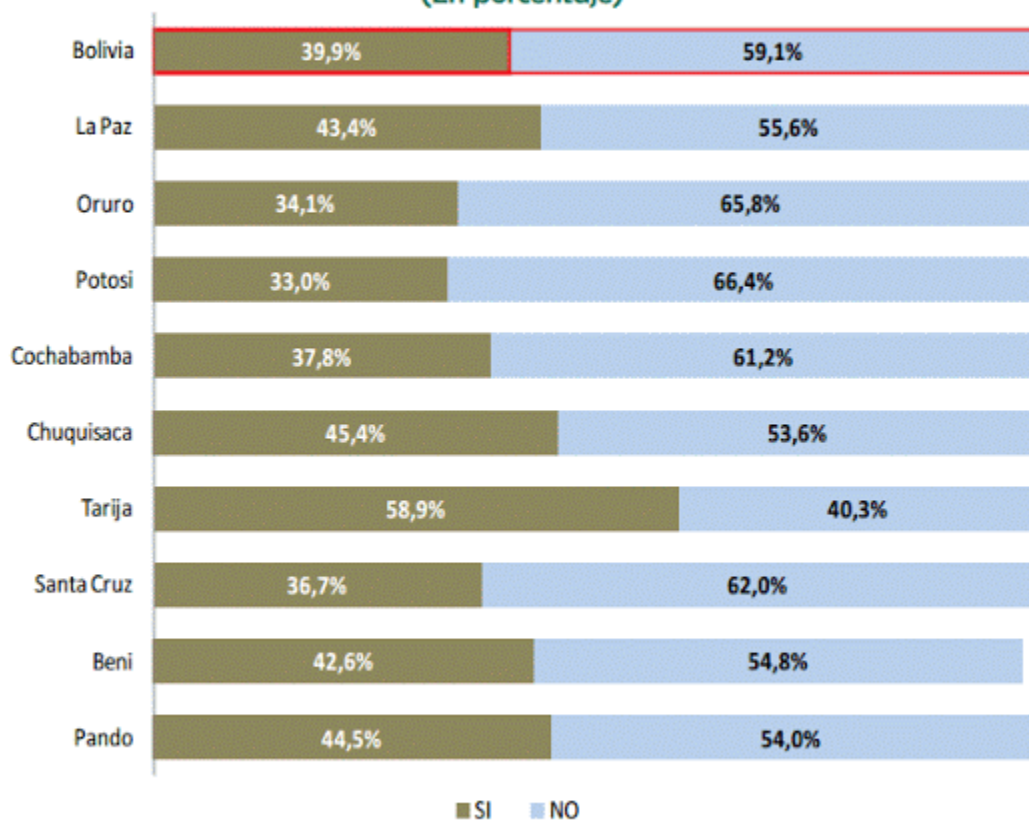
En las áreas rurales la contaminación de las aguas obedece a varios factores, entre los que se destacan la basura doméstica, que afecta en un 80%, y las aguas servidas, que participa con un 25% la contaminación. (ERBOL, 2014)

Pando es el departamento más afectado por la basura doméstica, que afecta con un 89,7%, y la región menos afectada es Santa Cruz con 64,6%.

La contaminación por aguas servidas afecta en primer lugar a Tarija con 35% la Menos contaminada es Santa Cruz con 18,2%.

Figura 4. Contaminación del agua en las comunidades según departamentos

BOLIVIA: CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LAS COMUNIDADES, SEGÚN DEPARTAMENTO
(En porcentaje)



Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

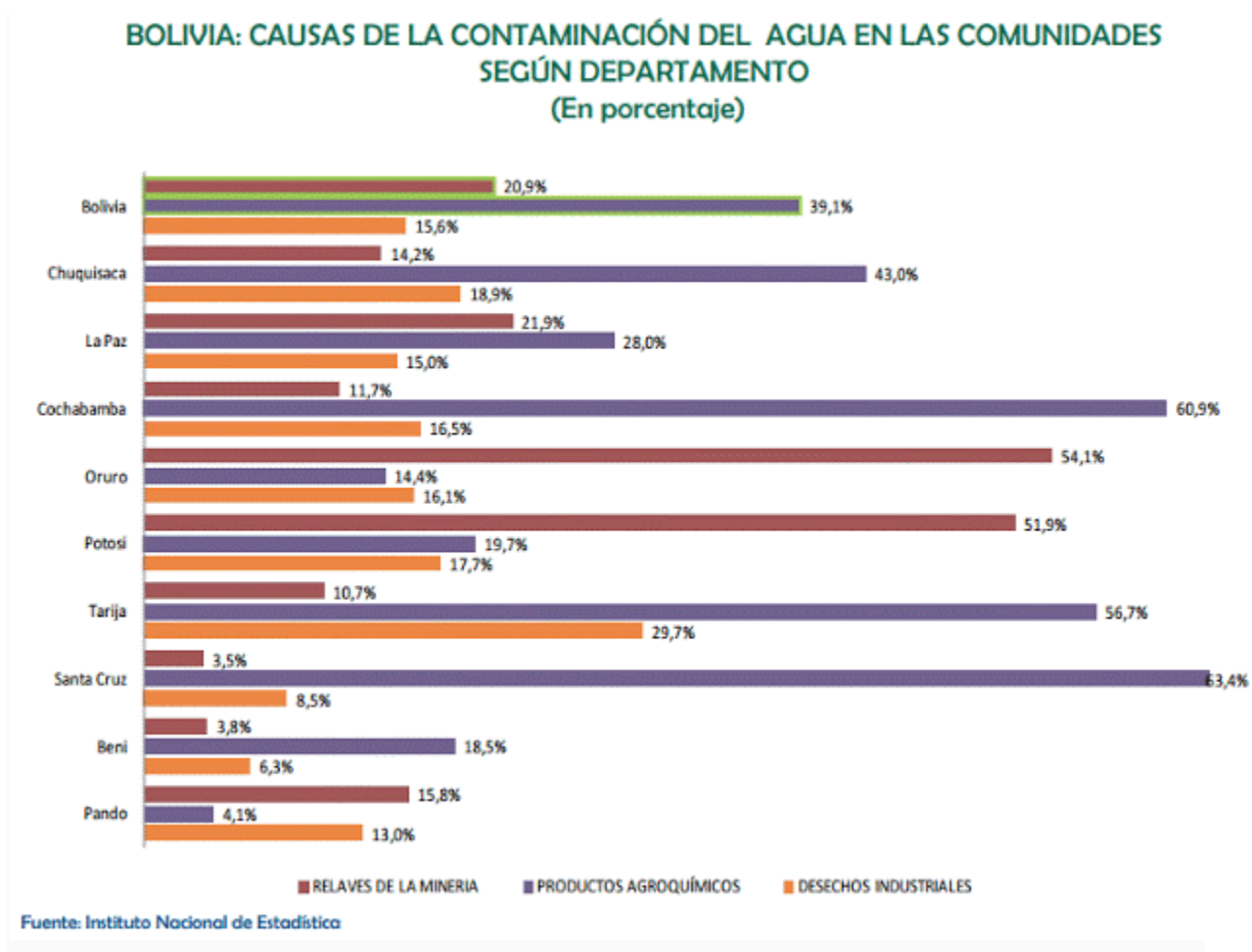
2.1.2. Contaminación por productos químicos.

La contaminación del agua por productos agropecuarios tiene alta incidencia en los departamentos de Santa Cruz (63,4%), Cochabamba (60,9%) y Tarija (56,7%).

Los relaves de la minería son otro factor de contaminación de agua en las comunidades. Los departamentos de Oruro y Potosí son los que tienen los mayores indicadores con 54% y 51,9%, respectivamente.

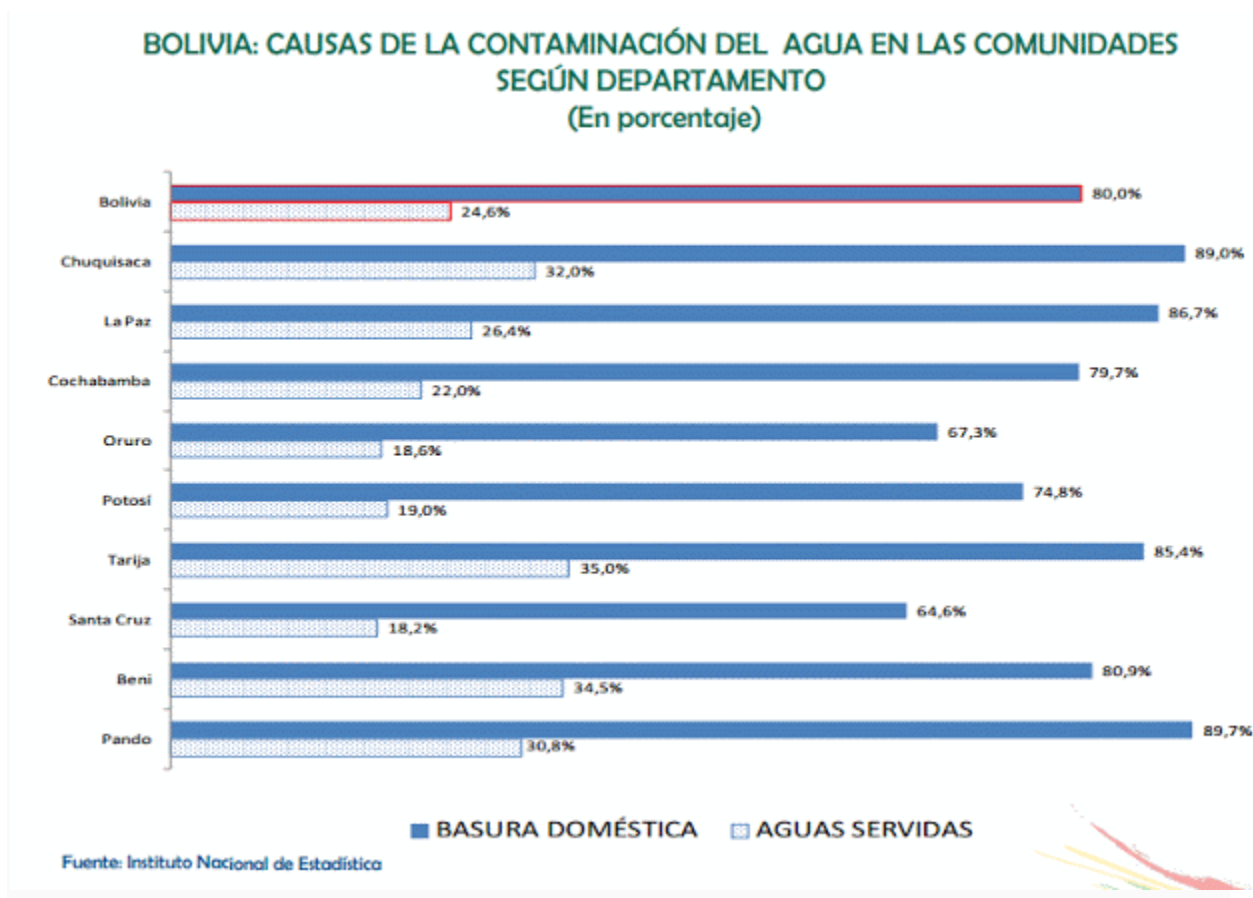
Los desechos industriales constituyen mayor impacto en Tarija con 29,7%, seguido por Chuquisaca con 18,9% y Potosí con 17,7%.

Figura 5. Causas de la contaminación del agua en las comunidades según departamentos



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Figura 6. Causas de la contaminación del agua en las comunidades según departamentos



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

2.2. Antecedentes de la investigación:

Según (Pasto E. , 1997)menciona que: Los sistemas de depuración natural se usan desde tiempos antiguos, sobre todo en las zonas cálidas y subtropicales de Asia. Estos sistemas son sencillos, de fácil aplicación y no requieren productos químicos para su funcionamiento; además, se adaptan al entorno, sin causar impacto ambiental y al mismo tiempo son productivos.

El funcionamiento básico de este tipo de tratamiento de las aguas residuales consiste en establecer una cadena trófica usando como fuente principal de alimento la carga

contaminante del agua, normalmente debida a un exceso de materia orgánica en el agua. Esta carga contaminante es consumida y degradada por los organismos acuáticos (bacterias, plancton, plantas o algas, etc.).

El objetivo principal al diseñar una depuradora natural es someter el agua a diferentes condiciones ambientales dentro del sistema: variaciones de temperatura, de concentración de oxígeno, de pH, de incidencia solar, etc. Eso permite que los sistemas tengan una gran versatilidad y capacidad para depurar distintos tipos de contaminantes, los cuales, a su vez, son eficaces en la eliminación de patógenos. (pág. 1)

(Juan Pablo Rodríguez-Miranda E. G., 2009) “El estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presenta resultados de remoción de materia orgánica (DBO₅) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. El sistema de humedales artificiales se comporta hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante la experimentación se observó que cuando se utilizó la lenteja de agua en el humedal artificial, ésta le aportó al agua elementos característicos de la planta que aumentan el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que, con el buchón de agua, los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8.0, favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico”.()

según (Juan Pablo Rodríguez-Miranda E. G., 2010) **menciona que:**

El estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales como los humedales artificiales presenta resultados de remoción de materia orgánica (DBO₅) de entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. El sistema de humedales artificiales se comporta hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante la experimentación se observó que cuando se utilizó la lenteja de agua en el humedal artificial, ésta le aportó al agua elementos característicos

de la planta que aumentan el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que, con el buchón de agua, los valores de pH del agua están en el rango de 6 a 8.0, favoreciendo la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico.

Según (Llantoy & Negrón, 2014) menciona que:

En este trabajo se realizó estudios para medir la capacidad de sorción de los iones metálicos Cd (II) y Hg (II) de la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua). Este estudio incluye ensayos donde se optimizan concentración de nutrientes, pH y concentración de iones metálicos, lo que se llevó a cabo a temperatura ambiente y con soluciones acuosas de Cd (II) y Hg (II), a las que fueron sometidas las muestras de *Eichhornia crassipes*. Para corroborar la remoción de dichos metales, las soluciones residuales, después de haber sido sometidas con la especie vegetal, fueron tratadas usando el método APHA 3030-e y las muestras de *Eichhornia crassipes* fueron tratadas usando el método EPA 200.3. La concentración de Cd (II) fue determinada por un equipo ICP-OES y la del Hg (II), por un equipo de absorción atómica. Los resultados obtenidos fueron: Dosis óptima 1mL de A y 0,5 mL de B, pH óptimo 5, concentración óptima de Cd (II) y Hg (II) 5 mg/L para cada ion. Con estos parámetros se inició la remoción de 5 mg/L de los iones metálicos contenidos en 1 litro de solución. Los porcentajes de sorción fueron de 16,56 % para Cd (II) y 15,6 % para el Hg (II) en un periodo de 7 días.

Según (Jaramillo Jumbo, 2012) menciona que:

La contaminación del agua con metales pesados es un problema de gran importancia, aunque existen varios métodos convencionales para su remoción estos son muy costosos por lo que la fitorremediación es una alternativa que utiliza plantas para reducir la concentración de dichos contaminantes. En este trabajo se determinó la capacidad de absorción del mercurio mediante el uso de las macrófitas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en diferentes condiciones experimentales. A las macrófitas acuáticas se las obtuvo de una laguna ubicada en Paccha en el sector de Viola las cuales se las encontró en convivencia con otras especies vegetales, para su

recolección se tomó en cuenta que estas sean jóvenes, estén en buen estado y que no presenten anomalías. Para el experimento se construyó 12 recipientes de vidrio de 30 cm de ancho, alto y profundidad colocándoles grava y con un volumen de agua de 9 litros más 1 litro de la disolución de mercurio. Se realizó 3 tratamientos: una con la *Eichornia crassipes*, otro con la *Lemna minor* y combinando ambas especies con 4 réplicas cada uno, además se realizó un tratamiento de control con las condiciones nombradas anteriormente y la misma concentración de mercurio, pero sin ninguna especie vegetal. El medio de trabajo fue con luz natural y a condiciones ambientales de la ciudad de Cuenca, realizándose durante 15 días en tres fases; 3 días de adaptación controlando la variación de pH y conductividad con la finalidad de proporcionarles un medio óptimo de desarrollo, 5 días de nutrición en el cual se colocó un fertilizante acuático y 7 días de intoxicación en esta fase se colocó una solución de nitrato mercurioso dihidratado previamente preparada para obtener 1,22 ppm de mercurio. Durante el proceso se pudo observar que desde el quinto día ambas especies vegetales presentaron cambios en su estructura. La *Eichornia crassipes* presentó necrosis en sus hojas que luego se esparció a los peciolos y la *Lemna minor* se dio un proceso de clorosis. También se perdió 1 litro de agua por evaporación y en el Tratamiento de control hubo una pérdida de 0,86 ppm de mercurio esto debido al proceso de sedimentación. Concluyéndose que existe una mayor problemática en los sedimentos que en el agua, las macrófitas acuáticas presentan una eficiencia de remoción durante 7 días de 29,5% siendo la *Eichornia crassipes* la especie que tuvo un mayor porcentaje de absorción y presentó una mayor resistencia a la concentración de mercurio expuesta, el porcentaje faltante evidencia pérdidas por sedimentación. La utilización de esta técnica nos ofrece una alternativa a los métodos convencionales de desintoxicación de metales pesados, por lo que se lo puede utilizar como una herramienta efectiva y económica. En cuanto a combinar las especies se concluye que estas absorben igualmente solas o en grupos.

2.3. Bases teóricas.

2.3.1. Humedales artificiales.

Los humedales artificiales son sistemas de Fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente. (Delagadillo, 2010, pág. 7)

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución. (Fernandez, 2014)

Según el Convenio Ramsar, un humedal es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan. se consideran humedales, "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". (Miguel, 2013)

En los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos adaptados a estas condiciones de inundaciones temporales y/o permanentes. En este tipo de ecosistema se desarrollan también determinados procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos. (Gonzales, 2018)

Cuando el agua llega a una estación depuradora, pasa por una serie de tratamientos que extraen los contaminantes del agua y reducen su peligro para la salud pública. El número y tipo de tratamientos dependen de las características del agua contaminada y de su destino final. Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material

orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química. (Delgado, 2010, pág. 7).

2.3.2. Humedales construidos

Según, (Curt, 2005) citado por (Herrera, 2018) menciona que: Los humedales construidos consisten principalmente en estanques poco profundos en los que se implantan especies vegetales adaptadas a la vida acuática y en los que la depuración se basa en procesos naturales de tipo microbiológico, biológico, físico y químico. Su diseño es muy variado, pero siempre incluye canalizaciones, aislamiento del suelo para evitar el paso de la contaminación a los ecosistemas circundantes y el control del flujo del efluente en cuanto a su dirección, flujo, tiempo de retención y nivel del agua.

Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pre-tratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. (Gonzales, 2018)

El efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos.

El oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular.

La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes.

Los mecanismos que tienen lugar para la depuración de contaminantes constituyen una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. Las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

- Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizosfera - Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) - Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.
- La selección de las especies vegetales se debe realizar de acuerdo a la adaptabilidad de las mismas al clima local, su capacidad de transportar oxígeno desde las hojas hasta la raíz, su tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes, su capacidad asimiladora de los mismos, su tolerancia a condiciones climáticas diversas, su resistencia a insectos y enfermedades y su facilidad de manejo. (Gonzales, 2018)
- Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales:
 - Aguas domésticas y urbanas.
 - Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
 - Aguas de drenaje de extracciones mineras.
 - Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
 - Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan. (Delgado, 2010)

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999)

La Fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas

acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Gonzales, 2018). Constituyen “fotosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas.

Figura 7. Esquema general del funcionamiento de un humedal artificial



Fuente: Alejandro Reija Maqueda

2.3.3. Clasificación de humedales artificiales.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes:** principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.
El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.
- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas:** comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.
- **Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes:** en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos. (Delgado, 2010)
Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal. (Delgado, 2010)

Figura 8. Clasificación de los humedales artificiales



Fuente: (Delgado, 2010)

2.3.3.1. Humedales artificiales de flujo superficial

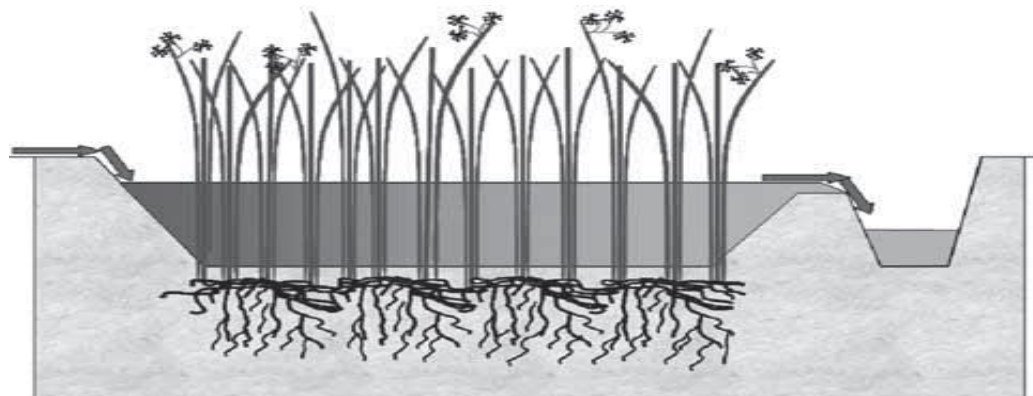
Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como *surfaceflow constructed wetlands* o *free water Surface constructed wetlands*) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas. En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen. (Delgado, 2010)

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior.

El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio

poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.

Figura 9. Humedal artificial de flujo superficial



Fuente: (Delgado, 2010)

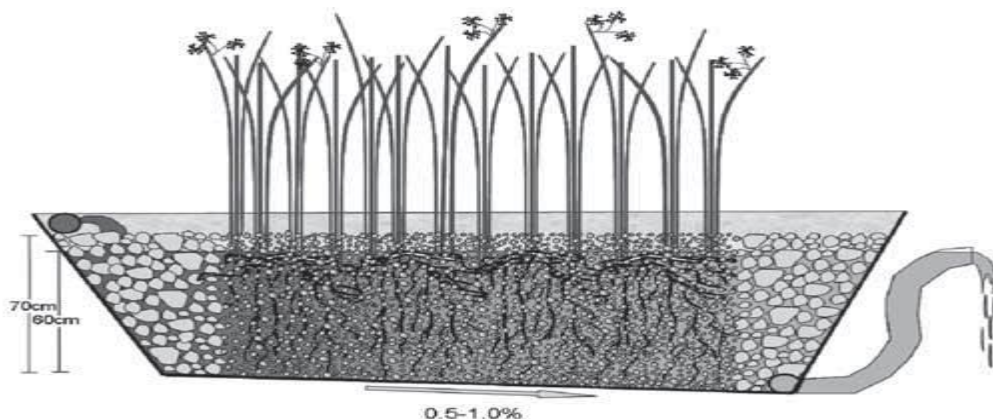
2.3.3.2. Humedales de flujo subsuperficial

Los sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como *subsurface flow constructed wetlands*), se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical.

2.3.3.2.1. Humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel. El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo.

Figura 10. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal



Fuente: (Delgado, 2010)

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm.

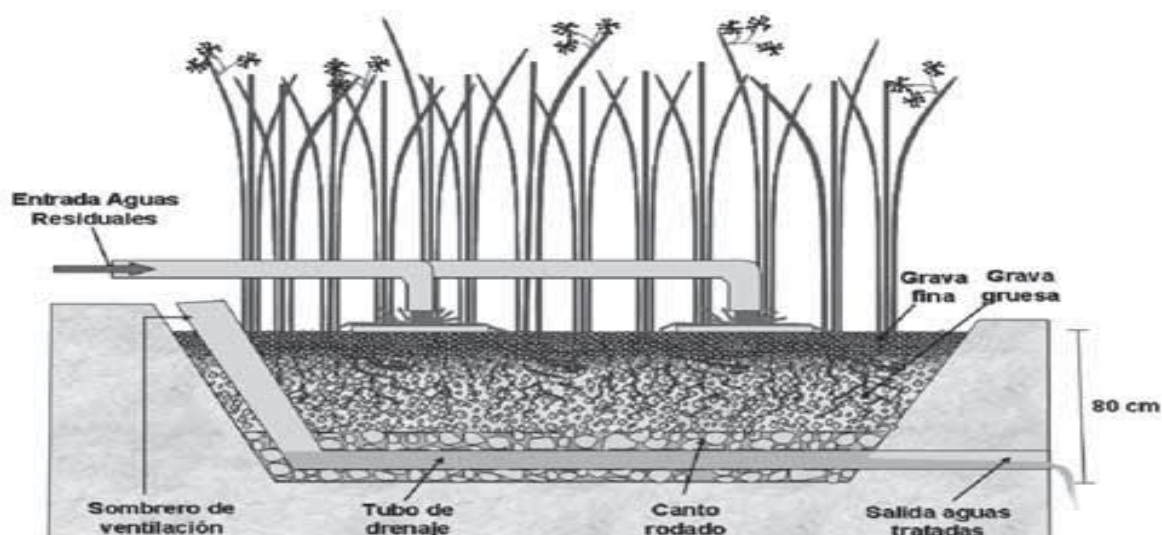
Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento.

2.3.3.2.2. Humedales subsuperficiales de flujo vertical

Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de instauración, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios.

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua (Delagadillo, 2010).

Figura 11. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.



Fuente: (Delagadillo, 2010)

Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular.

Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo. (Delagadillo, 2010).

2.3.4. Humedales construidos utilizando macrófitas flotantes.

Según (Saeed y Sun, 2012) menciona que estos humedales cuentan con plantas que flotan libremente por la superficie de sus aguas. Son plantas capaces de eliminar nitrógeno mediante desnitrificación y fósforo incorporándolo a su biomasa, pudiendo eliminar también sólidos en suspensión del agua. El jacinto de agua llamado también camalote o tarope (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*, *Spirodela polyrhiza*) son algunos ejemplos.

Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pre-tratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes. Los mecanismos que tienen lugar para la depuración de contaminantes constituyen una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. (Gonzales, 2018)

2.3.5. Componentes del humedal.

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas. Estos componentes pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

2.3.5.1. El agua.

Es probable que se formen humedales donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa de subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua.

La hidrología es el factor del diseño más importante de un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y por qué es a menudo el factor primario el éxito o fracaso del humedal (Lara, 1999)

2.3.5.2. Substratos, sedimentos y restos de vegetación. S

Según (Lara, 1999) menciona que: Los substratos en los humedales construidos incluyen, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El sustratos, sedimentos y restos de vegetación son importantes por varias razones:

Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.

- La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo las microbianas) tienen lugar en el substrato.
- El subsuelo proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

2.3.5.3. La vegetación.

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporte a el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentías de varias maneras:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transportan gases entre la atmosfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustratos.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

2.3.5.4. Microorganismos.

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.

- Altera las condiciones del potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad del proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre), mientras que otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medio ambientales.

2.3.5.4. Animales

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentado el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidad significativa de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito.

Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas y mamíferos.

Los humedales construidos atraen variedad de pájaros, incluso patos silvestres.

2.3.5.6. Proceso de depuración de los humedales artificiales:

- **Procesos físicos.** - Los procesos físicos son aquellos en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas para modificar las características y propiedades del agua. Algunas de las operaciones más comunes que se utilizan en el tratamiento de agua residual urbana son: desbaste, sedimentación primaria y secundaria, floculación, filtración. (Latorre, 2017)

- **Procesos químicos.** - Mediante los procesos químicos se logra la transformación o eliminación de contaminantes mediante reacciones químicas. Este objetivo se consigue con el uso de aditivos químicos (coagulantes) para lograr la precipitación de fosfatos o desinfectantes para lograr la eliminación de patógenos. (Latorre, 2017)
- **Procesos biológicos.** - El tratamiento biológico se lleva a cabo mediante una serie de procesos que tienen en común la utilización de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable. (Latorre, 2017)
- **Mecanismos involucrados en el proceso.** - Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas, mediante el empleo de humedales artificiales son:
 - Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
 - Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.
 - Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
 - Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
 - Eliminación de metales pesados como cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.

2.4. El Tarope (*Eichhornia crassipes*).

Eichhornia crassipes, llamado comúnmente jacinto de agua, flor de bora, camalote, aguapey, tarope o tarulla, es una planta acuática de la familia de las Pontederiaceae. Es originaria de las aguas dulces de las regiones cálidas de América del Sur, en las cuencas Amazónica, y del Plata. Es usada como planta medicinal, fertilizante de suelos y decorativa; fuera de su nicho original se la considera especie invasora.

Cuadro 3. Taxonomía del tarope (*Eichhornia crassipes*)

TAXONOMÍA	
Nombre científico: <i>Eichhornia Crassipes</i>	
Reino:	Plantae
Clase:	Liliopsida
Orden:	Commelinales
Familia:	Pontederiaceae
Categoría:	Especie

Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Descripción

Tallo vegetativo sumamente corto; hojas en rosetas, ascendentes a extendidas; pecíolos cortos, hinchados (bulbosos), con tejido aerenquimatoso; con dimorfismo foliar al crecer agrupadas: hojas puramente ascendentes y pecíolos elongados y menos hinchados; láminas de 2 a 16 cm. Inflorescencia: espiga; flores azules a celestes, y una mancha amarilla en el lóbulo superior del perianto; fruto: cápsula de 1,5 cm.

Eichhornia crassipes se cultiva en estanques y fuentes; es la única especie de su género estrictamente flotante. Está incluido en la lista 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo¹ de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Figura 12. Fotografía de tarope (*Eichhornia crassipes*)



Fuente: Demetrio Fernández Vaquero

2.4.2. Hábitat

Habita en cuerpos de agua dulce como los son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtropicos localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0 °C afectan su crecimiento al igual que alta salinidad. Sin embargo, cuerpos de agua eutroficados que contienen niveles altos de nitrógeno, fósforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento ya que puede anclarse y enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo.

Después de las grandes crecidas de los ríos, forma los camalotales o camalotes, especie de islas flotantes con sus raíces entrelazadas. Se mantienen a flote, gracias a los pecíolos de las hojas, que son esponjosos y están engrosados; y poseen un tejido con celdas o espacios amplios llenos de aire que le permiten a la planta mantenerse en la superficie. A su paso muchas veces arrastran y transportan animales y plantas variados. (Obando, 2006)

2.4.3. Composición química.

Así como las algas, la hierba del lecho del río y demás plantas acuáticas, el jacinto de agua tiene un alto contenido de agua entre 93 y 95%. Esta composición varía dependiendo del medio en el cual crezca la planta. Cuando hay escasez de elementos fertilizantes, se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes, la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso. (Obando, 2006)

Los principales mecanismos de depuración del jacinto de agua que actúan sobre las aguas residuales industriales son los siguientes:

- Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas del jacinto de agua.
- Eliminación de materia orgánica: La eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado. Una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación. (Obando, 2006)
- Eliminación de nitrógeno: El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por la planta y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación-desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.
- Eliminación de fósforo: El fósforo se elimina por absorción por el jacinto de agua, adsorción sobre las partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles, principalmente con Fe y Al, en suelos ácidos y con calcio en suelos básicos.
- Eliminación de microorganismos patógenos: Por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares. (Obando, 2006)

- **Trazas de Metales:** Tienen una alta afinidad por adsorción y complejación con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales. También existen transformaciones microbianas y asimilación por la planta, mediante la raíz, la cual atrapa y fija entre sus tejidos concentraciones hasta de 100 mil veces superiores a las del agua que las rodea.

La reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, por medio de ecosistemas acuáticos, con la participación activa de plantas superiores (macrófitas) adaptadas al medio acuático (hidrófitos), se conoce tradicionalmente como fitodepuración. La fitodepuración de las aguas residuales puede efectuarse por humedales naturales, en los que el hombre no interviene en su construcción o mediante humedales artificiales especialmente diseñados y construidos para la optimización de su función depuradora. (Obando, 2006)

2.4.4. Origen y distribución geográfica

Área de origen: América del Sur, principalmente en las llanuras de Venezuela y Colombia.

2.4.5. Importancia

Es plaga en diversas regiones del planeta. Por ejemplo, en España, debido a su potencial colonizador y constituir una amenaza grave para las especies autóctonas, los hábitats o los ecosistemas, ha sido incluida en el Catálogo Español de Especies exóticas Invasoras, aprobado por Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, estando totalmente prohibida en España su introducción en el medio natural, posesión, transporte, tráfico y comercio. (Pasto E. , 1997)

Sin embargo, en algunos países, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación, la *Eichhornia crassipes* ha sido aprovechada para utilizarla como fitorremediador: La planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más

importantes. Posee un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de la planta y son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio y arsénico específicamente). El mecanismo para lograr esto es por medio de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces.

Los guaraníes, que la llaman "*aguape*", la usaban como medicina para la fiebre, el dolor de cabeza y las diarreas. También se ha encontrado que es útil la diabetes, contusiones e, incluso, como afrodisíaco. También se usa para la fabricación de compost, papel y fibras textiles.

2.4.6. *Eichhornia crassipes* fitorremediación:

La fitorremediación aprovecha los procesos biológicos de las plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Una de las plantas acuáticas más utilizadas en este tipo de tratamiento biológico es la *Eichhornia crassipes*, por su capacidad de precipitar absorber y descomponer contaminantes. Esta planta contribuye a la reducción de la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno, sólidos solubles, nitritos, fosfatos, bacterias patógenas y metales pesados; que por su efecto toxico provocan problemas ambientales. Las potencialidades de la planta acuática *Eichhornia crassipes* fueron descubiertas por Sir Albert Howard en 1920; este brillante científico especializado en agricultura, realizó estudios sobre la planta en la india y publicó artículos relacionados con el aprovechamiento de ésta en la depuración de aguas residuales. El uso de la fitorremediación es un campo en creciente auge en los últimos años, debido a que pueden ser utilizados para el tratamiento de aguas residuales de una manera segura, confiable, estética, de bajo costo de operación y mantenimiento. (Yoma Isabel Mendoza Guerra, 2017)

Es una planta considerada plaga; sin embargo, podría aprovecharse como fitorremediador. *Eichhornia crassipes* es una de las especies más estudiadas, debido a sus características depuradoras y facilidad de proliferación. Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Posee un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de la planta. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio y arsénico específicamente). El mecanismo de cómo actúa es a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces. (Tohtli, 2014)

2.4.7. mecanismos de depuración e interrelación del tarope (*Eichhornia crassipes*) y mecanismos de depuración que ocurren dentro del estanque.

En el medio ambiente natural, cuando interacciona el agua, el suelo, las plantas y microorganismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos, y biológicos. Los sistemas de tratamiento se diseñan para aprovechar estos procesos con objeto de proporcionar tratamiento al agua.

Los procesos que intervienen en los sistemas de tratamiento natural incluyen muchos de los utilizados en las plantas de tratamiento.

- Sedimentación
- Filtración
- Transferencias de gases
- Adsorción
- Intercambio iónico
- Precipitación química
- Conversión y descomposición biológica

- Procesos propios como la fotosíntesis, la fotooxidación, y la asimilación de las plantas.

A diferencia de los sistemas mecánicos, en los que los procesos se llevan a cabo, de forma secuencial, en diferentes tanques y reactores a velocidades aceleradas como consecuencia del aporte energético, en estos sistemas los procesos se producen a velocidades "naturales" y tienden a realizarse de forma simultánea en un único "ecosistema".

El sistema del jacinto de agua es un filtro vivo, es un sistema de tratamientos de aguas abajo costo, hecho por el hombre de tal forma de emular y maximizar los procesos naturales de purificación conocidos y que se producen en estos sistemas.

En estos sistemas las plantas acuáticas bombean oxígeno desde el aire (atmósfera) hacia las raíces para así poder sobrevivir dentro de su hábitat.

La fina capa de oxígeno que cubre las raíces de las plantas que soportan a una población diversa de microbios aerobios que digieren moléculas orgánicas y a su vez liberan dióxido de carbono y agua.

La combinación de digestión y la absorción que toma lugar en este sistema provee de una reducción del CTO (Consumo Total de Oxígeno) y en la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y en las concentraciones compuestos tóxicos (metales pesados).

Estos tratamientos son capaces eliminar, hasta cierto punto, casi todos los constituyentes del agua considerada como contaminantes.

- Sólidos suspendidos
- Materia Orgánica
- Nitrógeno
- Fósforo
- Elementos traza.

- Compuestos orgánicos de traza.
- Microorganismos.

- **Sólidos suspendidos.**

Los sólidos suspendidos del agua se eliminan por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación y por la escasa profundidad, y por filtración a través de las formas vivas y de los desechos vegetales. En la interface suelo se produce una eliminación adicional.

- **Materia orgánica.**

La materia orgánica degradable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microbios responsables de esta degradación suelen estar asociados a películas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales. En general, éstos sistemas se diseñan y explotan de modo que resulte posible mantener condiciones aeróbicas, con la intención de que la degradación de la materia orgánica se realice, principalmente, gracias a la acción de microorganismos aeróbicos, ya que la descomposición aeróbica tiende a ser más rápida y completa que la anaerobia y por lo tanto, se consiguen evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia.

- **Nitrógeno.**

El nitrógeno es un elemento esencial puesto que es un elemento de proteínas. Las fuentes de nitrógeno en un estanque incluyen principalmente nitrógeno atmosférico (N_2) y productos de descomposición provenientes de materias orgánicas presentes en el estanque. La transformación y eliminación de nitrógeno en estos sistemas implica una serie de procesos y reacciones complejas. Los mecanismos implicados en la eliminación de nitrógeno del agua dependen de la forma en que está presente el nitrógeno.

- Nitrógeno orgánico
- Nitrógeno amoniacal (NH_3 Amoniacal libre o No Ionizado y NH_4 Amonio Ionizado).

- Nitrógeno en forma de nitratos (Nitritos NO_2 y Nitrato NO_3)
- Desnitrificación Biológica
 - a. **Nitrógeno orgánico.** - El nitrógeno orgánico asociado a los sólidos suspendidos presentes en el agua, se elimina por sedimentación y filtración. El nitrógeno orgánico en fase sólida se puede incorporar directamente al humus del suelo, que consiste en moléculas orgánicas complejas de gran tamaño que contienen carbohidratos complejos, proteínas, sustancias proteínicas y ligninas. Parte del nitrógeno orgánico se hidroliza para formar aminoácidos que se pueden descomponer, adicionalmente para producir iones amonio (NH_4).
 - b. **Nitrógeno amoniacal.** - En estos sistemas de tratamiento, el nitrógeno amoniacal puede seguir diferentes vías de descomposición. El amoniaco soluble se puede eliminar por volatilización directa a la atmósfera en forma de amoniaco gas. Esta vía de eliminación es de un 10%.

La mayor parte del amoniaco afluyente y del amoniaco convertido se absorbe temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del suelo y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga. El amoniaco absorbido es apto para el consumo por la vegetación y los microorganismos, o para la conversión a nitrógeno en forma de nitrato mediante la nitrificación biológica bajo condiciones aeróbicas.
 - c. **Nitrógeno en forma de nitrato.** - No sufre reacciones de intercambio iónico debido a su carga negativa, permanece en solución, y es transportado como parte del agua percolada. Si no se elimina por consumo de las plantas o por procesos de desnitrificación, el nitrato es lixiviado o percolado alcanzando las aguas subterráneas subyacentes. La vegetación puede asimilar los nitratos, pero ello solo se produce en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo, la que posteriormente se debería recoger y retirar de sistema.

Los nitratos son fácilmente asimilados para nuevos tejidos por las plantas, o se convierte en nitrógeno elemental por la bacteria de desnitrificación. Algunos nitratos se pierden en los sedimentos.

d. Desnitrificación / Nitrificación Biológica.- Los nitratos también se eliminan por desnitrificación biológica y posterior liberación del óxido nitroso gaseoso y del nitrógeno molecular a la atmósfera. En los sistemas acuáticos la desnitrificación biológica es el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno. Para que la desnitrificación sea completa, es necesario que la relación carbono/nitrógeno sea de al menos 2:1.

En la nitrificación, la bacteria del genero *Nitrosomonas* convierte el amoníaco en nitrito, y la bacteria del genero *Nitrobacter* convierte nitrito en nitrato bajo ciertas condiciones. Estas formas inorgánicas pueden ser tóxicas, es por esta razón que la amonificación, nitrificación y desnitrificación son procesos importantes en los sistemas de acuicultura.

e. Fósforo. - Los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen son por adsorción, precipitación química y las plantas que los consumen. El fósforo, normalmente presente en forma de ortofosfatos, es absorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas de la matriz del suelo. La precipitación química con calcio (a pH's neutros o alcalinos) o con hierro o aluminio (a pH's ácidos), se produce a menor velocidad que los fenómenos de adsorción. Estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

f. Elementos traza. - La eliminación de los elementos traza (principalmente metales) se produce, fundamentalmente, por el mecanismo de adsorción (término que engloba reacciones de adsorción y precipitación) y, en menor grado, mediante la asimilación de algunos metales por parte de las plantas. Los metales son retenidos en el suelo o en los sedimentos de los sistemas acuáticos. Los rendimientos de eliminación suelen ser menores al 80% debido al contacto limitado con sólidos y sedimento.

g. Compuestos Orgánicos a nivel de traza. - Los compuestos orgánicos de traza se eliminan del agua por volatilización y adsorción seguidas de degradación biológica o fotoquímica.

En general, los sistemas permiten eliminar una fracción importante de los compuestos orgánicos de traza; sin embargo los datos de que se dispone

en la actualidad no permiten predecir los rendimientos de eliminación de compuestos individuales.

- h. Microorganismos.-** Los mecanismos de eliminación de las bacterias y parásitos (protozoos y helmintos) comunes a la mayoría de los sistemas de tratamiento natural incluyendo la muerte, retención, sedimentación, atrapamiento, depredación, radiación, desecación y adsorción. Los virus se eliminan casi exclusivamente por adsorción y posteriormente muerte.

2.4.8. Condiciones para el tratamiento

- ❖ **Topografía.** El terreno debe tener una topografía uniforme horizontal o con ligera pendiente.
- ❖ **Característica del suelo.** Los suelos más indicados son aquellos de permeabilidad lenta (<5 mL/hora). Es necesario minimizar las pérdidas de agua por percolación.
- ❖ **Clima.** El jacinto de agua puede tolerar temperaturas entre 16 y 30 °C, con el óptimo comprendido entre 20 y 26 °C [6]
- ❖ **Profundización.** Desde 0.45 m hasta 1.2 m para tratar de que el agua tenga un mezclado vertical para que entre en contacto las raíces de las plantas con las zonas en las que se encuentran las bacterias. A menores concentraciones de nutrientes del agua se puede manejar profundidades mayores, puesto que las raíces de la planta crecen en longitud y los absorben también del suelo.
- ❖ **Carga orgánica.** La carga orgánica expresada en términos de DBO puede variar entre 1 y 30 ppm al día (10 y 300 kg/ha. día).

2.4.10. Preparación de la planta

- ❖ **Selección.** - La cepa inicial se puede extraer de humedales naturales. Se escogen las plantas más pequeñas y que estén floreciendo para ayudar en los

procesos reproductivos. Las plantas grandes se rechazan puesto que fácilmente se estropean en su recolección, transporte, desinfección y siembra.

- ❖ **Desinfección.** - El jacinto de agua se deposita en tanques de depuración de 10m³ de capacidad (o dependiendo de la cantidad a tratar), las que tenían agua circulante
- ❖ drenada por el fondo para la eliminación de sedimentos. Posteriormente se recupera el nivel y se mantiene para proceder a aplicar cloro con una concentración aproximada de 50 ppm, para combatir microorganismos como hongos, bacterias y otros, además de rotenona a una concentración de 2.5 ppm, para la eliminación de peces.
- ❖ **Siembra.** - Después de un periodo de tiempo conveniente de desinfección, las plantas se colocan en gavetas para facilitar su transporte hasta el estanque en donde luego se colocan en cercos, con el máximo cuidado, desechando plantas estropeadas, quebradas, etc. Existen varias maneras de colocar los cercos para el jacinto de agua.

2.3.7.6.3. Ventajas y desventajas

2.3.7.6.3.1. Ventajas.

Los estanques de jacinto de agua es técnica económicamente factible para tratar efluentes industriales por varias razones:

- Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros)
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- Los estanques soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.
- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.
- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua,

- como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.
- Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.

2.3.7.6.3.2. Desventajas.

- Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con estanques de jacinto de agua puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.
- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional porque depende de los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.
- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.
- Además, el uso de estanques de jacinto de agua para el tratamiento de efluentes industriales es de reciente desarrollo y no existe aún un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y no se cuenta con suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo.
- Si no se controla la expansión del jacinto de agua sobre la superficie del estanque, pueden sobrevenir una serie de eventos perjudiciales tanto para la dinámica del estanque como para el medio ambiente, tales como:
 - Obstruir los canales de flujo de corrientes de agua.
 - Exceder la cantidad máxima de nutrientes requeridos, dejando a las demás especies cohabitantes sin posibilidades de subsistencia.
 - Convertirse en refugio optativo para plagas, roedores, depredadores y especies dañinas que pueden generar un desequilibrio en el ecosistema.
 - Invadir otros ecosistemas, si los desechos de esta planta no se eliminan correctamente o no se le da un destino más productivo como por

ej. producción de biogás, producción de biomasa para alimento de animales, etc.

- Pérdida de agua a la atmósfera por excesiva evapotranspiración.

2.5. Marco legal.

Ley del Medio Ambiente. N° 1333 del 27 de abril de 1992

Artículo 1º.- La presente Ley 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.

Artículo 2º.- Para los fines de la presente Ley, se entiende por desarrollo sostenible el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente.

Artículo 3º.- El medio ambiente y los recursos naturales constituyen patrimonio de la Nación, su protección y aprovechamiento se encuentran regidos por Ley y son de orden público.

Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH)

Artículo 1º La presente disposición legal reglamenta la Ley del Medio Ambiente N° 1333 del 27 de abril de 1992 en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sostenible.

Artículo 2º El presente reglamento se aplicará a toda persona natural o colectiva, pública o privada, cuyas actividades industriales, comerciales, agropecuarias, domésticas, recreativas y otras, puedan causar contaminación de cualquier recurso hídrico.

Artículo 46º Todas las descargas a lagos de aguas residuales crudas o tratadas procedentes de usos domésticos, industriales, agrícolas, ganaderos o cualquier otra actividad que contamine el agua, deberán ser tratadas previamente a su descarga hasta satisfacer la calidad establecida del cuerpo receptor.

2.6. Marco Conceptual

- ❖ **Tratamiento Primario o Tratamiento Físico-Químico.-** Busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química. (AGUASISTEC, 2018)
- ❖ **Tratamiento Secundario o Tratamiento Biológico.** - Se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Suele aplicarse tras los anteriores. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final. (AGUASISTEC, 2018)
- ❖ **Tratamiento Terciario o Tratamiento Físico-Químico y Bacteriológico.** - Desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes). (AGUASISTEC, 2018)
- ❖ **Fitorremediación.-** La fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar

su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas. (Carlos Garbisu, 2008).

- ❖ **Aguas residuales crudas.-** Aguas procedentes de uso domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992, pág. 179)
- ❖ **Aguas residuales tratadas.** - Aguas procesadas en plantas de tratamientos para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase del cuerpo receptor a que serán descargadas. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992, pág. 179)
- ❖ **Contaminación de aguas.-** Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud de hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Cuerpo receptor.-** Medio donde se descargan aguas residuales crudas o tratadas. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Descarga.-** vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992).
- ❖ **DBO5.-** Demanda química de oxígeno (en mg/l). es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **DQO.** -Demanda química de oxígeno (en mg/l). cantidad de oxígeno para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992).

- ❖ **Informe de caracterización.-** Informe de un laboratorio de servicio autorizado sobre los resultados de los análisis de una muestra de agua. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Laboratorio autorizado.-** Laboratorio que ha obtenido la acreditación de MDSMA para efectuar análisis físico-químicos y biológicos de las aguas naturales, aguas residuales, cuerpos receptores y otros necesarios para el control de la calidad del agua (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Limite permisibles.-** Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humano y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Solidos sedimentables.-** Volumen que ocupan las partículas sólidas contenidas en un volumen definido de agua, destancadas en dos horas; su valor se mide en mililitros por litro (ml/l). (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992).
- ❖ **Solidos suspendidos totales.-** Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro N°42. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Fitorremediación.** - La fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas. (Carlos Garbisu, 2008)
- ❖ **Depuración de aguas residuales.-** Depurar el agua, en este sentido, consiste en diversas operaciones químicas, biológicas y físicas cuyo objetivo es reducir

o eliminar la contaminación tienen a menudo problemas de salud. (Gardey, 2002)

- ❖ **Contaminación de aguas.** La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier cosa viva que consuma esa agua. Cuando los seres humanos beben el agua contaminada. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992).
- ❖ **Contaminación.** - La contaminación es la presencia o acumulación de sustancias en el medio ambiente que afectan negativamente el entorno y las condiciones de vida, así como la salud o la higiene de los seres vivos. Con este significado también se suele utilizar el concepto de contaminación ambiental. (Ley de Medio Ambiente 1333, 1992)
- ❖ **Pretratamiento.** - Busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos tales como rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores. (AGUASISTEC, 2018)

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.

A continuación, se describen los pasos que se siguieron para la realización de la investigación.

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Descriptivo.

Este tipo de estudio es usualmente describe situaciones y eventos, es decir como son y cómo se comportan determinados fenómenos.

(Sampieri R. H., 1991). Afirma que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro tipo de fenómeno que sea sometido a análisis” (Pág. 60).

Este estudio fue tomado en cuenta porque con relación a los humedales artificiales, se describe los diferentes tipos de humedales artificiales y los pasos para diseñar un humedal artificial. Del mismo modo se describe, la situación actual en la que se encuentra la P.T.A.R. de la ciudad de Riberalta.

3.2. Diseño de la investigación.

3.2.1. Investigación básica o pura.

(Justiniano, 2015) Este tipo de investigación tiene como propósito recoger información de la realidad para ampliar el conocimiento y enriquecer la teoría ya existente. (pág. 27)

Mediante el diseño de investigación, se ha recolectado información fidedigna de las aguas provenientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de la ciudad de Riberalta, mediante el Laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno (UAGRM). A través de los resultados que se obtuvieron de las muestras de aguas residuales se dio a conocer las características de las aguas residuales que sale por el efluente de la P.T.A.R.

3.3. Métodos y técnica de recolección de datos.

(Bernal C. A., 2006) Afirma que “Un aspecto de muy importante en el proceso de una investigación es que tiene relación con la obtención de la información, pues de ello dependen la confiabilidad y validez del estudio”. (pág. 174)

3.3.1. Fuentes primarias.

- ❖ **Observación directa.** Se realizó la observación directa en el área de estudio para determinar el problema identificado.
- ❖ **Entrevista.** Se realizó entrevistas a profesionales conocedores del tema y a personas con conocimientos empíricos, con la finalidad de identificar los problemas que se presentan en la planta de tratamiento de la ciudad de Riberalta.

3.3.2. Fuentes secundarias.

- Análisis de documento.
- Sitios de Internet.
- Artículos académicos publicados por expertos

3.3.3. Proceso de recolección.

La fase cualitativa de la investigación consistió en la realización de entrevistas a profundidad a las personas conocedores

3.3.3.1. Población y muestra.

3.3.3.1.1. Población. Según (Francisca, 1998), menciona que es “el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación. Se puede definir también como el conjunto de todas las unidades de muestreo”. (pág. 36)

La población que se utilizó en la investigación, es la planta de tratamiento de aguas residuales P.T.A.R. de la ciudad de Riberalta, que consta de dos lagunas aeróbicas, dos lagunas facultativas y tres lagunas de maduración.

3.3.3.1.2. Muestra. Según (Bernal C. A., 2006), afirma que “es la parte de la población que se selecciona, la de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectúan la medición y la observación de las variables objeto de estudio ”.(pág.165)

Para determinar la muestra se escogió una laguna de la planta de tratamiento, la laguna de maduración tres.

3.3.3.1.3. Tamaño de muestra.

La laguna de maduración consta de 100 metros de ancho por 50 metros de largo y 1 metro de profundidad.

3.3.3.1.4 Tipo de muestreo.

No probabilístico porque solo se tomó una muestra de agua en efluente de la P.T.A.R.
Muestra simple

3.4. Enfoque de investigación:

El enfoque de la investigación fue de tipo cualitativo y cuantitativo. Es decir que fue una investigación de tipo mixto. Se realizó una recolección de datos sin medición numérica y con medición numérica.

3.4.1. Cualitativo.

Enfoque cualitativo. Utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación.

La presente investigación es cualitativa porque se ve las cualidades necesarias para mejorar el área de estudio.

3.4.2. Cuantitativo.

Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teoría.
(Sampieri R. H., 2010)

La investigación es cuantitativa, porque se obtendrá resultados de laboratorio y se cuantificará el grado de contaminación de las aguas residuales de acuerdo a los parámetros y los límites máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores, que establece la normativa ambiental vigente.

CAPITULO IV. MARCO CONTEXTUAL.

4.1. Generalidades:

(Diaz, 2010) “Contextualizar un trabajo de investigación es describir donde (lugar o ambiente) se ubica el fenómeno o problema de investigación”. (Pág. 4’)

4.2. Servicio municipal de agua potable y alcantarillado sanitario (SEMAPAR)

El Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario – SEMAPAR es la responsable de la distribución de agua potable en la ciudad de Riberalta. Esta empresa municipal fue creada el 10 de septiembre del año 2002 como órgano técnico financiero con autonomía de gestión según Ordenanzas Municipales.

4.2.1. Agua potable

En Riberalta se instala el sistema de distribución de agua por cañería en los años 1997 y 1998. Actualmente “Tiene una red de agua potable de 120 kilómetros en tuberías, con una capacidad para 3800 medidores. En la actualidad se cuenta con 3680 conexiones domiciliarias distribuidos en los distritos 1, 2, 3, lo que representa solo a un 35% de la población urbana. Todos los usuarios cuentan con medidor instalado.” (CIDDEBENI Centro de Investigación y Documentación para el Desarrollo del Beni, Diagnóstico Municipal Consolidado – Riberalta, Pág. 18). Por medio del Proyecto Mejoramiento de Barrios se aprueba la ampliación de la red de agua potable a 5 barrios: Villa Don Carlos, Villa Británica, Verdolago, El Palmar y 11 de octubre, ubicados en los distritos IV y V.

Inicialmente la provisión de agua era de tres pozos perforados a 180 metros de profundidad; actualmente se provee de agua a la población de un solo pozo a través de un tanque elevado de almacenamiento ubicado en el centro de la ciudad (Distrito II).

El tratamiento de desinfección bacteriológica del agua es con la aplicación de cloro (hipoclorito de calcio) que libera al agua de cualquier contaminación; sin embargo, la ausencia de instalaciones para realizar un tratamiento físico químico de este líquido elemento en el municipio, SEMAPAR brinda agua segura pero no potable, ya que el agua que llega a las viviendas tiene un sabor salino y color desagradable en ciertos sectores de la actual red (por contener cantidades de magnesio y potasio).

“Sin embargo, por las distancias hasta los extremos del sistema, y la elevada demanda por el agua, se sufren escasez temporal de agua con racionamiento del servicio durante horas de la noche. Se puede identificar un problema fundamental con el servicio de agua en las sucesivas ampliaciones al sistema en cuanto a la distribución sin una correspondiente ampliación de la fuente de abastecimiento. Como resultado, actualmente se considera que es necesario rehabilitar dos pozos que están en desuso y perforar dos pozos adicionales.

Para mejorar la calidad del agua se requiere construir una planta de tratamiento con capacidad reprocesar 650 metros cúbicos por hora” (CIDDEBENI, 2018, pág. 18) Dotar de agua potable y dar continuidad al suministro del líquido elemento a la población riberalteña es el reto más grande que actualmente encara SEMAPAR frente al constante crecimiento demográfico y expansión de urbanizaciones, además de no contar con nuevos caudales, ausencia de una Planta de Tratamiento que elimine el sabor salino del agua, y la falta de información de éstos temas en los usuarios del servicio, hace que las familias opten por habilitar sus norias e inutilizar las piletas (en muchos de los casos).

4.2.2. Alcantarillado Sanitario

El alcantarillado sanitario en el municipio consta de una extensa red de colectores e interceptores que abarca el 70% de cobertura en los Distritos I y II del municipio, la construcción de una planta de tratamiento de aguas conformada por dos lagunas anaeróbicas, dos facultativas y tres de maduración construidas en una superficie de once hectáreas distantes a un kilómetro de la zona baja de la ciudad.

La disponibilidad del actual servicio llega a un total de 3.249 habitantes dispersos en 658 familias y la población que no cuenta con la infraestructura sanitaria es 102.438 habitantes reunida en 20.611 familias como lo muestra el siguiente cuadro. Y el distrito II cuenta con una red Sanitaria condominial con 2.260 viviendas que no utilizan el servicio por fallas en el sistema

Cuadro 4. Cobertura de alcantarillado

Localidad	Población Total área Urbana	Cobertura de alcantarillado	Población sin el servicio
Riberalta	105.687	3.249	102.438

Fuente: Elaboración propia

4.3. Planta de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R)

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Riberalta actualmente es operada por la empresa de agua potable y alcantarillado sanitario Riberalta (SEMAPAR), es la que se encarga de mantener en funcionamiento.

La presente investigación será, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R.), que consta de 3 hectáreas, está ubicado en el barrio 11 de octubre del

Municipio de Riberalta, Provincia Vaca Díez, Departamento Beni.

La planta de tratamiento de tratamiento PTAR se conforma de dos lagunas anaerobias, dos lagunas facultativas y tres lagunas de maduración.

- **Laguna anaerobia.** – Las lagunas anaerobias se utilizan como primera fase en el tratamiento de las aguas residuales, con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual, y no la obtención de una fuente de alta calidad.

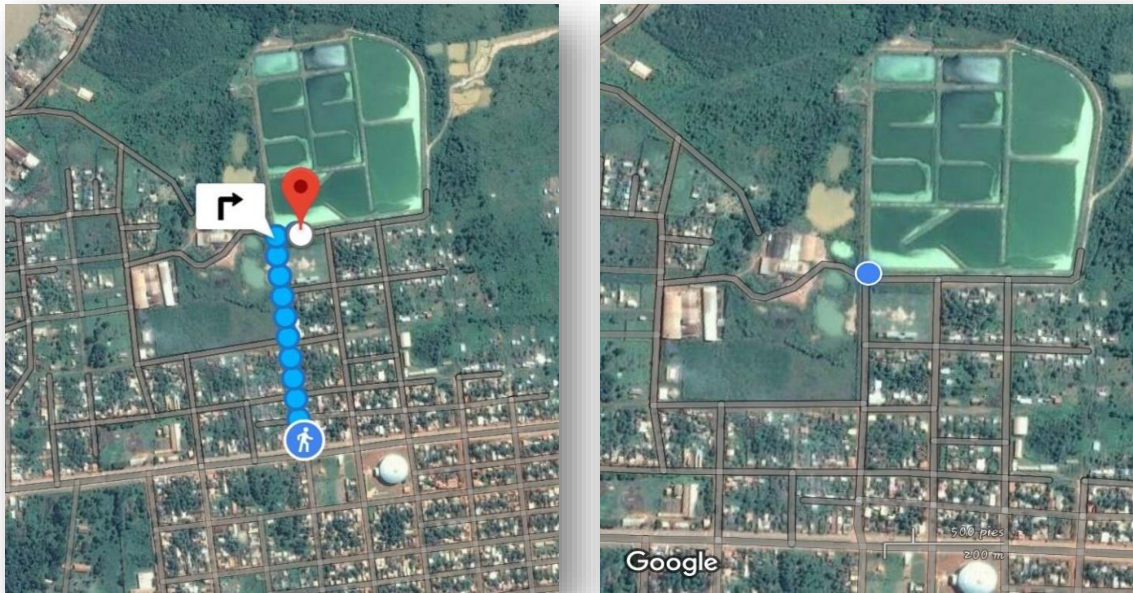
Como su nombre indica, en las lagunas anaerobias se produce la degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno.

- **Laguna facultativa.** – Una laguna facultativa es básicamente una cuenca usualmente excavada en la tierra e impermeabilizada, con el fin de dar tratamiento a las aguas residuales. Forma parte del grupo de lagunas de oxidación o estabilización y por tanto tienen sus mismas ventajas y desventajas.
- **Usos:** Se utilizan para tratar aguas residuales municipales e industriales, no requiere tratamiento primario, aunque es recomendable y/o necesario utilizar un pre tratamiento basado en retirar las partículas grandes que pueda contener el agua residual, así como la arena. Es frecuente encontrar plantas de tratamiento que consistan de un pre tratamiento y una laguna facultativa. La carga orgánica que soporta el de 19 a 67 kgDBO₅ ha. d, en los lugares en que la temperatura en verdad del aire superior a los 15 °C la carga puede llegar hasta los kgDBO₅ ha. d. (Adminmgv, 2016)
- **Laguna de maduración.** - Las lagunas de maduración o pulimento, en general prosiguen de un proceso de laguna facultativa primaria o secundaria, están diseñadas principalmente para el tratamiento terciario, es decir, la eliminación de patógenos, nutrientes y posiblemente algas. Forman parte de las lagunas de Oxidación o estabilización por lo que tiene características y procesos de construcción similares.

Son muy poco profundas (por lo general 0,9 a 1 m de profundidad), para permitir la penetración de la luz a la parte inferior y condiciones aeróbicas durante toda la profundidad. La carga en el estanque de maduración se calcula sobre la

suposición de que 80% de la DBO se ha eliminado en el tratamiento anterior.
(Adminmgv, Tratamiento del agua, 2016)

Figura 13. Imagen satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).



Fuente: Google Earth

CAPITULO V. DIAGNOSTICO.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Riberalta, es una planta que fue diseñada para un proceso de tratamiento biológico, en base a las condiciones climáticas que existe en nuestra región y trabaja netamente por gravedad. Actualmente se encuentra funcionando en óptimas condiciones, por los factores, sol, y viento lo que hace favorable para su proceso de tratamiento por el cual fue diseñada. Sin embargo, esta planta, no cuenta con el personal ni los equipos de laboratorio necesarios, para determinar el grado de contaminación de las aguas tratadas que descarga al rio Beni, de igual forma, solo trabaja normalmente en los meses de junio, julio, agosto, septiembre, y octubre, por lo que en estos meses el clima es favorable para su tratamiento, pero en los meses de noviembre diciembre hasta fines de mayo, el proceso de tratamiento es perjudicado, por las intensas lluvias y las bajas temperaturas de los sures que se presentan.

Figura 13. Fotografía de la laguna anaeróbica de la P.T.A.R



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI. DETERMINACIÓN DE MODELOS, ANÁLISIS DE MODELOS: REAL E IDEAL.

6.1. Modelo Real.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), no cuenta con el personal necesario, ni con los equipos de laboratorio, para realizar los análisis y muestreos de las aguas residuales que recibe la laguna de oxidación el cual se encuentra ubicada en el barrio 11 de octubre del Municipio de Riberalta, prov. Vaca Diez Departamento Beni.

6.2. Modelo Ideal.

Con la implementación de un humedal artificial, utilizando la especie de planta depuradora de aguas taropé (*Eichhornia Crassipes*). “Permite que los que los nutrientes sean absorbidos directamente por las raíces de la planta. El agua lleva compuestos nitrogenados, fosfatos, etc. Que el taropé necesita para su crecimiento. El uso controlado de estas plantas aumenta la capacidad la capacidad de reducción de la DBO₅ y de los sólidos en suspensión. Además, disminuye también los patógenos del agua”. (Pasto E. , 1997)

CAPITULO VII. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS- Discusión y análisis.

7.1. Análisis e interpretación de datos cualitativos: observación directa y Entrevistas.

7.1.1. Observación directa.

Cuadro 5. Guía de observación directa.

Observación directa
SITUACIÓN O ELEMENTO A OBSERVAR: el comportamiento de las aguas residuales.
OBJETO: observar el cambio de coloración de las aguas en las diferentes lagunas.
LUGAR: Planta de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R.) del municipio de Riberalta
FECHA DE OBSERVACION: 17 de octubre 2018

Fuente: Elaboración propia

Mediante la observación directa se pudo constatar que no existía un proceso de tratamiento eficiente en la planta de tratamiento de aguas residuales, de la misma manera se observó el cambio de coloración de las aguas en las diferentes lagunas que conforman la planta de tratamiento.

7.1.2. Entrevistas.

Dado el amplio y vasto conocimiento que poseen estas personas, se les ha realizado una entrevista en profundidad con la que se ha pretendido manifestar posibles explicaciones, obstáculos, inconvenientes, estimaciones, etc., que existen en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Riberalta.

Cuadro 6. Guía de entrevista.

ENTREVISTA	
Entrevistador:	Univ. Jose Fernando Roca Siripi
Fecha:	24 de septiembre del 2018
Lugar:	Planta de tratamiento de aguas residuales P.T.A.R. del municipio de Riberalta.
Hora:	09:30 am.
Entrevistado:	Lic. Mauro Marcelo Roca
Institución:	SEMAPAR
Cargo:	Encargado de la P.T.A.R.
Preguntas de la entrevista	
Cuál es la función social de la ptar	
En qué estado se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales.	
Cuál es el proceso de tratamiento de la ptar.	

7.2. Interpretación de datos cuantitativos: resultado del análisis del agua

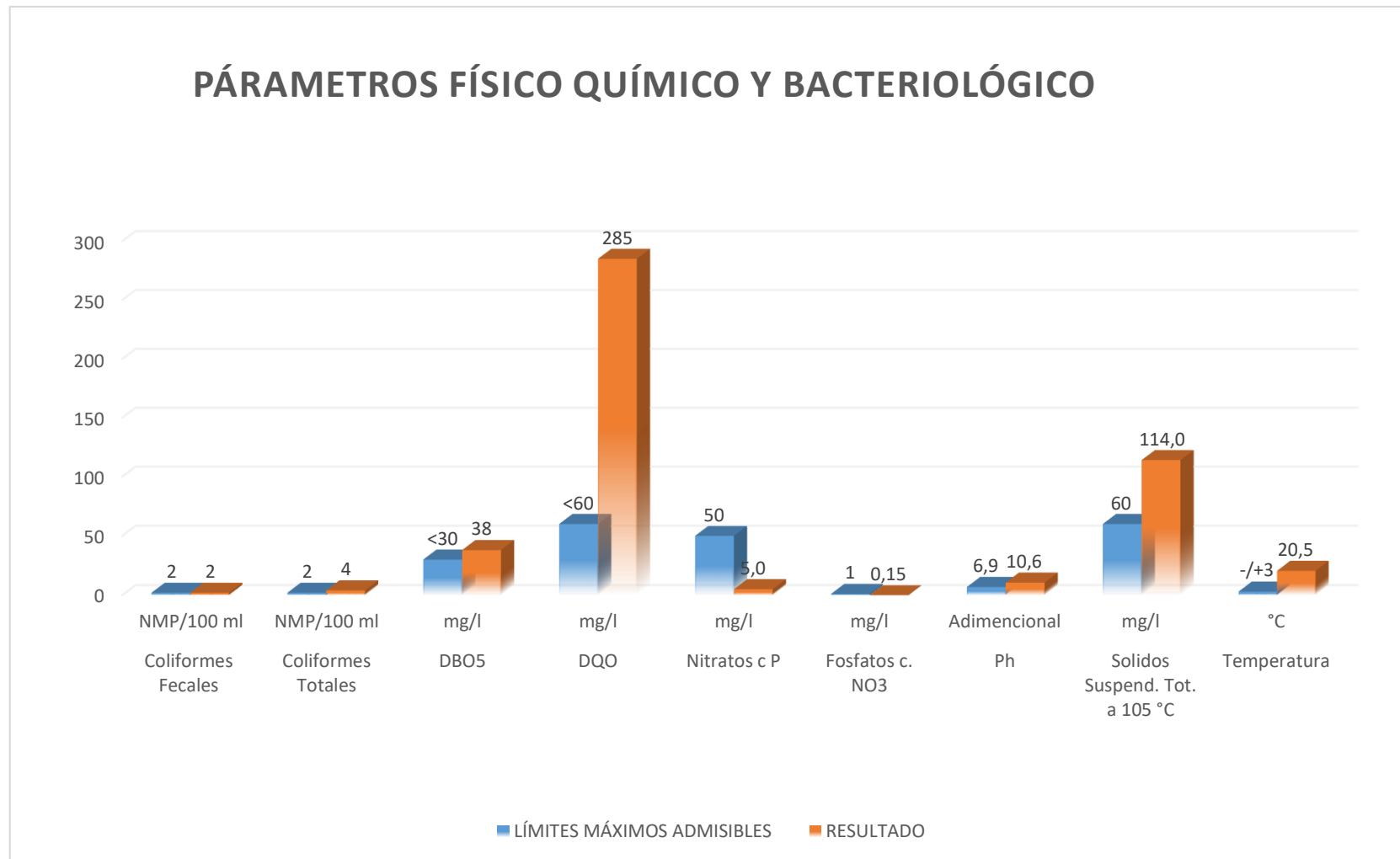
La siguiente interpretación está basada en el cuadro A-1, valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores clase D del reglamento en materia de contaminación atmosférica (RMCH).

7.2.1. Características de los parámetros físicos químicos y bacteriológicos

- **pH.** Es una unidad de medida de alcalinidad o acidez, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrogeno (H^+). Las mediciones del pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerando como neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran alcalinos. (Carbotencia, 2014)
- **Temperatura.** La temperatura de agua residual suele ser superior a la del agua de consumo, por el aporte de agua caliente procedente de usos domésticos e industriales. La temperatura del agua afecta a la solubilidad de sales y gases y en general a todas sus propiedades químicas y a su comportamiento microbiológico. (Garcia., 2018)
- **Sólidos suspendidos totales.** - Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua , retenidas en un papel filtro N°42
- **Nitratos.** Los nitratos (NO_3) son una fuente vital de nitrógeno (N) para las plantas. Cuando se utilizan fertilizantes de nitrógeno en la tierra, los nitratos pueden ser transportados por la lluvia, el riego y otras aguas superficiales a través del suelo hacia el agua subterránea. Los desechos humanos y de animales también pueden agregar a los nitratos en el agua subterránea. Los altos niveles de nitratos en el agua potable también pueden sugerir que hay otros contaminantes. Los nitratos son muy solubles Los nitratos se disuelven fácilmente en el agua y llegan así al en agua suministro de agua de consumo humano. No confieren ningún sabor u olor a las aguas de bebida. (Culligan, 2016)

- **Fosfatos.** Son las sales o los Ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de Oxígeno en forma tetraédrica. Los fosfatos secundarios y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de Sodio, Potasio y amonio. Los compuestos del fosfato son nutrientes de las plantas que y conducen al crecimiento de las algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan solo 1 gramo de fosfato provoca el crecimiento de hasta 100 g. de algas. (Gomez, 2013)
- **coliformes totales.** Son bacterias que viven en el tracto intestinal de animales de sangre caliente. Su presencia en agua indica contaminación microbiana
- **coliformes fecales.-** es un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excrementos de los humanos y animales. (Carolina, 2009)
- **DBO.** –Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20°C y en 5 días
- **DQO.** - Demanda química de oxígeno (en mg/l). Cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por in proceso de digestión en un lapso de 3 horas.

Figura 14. Interpretación grafica de los Parámetros Físico químicos y bacteriológicos



Fuente: Elaboración propia

7.2.1. Interpretación de datos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la muestra de aguas residuales mediante el laboratorio de los factores físicos químicos y bacteriológicos

El pH del agua de agua residual analizado mide 10,60 esto nos indica que el agua es alcalina y está por encima de los límites máximos admisible que es de 6 a 9 en cuerpos receptores.

El pH alcalino del agua residual. Esta provocada por “la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. (Aguamarket, 2017)

La temperatura obtenida por el resultado del análisis del laboratorio mide 20°C y está por encima de lo que estable el Reglamento que establece +/- 3 en cuerpos receptores,

La alta temperatura ejerce una acción perjudicial agua del cuerpo receptor, pudiendo modificar la flora y fauna de estas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

También el aumento de la temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura. (Garcia, 2018)

A través del resultado obtenido, los sólidos suspendidos o sólidos en suspensión tiene como resultado 144,0 la cual indica un porcentaje elevado de acuerdo al reglamento en materia de contaminación hídrica.

Los elevados solidos suspendidos indica que existe un alto porcentaje de materia orgánica e inorgánica en el agua residual.

Los sólidos en suspensión absorben la radiación solar, de modo que modo que disminuye la actividad fotosintética de la vegetación acuática. (Copyright, 2013)

El resultado del nitrato obtenido es $<5,0$ lo cual indica que está dentro de los valores máximo admisibles de parámetros en cuerpos receptores que establece el reglamento.

El nitrato es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos, si el agua residual no contiene suficiente Nitrógeno puede ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también el Nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones. (Aula, 2018)

El resultado obtenido del fosfato es $0,15$ lo cual indica que está por debajo de los valores máximo admisibles que es de $1,0$ en parámetros para cuerpos receptores que establece el reglamento.

El resultado de los Coliformes totales es de 2 lo cual indica que está dentro de los parámetros que establece el reglamento.

El resultado del análisis de los coliformes fecales presentes en el agua residual es 4 lo cual indica que está por encima de los valores máximos admisibles que establece el reglamento.

El resultado de la DBO5 que se obtuvo del laboratorio es de $38,0$ esto nos indica que supera lo que establece el reglamento que es de <30 para los cuerpos receptores.

La DQO de la muestra dio un resultado de $285,8$ esto nos indica que es bastante elevado a lo que establece el reglamento.

CAPITULO VIII. PROPUESTA.

La presente propuesta de diseño de un sistema de depuración de aguas residuales mediante un humedal artificial con el tarope (*Eichhornia crassipes*) para la ptar de la ciudad de Riberalta, consta de lo siguiente:

8.1. Criterios de diseño

El sistema de humedal artificial son ecosistemas vivos en los cuales los ciclos de vida y muerte de la biota producen residuos que pueden ser medidos en función de DBO, SST, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. Como resultado, y en forma independiente del tamaño del humedal o las características del afluente, en estos sistemas siempre existen concentraciones naturales de esos materiales. La Tabla 2 resume esas concentraciones naturales.

Cuadro 7. Concentraciones naturales en humedales de flujo libre

Constituyente	Rango de concentración
DBO (mg/L)	1 a 10
SST (mg/L)	1 a 6
Nitrógeno total (mg/L)	1 a 3
Nitrógeno como NH ₃ /NH ₄ (mg/L)	menos de 0.1
Nitrógeno como NO ₃ (mg/L)	menos de 0.1
Fósforo total (mg/L)	menos de 0.2
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	50 a 500

8.2. Operación y mantenimiento

Los requisitos de operación y mantenimiento (O/M) rutinarios de los humedales FLS son similares a los de las lagunas facultativas. Estos incluyen el control hidráulico y de profundidad del agua, la limpieza de las estructuras de entrada y descarga, el corte de

la hierba en bermas, la inspección de la integridad de las mismas, el manejo de la vegetación del humedal, el control de mosquitos y vectores de enfermedades (de ser necesario), y el monitoreo rutinario.

La profundidad del agua en el humedal puede requerir ajuste periódico según sea la estación o en respuesta al aumento a largo plazo de la resistencia por la acumulación de detritos en el canal del humedal. Los mosquitos pueden requerir control dependiendo de las condiciones y requisitos locales. La población de mosquitos en el humedal de tratamiento no debe exceder el de los humedales naturales cercanos. El manejo de la vegetación en estos humedales FLS no incluye el corte rutinario y la disposición del material podado. La remoción de Contaminantes por parte de la vegetación es sembrada, las plantas, las estructuras de entrada y descarga, las cercas, tuberías misceláneas, la ingeniería, los costos legales, las contingencias, y los gastos fijos y ganancia del contratista. El recubrimiento pueden ser el elemento más costoso.

Los elementos más principales que generan costos son los siguientes:

- Costo del terreno.
- Evaluación del sitio.
- Limpieza del sitio.
- Movimiento de tierra.
- Recubrimiento e impermeabilización
- Estructuras de entrada y descarga

8.3. Modelo general del diseño del humedal artificial.

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO5 y nitrógeno.

Según, Lara (1999) y Sánchez (2005), Citado por (Torres, 2013), sugieren varios diseños debido a la falta de consenso universal sobre la aproximación del diseño dando como lugar a la aplicación de las siguientes fórmulas.

Ecuación básica para determinar el caudal:

Cuadro 8. Formula básica para determinar el caudal

$$Q = \frac{Q_e + Q_o}{2}$$

Donde:

Q = Caudal medio del humedal en m³ /día

Q_e = Caudal de entrada o efluente

Q_o = Caudal de salida o afluyente

Fuente: (Lara, 1999)

Es necesario calcular el caudal medio del humedal mediante la siguiente fórmula, para estimar las pérdidas o ganancias de agua causada por la precipitación o filtración a través del sistema. (Lara, 1999)

Tras la obtención del caudal, se debe determinar el área superficial (Lara, 1999) Y (Torres, 2013) sugieren la fórmula:

Cuadro 9. Fórmula para determinar el área superficial

$$AS = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:**As** = Área Superficial**Q** = Caudal**ln (DBO5) e** = Concentración del contaminante al ingreso**ln (DBO5) s** = Concentración del contaminante al Salida**K_T** = constante de temperatura en el humedal**y** = Profundidad del Humedal**n** = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal.**Fuente:** (Lara, 1999)**8.4. Diseño Hidráulico.**

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. En los humedales HSS se asumen condiciones uniformes de flujo a pistón, y el flujo debe superar la resistencia por fricción, provocado por el medio, y las raíces de las plantas. La relación largo – ancho tiene gran influencia en el régimen hidráulico como en la resistencia de flujo del sistema, esta relación para HSS no debe superar 4:1. (Lara, 1999)

La retención hidráulica para alcanzar los niveles de contaminación aceptables para descargas se la consigue mediante la siguiente fórmula:

Cuadro 10. Fórmula para determinar la retención hidráulica

$$TRH = \frac{(As)(y)(n)}{Q}$$

Donde:
TRH = tiempo de retención hidráulica en días
As = Área superficial
y = profundidad del humedal
n = porosidad del medio

Fuente: (Lara, 1999)

la conductividad hidráulica del medio varía según los espacios vacíos de este, en el Cuadro se muestran los valores estimados para algunos medios que se pueden utilizar para la construcción de HSS. (Lara, 1999)

Cuadro 11. Características típicas de los medios para HSS

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad Hidráulica Ks (m ³ /m ² /d)
Arena fina	2	28 - 32	100 - 1000
Arena gruesa	4	30 - 35	500 - 5000
Grava fina	16	35 - 38	1000 - 10000
Grava mediana	32	36 - 40	10000 - 50000
Roca gruesa	128	38 - 45	50000 - 250000

Fuente: (Lara, 1999)

Para determinar la relación largo ancho de un humedal, Lara (1999); Sánchez (2005) citado por (Lara, 1999), proponen que esta no se debe exceder en relación 5:1, y esta viene determinada por la siguiente fórmula:

Cuadro 12. Fórmula para determinar el largo y ancho del humedal

$$W = \frac{1}{y} \times \left[\frac{(Q)(As)}{(m)(Ks)} \right]^{0.5}$$

Donde:

W = Ancho del Humedal

Q = Caudal / N° de Unidades

m = Pendiente del Lecho

Ks = Conductividad Hidráulica.

As = Área Superficial / N° de Unidades y el largo del humedal es:

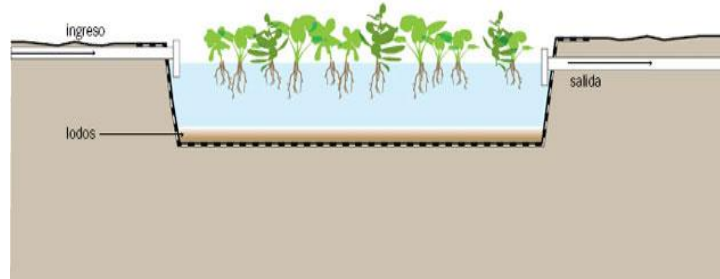
$$L = \frac{As}{W}$$

Fuente: (Lara, 1999)

8.5. Sistemas con especies flotantes.

Consiste en estanques con profundidad variable (0,4 a 1,5 m) [10], donde las macrófitas se desarrollan naturalmente. Entre las especies más empleadas se encuentran el tarope (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* spp.). Estos sistemas son semejantes a las lagunas de estabilización, pero con la gran diferencia de la presencia de macrófitas en lugar de algas, además de las profundidades someras.

Figura 15. Sistemas con macrofitas flotantes.



(Delgado, 2010)

8.6. Estimación de gastos en la construcción del humedal artificial

Para calcular el gasto aproximado de la construcción del humedal artificial, primeramente, se necesitan varios datos; el número de habitantes de la ciudad de Riberalta y el clima promedio, son los factores fundamentales para la construcción del humedal artificial.

CAPITULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1. Conclusiones.

- ❖ Se tomó la muestra del agua residual para enviar al laboratorio para realizar el análisis de la calidad del agua. Con el objetivo de conocer el grado de contaminación de las aguas.
- ❖ En este trabajo se abordan los aspectos teóricos y técnicos de los procesos de depuración concernientes a los humedales artificiales con el tarope (*Eichhornia crassipes*) especializados en el tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Se planteó ecuaciones matemáticas, para diseñar el modelo general del humedal artificial.

9.2. Recomendaciones.

La creación de un humedal artificial como sistemas de tratamiento de aguas residuales, trae consigo mismo múltiples beneficios. Sin embargo, para aprovechar su máximo potencial, se deben tomar en cuenta algunas consideraciones.

- ❖ Cuando se construye un humedal es necesario llevar un control para medir si se está cumpliendo con los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas temprano y así evitar problemas mayores en el futuro.
- ❖ Es importante realizar una evaluación del sistema para verificar su funcionamiento. Algunos parámetros que se pueden medir son: la carga hidráulica, volúmenes de entrada y salida, y la variación de la calidad de agua entre la entrada y salida. Si los resultados no son satisfactorios se debe encontrar el problema y repararlo.
- ❖ Se debe supervisar la vegetación constantemente para evaluar su salud y abundancia. Para sistemas que operan con cargas bajas, la supervisión de la vegetación no necesita ser frecuente, a diferencia de los que reciben cargas altas que deben ser evaluadas constantemente.

Bibliografía.

750556, G. D. (Marzo de 2015). *Historias de las PTAR*. Obtenido de <http://aguasresidualesptar.blogspot.com/p/pag-1.htm>

Agricultores red de especialista en agricultura. (5 de Agosto de 2015). Obtenido de La fitorremediación: plantas para tratar la contaminación ambiental: <http://agriculturers.com/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>

AGUASISTEC. (2018). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR*. Obtenido de Productos de Tratamiento de Agua y Aguas Residuales: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php>

Ambarlesly. (17 de Noviembre de 2008). *La Contaminacion del Agua*. Obtenido de <http://formasdecontaminaciondelagua.blogspot.com/2008/11/entrada-2.html>

Bernal, C. A. (2006). *Metodología de la investigación, para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Editorial Pearson, segunda edición.

Carlos Garbisu, L. E. (1 de Junio de 2008). *Ecologistas en acción*. Obtenido de Fitorremediación: <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=17857>

CIDDEBENI. (2018). *Centro de Investigación y Documentación para el Desarrollo del Beni*. Trinidad.

CLIMATE-DATA.ORG. (17 de Octubre de 2018). *Clima Riberalta*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/bolivia/beni/riberalta-37553/>

Cruz, H. S. (2009). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES*. Mexico.

Cuevas, A. (13 de Marzo de 2018). *La Razon*. *Solo el 40% de las aguas residuales son tratadas*.

- Delagadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales*. COCHABAMBA - BOLIVIA: Nelson Antequera Durán.
- EPA. (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. Washington: Office of Water.
- ERBOL, P. D. (3 de Septiembre de 2014). *ECONOMÍA. INE: 40% del agua rural está afectada por contaminación*.
- Fernandez, P. (2014). *LA ABSORCIÓN DE BICARBONATO A TRAVÉS DE UNA PROTEÍNA DE INTERCAMBIO DE ANIONES ES LA PRINCIPAL MECANISMO DE ADQUISICIÓN DE CARBONO INORGÁNICO POR EL KELP GIGANTEMACROCYSTIS PYRIFERA (LAMINARIALES, PHAEOPHYCEAE) BAJO pH VARIABLE*. Nueva Zelanda: Sociedad Phycological de América.
- Gardey, J. P. (2002). *Definiciones*. Obtenido de <https://definicion.de/depuracion/>
- Gonzales, J. F. (2018). *Manual de fitodepuración, filtros de macrofitas en flotación*. Madrid: B. Datcharry y V. H. Mardon.
- Harvey, D. (13 de Septiembre de 2018). *ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de Contaminación del agua: http://html.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_5.html
- Herrera, M. T. (2018). *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Bogota: multigraph.
- INE. (3 de Febrero de 2018). *INE Bolivia*. Obtenido de <https://www.ine.gob.bo/index.php/notas-de-prensa-y-monitoreo/item/3098-riberalta-es-el-segundo-municipio-mas-poblado-del-departamento-de-beni>
- Jaramillo Jumbo, M. D. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de*

agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Ecuador: Saieciana Ecuador.

Juan Pablo Rodríguez-Miranda, E. G. (2009). *Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. Colombia: Tecnologías y Ciencia del Agua.*

Juan Pablo Rodríguez-Miranda, E. G. (2010). *Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. México: Tecnología y Ciencias del Agua.*

Kailash. (7 de Agosto de 2018). *Rincon del bago*. Obtenido de ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE: <http://html.rincondelvago.com/tratamiento-de-aguas-residuales.html>

Lara, J. A. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona.

LATORRE, A. R. (2017). *DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL*. ESPAÑA.

Latorre, A. R. (2017). *Diseño de un humedal artificial para el municipio Arcos de las Salinas (TERUEL)*. España: MIHMA.

Ley de Medio Ambiente 1333. (1992). *Reglamento de Materia de Contaminación Hídrica*. Bolivia: Gaceta Oficial de Bolivia.

Ley de Medio Ambiente 1333. (1992). *Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica*. Bolivia: Gaceta Oficial de Bolivia.

Llantoy, V. R., & Negrón, A. C. (2014). *Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie Eichhornia Crassipes (jacinto de agua)*. Lima: revista de la sociedad química del Perú.

- Maqueda, A. R. (7 de Agosto de 2018). *AGUASRESIDUALES.INFO*. Obtenido de Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia.: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/humedales-artificiales-como-sistemas-naturales-de-depuracion-de-aguas-residuales-conceptos-e-historia>
- Medina, J. C. (21 de JULIO de 2015). *CONCIENCIA*. Obtenido de Humedales Artificiales; una solución económica y medioambientalmente viable para la depuración de aguas residuales: emas.com/articulo/tecnologia/humedales-artificiales-solucion-economica-y-medioambientalmente-viable-depuracion-aguas-residuales/20150719203832000286.html
- Miguel, C. (30 de Enero de 2013). *IAGUA*. Obtenido de Los humedales artificiales: <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>
- Obando, j. E. (19 de Abril de 2006). *Monografias.com*. Obtenido de Estanques de jacinto de agua (eichhornia crassipes) para tratamiento de residuos industriales: <https://www.monografias.com/trabajos37/estanques-de-jacinto/estanques-de-jacinto2.shtml>
- Pasto, E. (1997). *Sistema natural de depuración de aguas residuales, en Moxos Amazonia Boliviana*. Barcelona: Ceam.
- Pasto, E. (2000). *Sistemas de depuración natural de aguas residuales En Moxos, Amazonía Boliviana*. San Ignacio de Moxos: CEAM Hidro-Sfera.
- Sampieri, R. H. (1991). *Metodología de Investigación*. MEXICO: McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MEXICO.
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de Investigación*. Mexico: McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MEXICO.

Tohtli, S. (7 de febrero de 2014). *flickr*. Obtenido de https://www.flickr.com/photos/sergio_tohtli/12482631413

Torres, Y. E. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA*. Santo Domingo.

Vasques, E. J. (21 de Agosto de 2017). *Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de <https://www.ecosiglos.com/2017/08/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-y-soluciones.html>

Yoma Isabel Mendoza Guerra, F. L. (18 de Marzo de 2017). *Publicia*. Obtenido de *Eichhornia crassipes* como tratamiento biológico de aguas residuales: <https://www.editorial-publicia.com/catalog/details//store/es/book/978-3-8416-8385-4/eichhornia-crassipes-como-tratamiento-biol%C3%B3gico-de-aguas-residuales>

ANEXOS

Fotografía 1 Toma de Muestra del Agua Residual en la Planta de Tratamiento de Riberalta



Fotografía 2 Recolección de datos in situ



Fotografía 3 Después de la recolección de muestras en la PTAR



Fotografía 4 vista del efluente de la PTAR



Fotografía 5 De la Laguna Facultativa



Fotografía 6 Laguna Anaeróbica de la PTAR



Fotografía 7 Laguna de maduración 1

