

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**  
**AREA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y NATURALES**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**POTENCIAL DEL TAROPE (*Eichhornia crassipes*) PARA TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES, DE ACUERDO A SU CONTENIDO EN METALES  
Y NO METALES, EN LA CIUDAD DE COBIJA**

**Tesis de grado para optar al título en Ingeniería Ambiental**

**PRESENTADO POR: Leddy Cecilia Sanjinez Lara**

**TUTORES: Lic. Pablo Morales  
Ing. David Gómez Roca (UAP)  
Lic. Marcela Melgarejo**

**COBIJA - PANDO**

**2017**

## HOJA DE APROBACIÓN DE ASESORES

.....  
Lic. Pablo Morales  
ASESOR IGEMA

.....  
Lic. Marcela Melgarejo  
ASESORA

.....  
Ing. David Gómez Roca  
ASESOR ACBN UAP

COBIJA-PANDO-BOLIVIA 2017

## HOJA DE APROBACIÓN TRIBUNALES

Tesis aprobada por:

.....  
Ing. Zenobio Mamani Rivas  
TRIBUNAL

.....  
Ing. Griceldo Carpio Tancara  
TRIBUNAL

.....  
Lic. Benicia Becerra Baptista  
TRIBUNAL

Cobija 13 de diciembre del 2017

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a todos aquellos investigadores que por alguna razón no pudieron publicar sus hallazgos, así como a todos aquellos científicos que han entregado su vida a la ciencia.

## AGRADECIMIENTOS

Tengo que agradecer a muchos por diferentes motivos respecto al actual documento, espero no olvidar a ninguno:

- ✚ Adrian Sanjines
- ✚ Amador Apaza
- ✚ Anahí escobar
- ✚ Androcles puertas
- ✚ Benicia Becerra
- ✚ Cristian Herbas
- ✚ David Gómez
- ✚ Eduardo Sanjinez
- ✚ Erika Llanos
- ✚ Griceldo Carpio
- ✚ Joshemi Zamora
- ✚ Julio Mayna
- ✚ Limbert Ronald
- ✚ Marcela Melgarejo
- ✚ María Valdenice Araujo
- ✚ Marliz Arteaga
- ✚ Neyda Lara
- ✚ Pablo Morales
- ✚ Ronald Maygua
- ✚ Susan Sanjinez
- ✚ Vladimir Escobar
- ✚ Walter Espinosa
- ✚ Zenobio Mamani

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado POTENCIAL DEL TAROPE (*Eichhornia crassipes*) PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES, DE ACUERDO A SU CONTENIDO EN ELEMENTOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS, EN LA CIUDAD DE COBIJA, se realizó siguiendo el método científico, tomando muestras de agua residual en diferentes puntos del área urbana de la ciudad de Cobija, capital del departamento de Pando, el objetivo general de la presente investigación fue la de evidenciar el efecto del tarope (*Eichhornia crassipes*) en la remoción de metales y no metales de las aguas residuales de la ciudad de Cobija, mediante análisis químico instrumental de alta precisión ICP (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, por sus siglas en inglés), se realizó una comparación con los valores obtenidos mediante el mismo método de la especie macrófita *Eichhornia crassipes*, los resultados obtenidos concluyen que la presencia de uranio en tarope presenta mucha diferencia con respecto a las muestras de agua residual, la absorción masiva de potasio, calcio y litio por parte de la planta. También se puede observar que el tarope presenta valores por debajo de algunos elementos en aguas residuales como hafnio y niobio, así mismo se puede observar la acumulación significativa de bario. También se puede concluir que el tarope (*Eichhornia crassipes*), es excelente retenedora del 91 % de los parámetros evaluados, quedando solo exentos el Tl, B y Eu.

**Palabras claves:** Agua residual, metales y no metales, tarope

## SUMMARY

The present work of investigation titled POTENTIAL OF THE TAROPE (*Eichhornia crassipes*) FOR WASTEWATER TREATMENTS, ACCORDING TO ITS CONTENT IN METALLIC AND NON-METALLIC ELEMENTS, IN THE CITY OF COBIJA, was carried out following the scientific method, taking samples of residual water in different points of the urban area of the city of Cobija, within the department of Pando, has an average annual temperature of 33.1 °C, with an average annual rainfall of 1648.6 mm, and an altitude of 203 m. The general objective of the present investigation was to demonstrate the effect of tarope (*Eichhornia crassipes*) in the removal of metals and non-metals from the wastewater of the city of Cobija, through high-precision instrumental chemical analysis ICP (mass spectrometry with inductively coupled plasma, for its acronym in English), a comparison was made with the values obtained by the same method of the macrophyte species *Eichhornia crassipes*, the results obtained conclude that the presence of uranium in tarope presents much difference with respect to samples of residual water, the massive absorption of potassium, calcium and lithium by the plant. It can also be observed that the tarope presents values below some elements in wastewater such as hafnium and niobium, likewise the significant accumulation of barium can be observed.

Key words: Waste water, metals and non-metals, tarope

## LISTA DE FIGURAS

<b>N°</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1.	<i>Eichhornia crassipes.</i>	5
2.	Área urbana de la ciudad de Cobija	17
3.	Tanque imhoff en el Barrio Mapajo	19
4.	Toma de muestras de agua residual	21
5.	Puntos de muestreo de agua residual	21
6.	Lugar de muestreo de las aguas residuales	22
7.	Recojo y lavado de las muestras de tarope	23
8.	Tratamiento de las muestras de tarope en laboratorio	24

## LISTA DE TABLAS

<b>N°</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
1.	Resultados del análisis químico del tallo y hoja del tarope (ppm)	26
2.	Resultados del análisis del tallo y la hoja del tarope en ppb	26
3.	Resultados del análisis del tallo y la hoja del tarope en ppb	27
4.	Resultados del análisis de agua residual: metales alcalinos y alcalinotérreos	27
5.	Resultados del análisis de agua residual: metales del bloque p	28
6.	Resultados del análisis de agua residual: metales de transición	28
7.	Resultados del análisis de agua residual: metales de transición	29
8.	Resultados del análisis de agua residual: metaloides	29
9.	Resultados del análisis de agua residual: lantánidos	30
10.	Resultados del análisis de agua residual: no metales	30
11.	Comparación de datos	31

## 1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación dilucida la capacidad que tiene la especie *Eichhornia crassipes* conocida en la región amazónica como tarope para depurar aguas residuales en base a su contenido en metales y no metales, tanto en tallo como en hoja, todo este estudio se lo realiza en el contexto actual de la ciudad de Cobija, tomando como referencias las aguas residuales vertidas al río Acre, mediante la toma de muestras de diferentes puntos dentro del área urbana de acuerdo a previos análisis de laboratorio. La importancia del presente estudio además de su novedad científica es que presenta una idea viable de tratamiento de aguas residuales, sentando las bases para nuevas investigaciones y así contribuir en la reducción de la contaminación de su fuente receptora; el río Acre, el cual, además, resulta ser un límite fronterizo. (Morales, 2012).

Según un documento elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2008); el vertido de las aguas residuales al curso de agua del arroyo Bahía se viene incrementando por el crecimiento demográfico de la ciudad de Cobija lo que la convierte en un riesgo de contaminación, asociado con las actividades antropogénicas entre otros. De acuerdo al anterior censo el crecimiento del departamento de Pando al 2012 fue del 108 % (INE, 2012), donde Cobija concentra aproximadamente el 40 % de la población departamental ([www.herencia.org.bo](http://www.herencia.org.bo). 2012).

De acuerdo a la situación problemática, después de realizar un diagnóstico se evidencia que no existe ningún tratamiento de aguas residuales domesticas dentro de la ciudad de Cobija, según la entrevista realizada al gerente general de EPSA (empresa pública de servicio de agua potable y alcantarillado sanitario) el Ing. Javier Churqui; el año 2007 con la ayuda del gobierno de Italia se construyó una laguna de oxidación la cual nunca llevo a funcionar por desacuerdos políticos y mala administración, la mencionada planta de tratamiento hubiera captado toda el agua residual de los barrios centrales mediante bombeo eléctrico, el cual se

menciona, que resultaría muy caro además. Existe un plan denominado “agua para Cobija” el cual contempla la reactivación de la laguna de oxidación, la cual debería haber empezado el año 2016, la cual captaría el agua residual de barrios centrales y barrios cercanos a la laguna de oxidación. Quedando fuera muchos barrios periféricos.

El tratamiento de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* es un método sencillo, factible y adecuado para ciudades pequeñas, construyendo un sistema descentralizado, no requiere de grandes inversiones, es un sistema sostenible ya que no requiere de un suministro de energía, ni de insumo alguno. Mediante el uso de la *Eichhornia crassipes* se puede llegar a reducir hasta en un 99% la Demanda Biológica de Oxígeno y un 99,9 % de coliformes totales (Pasto 2002).

Por otro lado dentro de área urbana y periurbana de la ciudad de Cobija existen microempresas que utilizan diferentes químicos, blanqueantes, empresas industriales como Tahuamanu que realiza análisis químico y vierte una serie de cationes al agua, imprentas, confección de poleras donde utilizan tintes que también utilizan compuestos metálicos, consultorios dentales y mecánicos dentales que utilicen ácido fosfórico, yeso de colado de metal y revestimiento que contienen sílice, sulfato de calcio, fosfatos, ácido bórico, que son solubles en agua y en el proceso de amalgamación suelen quedar en exceso metales como plata, estaño, cobre, zinc y mercurio. Todos estos metales y no metales son llevados por las corrientes de agua superficial y subterránea que son vertidos finalmente a los dos ríos que pasan por nuestra ciudad.

El problema radica en que no existe un tratamiento de aguas residuales en Cobija y si bien se conocen sistemas alternativos como los procesos fitorremediadores no se conoce que tipos de elementos pueden absorber estas especies.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. General**

Evaluar el efecto del tarope (*Eichhornia crassipes*) en la remoción de metales y no metales de las aguas residuales de la ciudad de Cobija.

### **1.1.2. Específicos**

- ✓ Determinar el contenido de metales y no metales presentes en muestras de aguas residuales de Cobija
- ✓ Determinar los elementos metálicos y no metálicos presentes en tallos y hojas del tarope
- ✓ Realizar una comparación entre los resultados obtenidos del tarope y las aguas residuales

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Aguas Transfronterizas**

La macrocuenca del río Amazonas ocupa 65.9% del territorio nacional y tiene una frontera de 2,464km, o sea, 35.6% del total de las fronteras internacionales. Cerca de 85% de esta frontera es un límite fronterizo arcifinio acuático con ríos de cursos contiguos. Se estima que alrededor de 70% de esta periferia fronteriza está prácticamente abandonada con escasísima población boliviana. Las ciudades de Cobija (38,000 habitantes), a orillas del río Acre, y Guayaramerín (47,000 habitantes), en las orillas del río Mamoré (río Madera), son los mayores centros poblaciones sobre este extenso límite acuático fronterizo. (Urquidi, 2012).

El riesgo y daños transfronterizos no solo se circunscriben al ámbito ambiental in estricto (para el equilibrio ecológico de la Amazonia) sino se anuncian efectos y consecuencias inevitables a bienes e intereses altamente prioritarios del estado; la protección y garantía de derechos humanos fundamentales y la protección del patrimonio nacional, mismos que tienen una tutela constitucional prioritaria en la nueva constitución plurinacional. (Mamani, 2009).

### **2.2. El tarope**

#### **2.2.1. Características generales**

El tarope es una macrófita flotante libre, pertenece a la categoría de pleustorizofitos (Arbet 1920, citado en Bolivia Ecológica 2005), presente en aguas dulces estancadas, estanques, lagunas, canales y arroyos. Originaria de la Cuenca Amazónica (figura N°1). Las raíces son numerosas y tienen un aspecto plumoso. Las hojas son gruesas y brillantes y los pecíolos están hinchados en su parte media-basal, debido a que en su interior se forma tejido aerenquimático para permitir la flotación de la planta. Las flores nacen en inflorescencia terminal, en el ápice del tallo, y presentan una coloración púrpura o lilácea con manchas amarillas. La reproducción de la *Eichhornia crassipes* puede ser vegetativa o

sexual. La propagación vegetativa es muy importante por su gran capacidad de expansión y colonización; se realiza mediante la formación de estolones o tallos horizontales en cuyo extremo se forma una nueva planta con raíces y hojas (Pasto, 2002).

Figura N° 1: *Eichhornia crassipes*.



Fuente: foto Cecilia Sanjinez

Las macrófitas acuáticas han desarrollado adaptaciones que les ha permitido sobrevivir en todo tipo de aguas continentales, desde poco mineralizadas a salinas. La mayoría son completamente dependientes del medio acuático para su metabolismo, es decir pueden obtener sales minerales y anhídrido carbónico directamente del agua. (Bolivia ecológica, 2005).

El tarope forma parte de los conocidos taropales o camalotales, que se desarrollan muy rápido, y tienen una alta capacidad de asimilación de nutrientes y sedimentos, pueden ser empleadas en tratamiento de aguas residuales o efluentes

industriales, además son ampliamente utilizadas como forrajes para animales de granja (Bolivia ecológica, 2005).

### **Sinonimias**

Buchón de agua, Jacinto de agua, Ichebe, Cheviji, Camalote de agua, Lirio del agua, Aguapes, Bora, Lirio acuático, Taruja del agua, ninfa.

### **2.2.2. Descripción taxonómica (Mart.) Solms**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Commelinales

Familia: Pontederiaceae

Género: Eichhornia

Especie: *Eichhorniacrassipes*

### **2.3. Sistemas depurativos**

Los Sistemas Naturales para Tratamiento de Efluentes (SNTE) se basan en ecosistemas que aceleran los procesos de degradación de la materia orgánica y permiten el reciclaje y re-uso de los nutrientes. Los Sistemas Naturales aprovechan y potencian los procesos de purificaciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en forma espontánea en la Naturaleza. Los sistemas naturales poseen una historia mucho mayor que los convencionales, no solo porque los bañados u otros ecosistemas existían antes de la aparición del Hombre, sino porque las culturas más antiguas de Asia empleaban bañados y lagunas con ecosistemas controlados para depurar sus efluentes; incluso reusaban el agua para piscicultura y riego. (EPA, 2012).

## **2.4. Metales y no metales evaluados**

### **2.4.1. Litio (Li)**

El litio presente en el agua es débilmente dañino. El litio no supone una gran amenaza para la fauna y la flora, ni en el continente ni en los medios acuáticos. Las plantas lo absorben fácilmente, por lo que las plantas son un indicador de las concentraciones de litio en el suelo. El litio no es un mineral de alimentación para las plantas, pero estimula el crecimiento de las mismas, sin embargo un exceso de litio puede ser tóxico. (Lenntech, 2017). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el litio no debería exceder los 2,5 mg por litro es decir 2,5 ppm en ningún tipo de agua; clases A, B, C o D.

### **2.4.2. Sodio (Na)**

Las concentraciones de sodio en un agua residual típica urbana varían en un amplio rango que va desde 40 ppm a 70 ppm, esto se debe al intercambio que realiza con el suelo y otros iones alcalinotérreos, ya que a mayor concentración de sodio, menor concentración de calcio y magnesio. (METCALF Y EDDY, INC, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el sodio no debería exceder los 200 mg por litro es decir 200 ppm en aguas de baja calidad; clases C o D.

### **2.4.3. Potasio (K)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), las concentraciones de potasio en las aguas residuales urbanas oscilan entre 7 y 15 ppm, la presencia de abundante flora en el ecosistema influye debido al intercambio de este metal, produciéndose cambios incluso de un día para otro. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no existe un límite permisible para el potasio, en ningún tipo de agua; clases A, B, C o D. además no está considerado un

elemento toxico ya que por el contrario es un elemento indispensable para el desarrollo de la flora.

#### **2.4.4. Calcio (Ca)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995) el calcio tiene una concentración de 6 a 16 ppm en aguas residuales urbanas dependiendo sus características y el entorno natural, es decir si sus suelos son calcáreos o arcillosos. Según la agencia de protección ambiental de los EEUU, el calcio debería estar presente en aguas de rio con una concentración de 50 ppm como límite máximo. Los peces pueden tolerar mayores concentraciones pero su importancia radica en la dureza del agua (EPA 1992, Mencionado en Blanco et al 1998). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el calcio no debería exceder los 300 mg por litro en aguas de clase C, y los 4400 mg por litro en aguas de clase D.

#### **2.4.5. Bario (Ba)**

El bario en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder las 20 ppm (Blanco et al 1998). Según la legislación venezolana (decreto 883, 1995), las aguas que sobrepasan los 5 mg por litro están prohibidas para ser vertidas directamente a una fuente natural de agua, como ríos, lagunas y arroyos. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el bario no debería exceder los 2,0 mg por litro en aguas de clase C y los 5,0 mg por litro en aguas de clase D. De forma natural los niveles de Bario en el medio ambiente son muy bajos. Altas cantidades de Bario pueden sólo ser encontradas en suelos y en comida, como son los frutos secos, algas, pescados y ciertas plantas. La cantidad de Bario que es detectada en la comida y en agua generalmente no es suficientemente alta como para llegar a ser concerniente a la salud.

#### **2.4.6. Magnesio (Mg)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), las aguas residuales urbanas pueden presentar una concentración de 4 ppm a un máximo de 10 ppm, dependiendo la

acidez del suelo natural circundante. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el contenido de magnesio no debería sobrepasar los 150 ppm, aun si es agua de clase D. Un gran número de minerales contienen magnesio, por ejemplo la dolomita (carbonato de calcio y magnesio,  $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$ ) y la magnesita (carbonato de magnesio  $\text{MgCO}_3$ ). El magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua. El magnesio tiene muchos propósitos y consecuentemente finaliza en el agua de maneras muy distintas. La industria química añade magnesio a los plásticos y a otros materiales como una medida de protección contra el fuego o como material de relleno. También finaliza en el medio ambiente como fertilizante y como alimentación de ganados.

#### **2.4.7. Zinc (Zn)**

Según Blanco et al (1998), el zinc en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 5 ppm. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el zinc no debería exceder los 0,5 mg por litro en aguas de clase C y 5,0 en aguas de clase D. Según la agencia de protección ambiental de los EEUU, el zinc debería estar presente en aguas de río con un máximo de 0.0766 ppm. (EPA 1992, Mencionado en Blanco et al 1998).

#### **2.4.8. Cadmio (Cd)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el cadmio no debería exceder los 0,005 mg por litro en aguas de clase D, o clase C, es decir que ningún tipo de agua debería sobrepasar los 0,005 ppm de cadmio. Según la agencia de protección ambiental de los EEUU, el cadmio debería estar presente en aguas de río con un máximo de 0.0086 ppm. (Lenntech, 2017), su vertido mediante aguas residuales no debería exceder los 0,2 mg por litro según la legislación venezolana (Decreto 883, 1995).

El cadmio, es un tóxico agudo, la dosis letal es de aproximadamente un gramo. Aunque el cadmio no se biomagnifica, sí que es un tóxico acumulativo, ya que si no se elimina rápidamente por el metabolismo, su tiempo de vida en el organismo puede ser de varias décadas. (Ruiz, 2014). Según Espigares y Pérez (2012), el cadmio se acumula y produce anomalías en hígado y riñón. El cadmio en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 0.5 ppm según Simón, (2016). Las propiedades químicas y físicas del cadmio (Cd) son muy similares a las del zinc, y con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. . (Gunnar 2001).

#### **2.4.9. Estroncio (Sr)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el estroncio no tiene límite permisible en ningún tipo de su clasificación. El Estroncio en su estado elemental ocurre de forma natural en muchos compartimentos del medio ambiente, incluyendo rocas, suelo, agua y aire. Los compuestos del estroncio pueden moverse a través del medio ambiente con bastante facilidad, porque mucho de los compuestos son soluble en agua. El Estroncio está siempre presente en el aire como polvo, en un cierto nivel. Las concentraciones de Estroncio en el aire son incrementadas por las actividades humanas, como la combustión de carbón y aceite.

#### **2.4.10. Aluminio (Al)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), las concentraciones de aluminio en el agua residual urbana pueden varias de 0,1 ppm a 0,2 ppm. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el aluminio tiene un límite máximo permisible de 1,0 mg por litro de agua residual. La legislación venezolana tiene como límite máximo de descarga una concentración de 5 mg por litro, a cuerpos de agua natural. (Decreto 883, 1995).

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, donde se encuentra combinado con oxígeno, flúor, sílice, etc., pero nunca en estado metálico. Estudios recientes sobre el efecto para la salud de la exposición a niveles elevados (100 mg/m<sup>3</sup>) de óxidos de aluminio demuestran que los trabajadores con más de veinte años de exposición pueden desarrollar alteraciones pulmonares, que se caracterizan clínicamente por cambios restrictivos leves y predominantemente asintomáticos en la función pulmonar.(Gunnar 2001).

#### **2.4.11. Ytrio (Y)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de ytrio en aguas residuales. No existe referencias respecto a la cantidad de este metal en aguas residuales, pero su origen se encuentra ligada a la industria del petróleo, y en la fabricación de equipos electrónicos, el ytrio se acumula gradualmente en el suelo y en el agua y a la larga en humanos. En animales acuáticos el ytrio causa daños en las células de membrana, las cuales tienen bastante influencia negativa en la reproducción y las funciones del sistema nervioso. (Lenntech. 2017).

#### **2.4.12. Lantano (La)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de lantano en aguas residuales. El lantano es insoluble en agua, al igual que su óxido, solo en forma de complejo se podría encontrarse pero es muy poco común, ya que este metal de forma natural solo se encuentra en dos minerales; la monacita y la bastnacita. (Lenntech. 2017).

#### **2.4.13. Cobre (Cu)**

El cobre en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 3 ppm (Blanco et al 1998), según la legislación venezolana su límite máximo de descarga a una fuente natural de agua es de 1,0 mg por litro (decreto 883, 1995). Según la

ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de cobre en aguas residuales es de 1,0 mg por litro.

#### **2.4.14. Talio (Tl)**

La presencia del talio en aguas residuales no está documentada, sin embargo existen datos de su toxicidad y presencia a nivel general, tanto en suelo como en agua. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de talio en aguas residuales.

El talio es insoluble en agua en parte y consecuentemente este puede esparcirse en el agua subterránea cuando los suelos contienen grandes cantidades de este, el talio tiene efectos negativos sobre las plantas, como el cambio de color en las hojas y la disminución del crecimiento, por eso también se suele utilizar el talio en la elaboración de raticidas e insecticidas. (Lenntech. 2017).

#### **2.4.15. Hierro (Fe)**

El hierro en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 10 ppm (Soto, 2004). Las aguas con hierro al ser expuestas al aire, por acción del oxígeno, se hacen turbias e inaceptables, debido a la oxidación del hierro soluble en Fe<sup>3+</sup>, el cual forma un precipitado coloidal, esto por lo general ocurre cuando el pH es 6 o cercano a 6. (Lenntech. 2017). Según la legislación venezolana su límite máximo de descarga como agua residual a una fuente natural de agua es de 10,0 mg por litro (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de hierro en aguas residuales es de 1,0 mg por litro.

#### **2.4.16. Níquel (Ni)**

El níquel en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 10 ppm (Simón, 2016). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de

contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de níquel en aguas residuales es de 0,5 mg por litro de agua residual.

#### **2.4.17. Plomo (Pb)**

Según la agencia de protección ambiental de los EEUU, el plomo debería estar presente en aguas de río con un máximo de 0.0058 ppm. (Lenntech. 2017). Según la legislación venezolana, el plomo en aguas residuales tiene como su límite máximo de descarga a una fuente natural de agua es de 0,5 mg por litro (decreto 883, 1995). El plomo en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 1 ppm (Simón, 2016). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el plomo tiene como límite permisible en contenido de plomo total en aguas residuales una cantidad de 0,1 mg por litro, para una clase de agua D, y para las otras clasificaciones un contenido máximo de 0,05 mg por litro.

#### **2.4.18. Azufre (S)**

Según la legislación venezolana el azufre como sulfato tiene su límite máximo en una concentración de 1,000 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995), es decir 0,33 mg de azufre por litro de agua residual. El azufre es requerido para la síntesis de proteínas y se libera cuando éstas se descomponen. Prácticamente, todos los microorganismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies requieren compuestos en forma más reducida para la biosíntesis. Una concentración mayor a 300 mg/litro como sulfato ataca el hormigón. (Espigares y Pérez, 2012). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el azufre como sulfato tiene un límite permisible de 400 mg por litro de agua residual, para un agua de clase B, C o D.

#### **2.4.19. Selenio (Se)**

Según la legislación venezolana el selenio tiene su límite máximo en una concentración de 0,05 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el selenio no debe exceder los 0,05 mg por litro de agua residual.

#### **2.4.20. Fosforo (P)**

Según la página de Lenntech. (2017) una contaminación baja en fosforo corresponde a 2 ppm, una contaminación media 7 ppm y una contaminación alta a 17 ppm refiriéndonos a aguas residuales domésticas. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el fosforo como ortofosfato tiene su límite máximo admisible de 1,0 mg por litro, es decir 0,3 mg de fosforo por litro de agua residual.

#### **2.4.21. Arsénico (As)**

El arsénico, según la legislación venezolana, tiene su límite máximo en una concentración de 0,5 mg por litro, para descargas a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y principalmente en los minerales sulfurosos. La arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) es la forma más abundante, pero también proviene de fuentes antropogénicas como: la fabricación de municiones, insecticidas, herbicidas, vidrio, secado industrial, material pirotécnico, conservante de la madera, su estudio se basa en que es considerada una fuente cancerígena sobretodo pulmonar y cutánea, además de producir trastornos dermatológicos, neuropatías del sistema periférico, efectos en el sistema nervioso, etc. (Gunnar 2001). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el arsénico tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,1 mg por litro de agua residual para aguas de clase D.

#### **2.4.22. Boro (B)**

El boro puede variar de 0,1 a 0,4 ppm en aguas residuales urbanas (METCALF Y EDDY, INC, 1995). Según la legislación venezolana el boro tiene su límite máximo en una concentración de 5,0 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el boro tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 1,0 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D.

#### **2.4.23. Silicio (Si)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), el silicio presente como sílice puede encontrarse en aguas residuales típicas urbanas en una concentración de 2 a 10 ppm, es decir de 0,9 a 4,7 como silicio puro. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el silicio no tiene límite permisible en ningún tipo de su clasificación.

#### **2.4.24. Cromo (Cr)**

El cromo en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 5 ppm (Simón, 2016). Según la legislación venezolana el cromo total tiene su límite máximo en una concentración de 2,0 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el cromo tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,05 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D, como cromo con número de oxidación igual a 6+, para el cromo 3+ es de 1,1 mg por litro para aguas de clase D.

#### **2.4.25. Manganeso (Mn)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), el manganeso presente en aguas residuales urbanas típicas pueden variar en muy poca proporción, aproximadamente de 0,2 a 0,4 ppm. Según la legislación venezolana el manganeso tiene su límite máximo en una concentración de 2,0 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). El manganeso en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 2 ppm (Simón, 2016). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el manganeso tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 1,0 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D.

#### **2.4.26. Vanadio (V)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el vanadio tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,1 mg por litro de agua residual para aguas de clase A B, C o D.

#### **2.4.27. Uranio (U)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el uranio tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,02 mg por litro de agua residual para aguas de clase A, B, C o D.

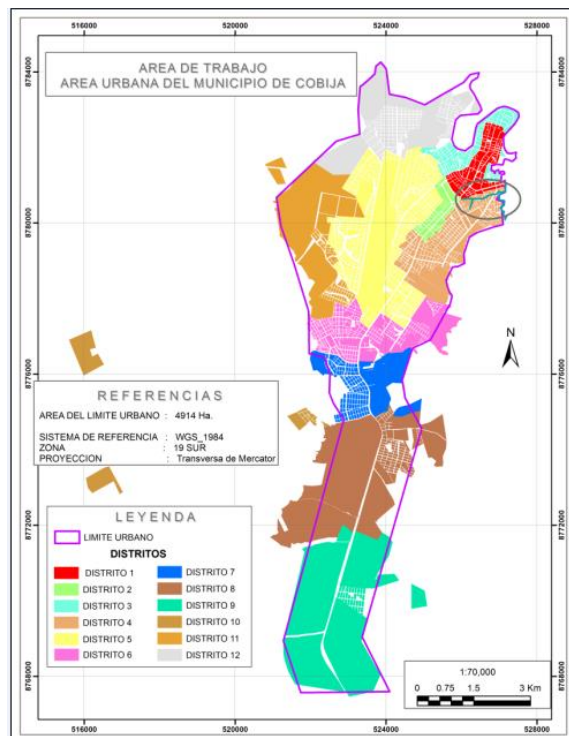
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

##### 3.1.1. Ubicación geográfica y característica

El estudio se llevó a cabo dentro del área urbana del Municipio de Cobija, que tiene una temperatura media de 26,68°C, una precipitación pluvial anual de 1812mm., se encuentra a la margen derecha del Río Acre, con clima tropical húmedo cálido, donde la región presenta dos estaciones a lo largo del año la estación lluviosa de septiembre a abril y la estación seca de mayo a agosto en esta época se presenta frentes fríos, conocidos como Surazos. (Gobierno Autónomo Municipal de Cobija, 2016).

Figura Nº 2: Área urbana de la ciudad de Cobija



Fuente: [www.educa.com.bo](http://www.educa.com.bo)

La ciudad de Cobija es la capital del Departamento de Pando, ubicada en la Provincia Nicolás Suárez, limita al norte y al este con la república del Brasil, al sur limita con el Municipio de Porvenir y al oeste con el Municipio de Bolpebra.

El río Acre es el receptor final de todas las aguas superficiales de la ciudad de Cobija. Este Río demarca el límite fronterizo con la república del Brasil, además de este se encuentra el Arroyo Bahía que también es un límite fronterizo con Brasil. (Gobierno Autónomo Municipal de Cobija, 2016).

### **3.1.2. Composición social**

Cobija está compuesta por 28 barrios en la actualidad, y 15 comunidades rurales que se encuentran alrededor del área urbana, dentro del área urbana se encuentran varios tipos de viviendas, aquellas destinadas a albergar a una familia, aquellas en las que se encuentra un negocio como una tienda, peluquería, zapatería, internet o aquellas viviendas dedicadas a una actividad industrial como procesamiento de agua, imprentas, etc. Según datos de fundempresa en Cobija hay más de 200 pequeñas empresas, pero de las cuales muchas solo existen en papel.

### **3.1.3. Sistema de alcantarillado**

Solo el casco viejo tiene instalado un sistema de alcantarillado para aguas residuales, el cual comprende 9 barrios de un total de 28. El sistema adoptado para la deposición final de aguas negras, van hacia un tanque imhoff(ver figura N° 3) y luego vertido al río Acre. En la figura N° 3 se puede apreciar la disposición transitoria de las aguas residuales del casco viejo de la ciudad de Cobija, después del cual pasa directamente al río Acre.

Figura N°3: Tanque imhoff en el Barrio Mapajo



Fuente: fotos Cecilia Sanjinez

### 3.2. Materiales y equipos utilizados

Tabla N° 1: Materiales utilizados

<b>Material de campo</b>	<b>Gabinete</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Material de apoyo</b>
Barbijo Guantes de látex Botas de goma Bolsas de plástico estériles Bañadores de 100 litros	Computadora Calculadora Material de escritorio Cámara fotográfica	ICP (equipo, espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) Estufa de secado Buretas Probetas Matraces erlenmeyer Pipetas aforadas y graduadas	Libreta de campo Bolígrafo Marcador Bolsas de propileno Cámara fotográfica

Fuente: Elaboración propia (2016)

### **3.3. Metodología**

La metodología aplicada en la presente investigación se adecua a un diseño descriptivo, ya que se toma una muestra en un solo momento y sus variables no fueron manipuladas.

El trabajo de investigación tuvo una duración de 180 días a partir del 12 de marzo del 2012, las principales actividades fueron: identificación de áreas, toma de muestras de aguas y tarope, pre tratamiento, empaquetado, envío, secado, análisis y toma de datos, y finalmente el análisis de la información obtenida.

#### **a) Identificación y toma de muestra de aguas residuales**

De acuerdo a un diagnóstico previo, se identificaron 5 puntos dentro del área urbana de la ciudad de Cobija, para extraer muestras de aguas residuales a fin de tener muestras representativas. En el siguiente mapa se pueden identificar los puntos, esta toma se la realizó en junio de 2012, muestras que fueron llevadas al laboratorio de Ciencias Puras de la Carrera de Química de la Universidad Mayor de San Andrés de la ciudad de La Paz. Los pasos para la toma de muestra vienen especificados en la StandathMethod según las especificaciones del servicio Nacional para la sostenibilidad de servicios en saneamiento básico, bajo la norma NB 512. Que se describe a continuación:

- La persona que estará a cargo de la toma de muestras debe estar debidamente vestida, donde el pelo deba estar recogido, las manos protegidas por guantes de látex estériles, el barbijo debe ser colocado.
- Disponer la toma de muestra en el punto medio y a una altura media del lugar.
- Realizar dos enjuagues con la muestra y llenar todo el envase para evitar procesos degradativos por la oxidación del aire.
- Una vez tomada la muestra, debe colocarse el rotulo donde indique la fecha, hora, lugar y numero de muestra.
-

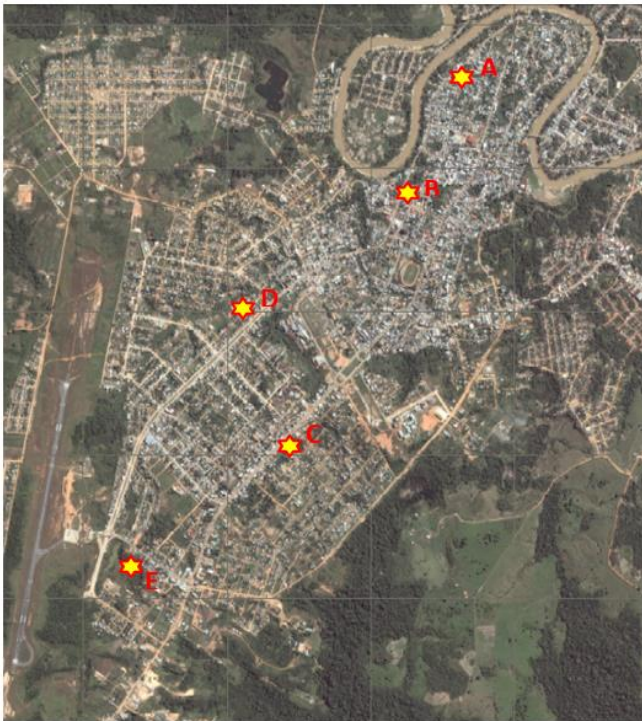
Figura N°4: Toma de muestras de agua residual



Fuente: fotos L. Cecilia Sanjinez

Los puntos de muestreo de las aguas residuales, están señalados por las letras A, B, C, D y E, en la siguiente figura:

Figura N°5: Puntos de muestreo de agua residual



- A: Barrio Mapajo
- B: Barrio Santa Cecilia
- C: Barrio Policial
- D: Barrio Paraíso
- E: laguna cercana al aeropuerto AnibalArabFadul

Fuente: imagen de fondo Google Earth (2016)

Los parámetros evaluados en las muestras de agua residual son los siguientes:

- ✓ Metales: Al, Ca, Mg, Na, K, Y, Hf, Tl, La, Fe, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, Li, Ba, Sr, Zr
- ✓ No metales: Ce, Eu, B, Si, P, S, As, Se, Nb
- ✓ Anfóteros: Mn, Ti, U, V
- ✓ Sólidos disueltos, sólidos en suspensión y sólidos totales
- ✓ Conductividad
- ✓ Potencial de Hidrogeno (pH)
- ✓ Aniones: sulfatos, nitratos, fosfatos y cloruros

## b) Identificación y toma de muestra del tarope

Figura N°6: Lugar de muestreo de las aguas residuales



Fuente: fotos L. Cecilia Sanjinez

Se realizó una visita a los tres puntos identificados para extraer el tarope según una encuesta previa, se pudo evidenciar que dos de ellos ya no existían por las inundaciones acontecidas en los primeros meses del 2015, dentro del área urbana

de la ciudad de Cobija solo queda un lugar donde se puede encontrar *Eichhornia crassipes*, en la laguna del Km 3, cerca al aeropuerto Anibal Arab, que corresponde al mismo sitio de donde se recogió la especie para realizar el diagnóstico. Vale decir que este sitio además está en proceso de rellenado o sea que no quedará en el futuro ningún taropal en la ciudad de Cobija.

Figura N°7: Recojo y lavado de las muestras de tarope



Fuente: fotos L. Cecilia Sanjinez

La especie *Eichhornia crassipes*, fue recolectada en época seca, de manera manual, una por una al azar hasta completar un número de 200 unidades. La actividad se realizó con botas y guantes ya que se encuentran siempre con mucho sedimento en las raíces, se recolectaron en lo posible especies del mismo tamaño. Luego se realizó el siguiente proceso:

- ✓ Lavado con agua de grifo (Esta actividad se la realizó con el objetivo de poder eliminar toda impureza de cada una de las plantas)
- ✓ Eliminación del exceso de agua (Consistió en el secado al aire libre de las plantas por 24 horas)
- ✓ Empaquetado y etiquetado (para el envío de la muestra a la ciudad de La Paz)
- ✓ Transportado a la ciudad de La Paz (vía aérea para evitar degradación de la materia orgánica, y colocadas en una conservadora)

Para completar con la investigación se realizaron actividades adicionales en los laboratorios de la facultad de ciencias puras de la UMSA, con las muestras de tarope:

- ✓ Secado al sol por 24 horas
- ✓ luego se procedió a separar los tallos de las hojas y cortarlas luego en pequeños trozos
- ✓ Secado en estufa de corriente de aire a 60 °C, por tres días hasta que estuvieran completamente secas
- ✓ Pulverizado con la ayuda de un mortero hasta polvo
- ✓ Luego las muestras fueron entregadas al laboratorio de la facultad de ciencias puras, donde se procedió a diluirlas con una solución extractora orgánica para luego realizar la lectura en el equipo de espectroscopia de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente. Luego los resultados fueron comparados.

Figura N°8: Tratamiento de las muestras de tarope en laboratorio



Fuente: fotos L. Cecilia Sanjinez

### **c) trabajo de gabinete**

Se procedió a transcribir los datos a un programa Excel, tomando en cuenta los resultados de análisis enviados por el laboratorio del IGEMA de la facultad de ciencias puras de la UMSA, en la ciudad de La Paz.

#### 4. RESULTADOS

Respecto a los resultados obtenidos en las muestras de tarope, tenemos:

**Tabla 1: Resultados del análisis químico del tallo y hoja del tarope (ppm)**

Muestra	Al	Ca	Mg	Na	K	Mn	Fe	Si
Tallo	0,879	751,36	153,96	5,89	1129,40	36,58	2,27	11,94
hoja	5,108	651,01	154,16	3,64	560,60	20,71	8,06	17,39

Muestra	Ti	P	S	Li	Ba	B	Sr
Tallo	ND	55,70	19,62	421,39	19,50	0,87	8,59
hoja	0,07	107,14	26,44	353,85	19,80	1,22	7,36

Se puede observar la diferencia significativa del contenido de aluminio, mas en tallos que en hojas, así como la acumulación de potasio. Respecto al contenido de hierro se puede observar que las hojas contienen el cuádruple que los tallos, también sobresale el hecho de la presencia de bario, en poca cantidad, pero es de alta toxicidad.

**Tabla N° 2: Resultados del análisis del tallo y la hoja del tarope en ppb**

Muestra	As	Cd	U	Cr	Cu	Pb	Ni	Se	Zn	Nb
Tallo	32,08	8,35	14,34	56,70	391,36	32,60	60,09	11,15	758,4	9,07
hoja	31,55	9,10	23,52	25,95	271,44	21,25	100,74	6,55	974,05	7,94

En la tabla N°2, se puede observar la presencia de elementos pesados, los resultados están en partes por billón, pero la tabla nos demuestra que el tarope absorbe hasta las pequeñas cantidades de estos elementos como ser; arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel y zinc.

**Tabla 3: Resultados del análisis del tallo y la hoja del tarope en ppb**

Muestra	Co	V	Zr	Y	Hf	Tl	La	Ce	Eu
Tallo	ND	76,59	0,62	1,94	Trazas	< 15	4,87	2,49	0,76
Hoja	ND	88,45	2,76	3,58	5,60	< 15	5,45	13,16	0,88

En la tabla N° 3, se puede observar la ausencia de cobalto, un metal pesado por excelencia, así mismo las trazas de hafnio y talio, elementos que raramente se encuentran en la naturaleza. Se destaca también la presencia de vanadio con valores de 76 a 88 partes por billón, concentraciones muy bajas para considerarlas nocivas.

**Tabla 4: Resultados del análisis de agua residual: metales alcalinos y alcalinotérreos**

Muestra	Li ppm	Na ppm	K ppm	Mg ppm	Ca Ppm	Sr ppm	Ba ppm
Barrio Policial	5,07	3,10	1,06	1,167	4,57	0,04	0,08
Barrio Paraíso	7,13	9,45	4,98	3,574	8,39	0,07	0,06
Barrio Mapajo	3,52	2,37	3,91	0,74	2,01	0,04	0,05
Taropal	3,69	2,21	0,85	0,73	1,90	0,04	0,05

Los resultados nos muestran contenidos bajos de estos elementos, esto se puede explicar en base a los contenidos normales de los suelos pandinos, con contenidos bajos en metales básicos, ya que la acidez es alta, la mayoría de estos elementos suele estar presentarse en sus formas solubles y pasar a las capas inferiores de suelo.

**Tabla 5: Resultados del análisis de agua residual: metales del bloque p**

Muestra	Al ppm	Pb ppb	Tl ppb
Barrio Policial	ND	13,94	24,25
Barrio Paraíso	ND	13,97	21,93
Barrio Mapajo	ND	12,58	15,73
Taropal	ND	12,13	18,04

En los resultados se aprecia las presencias de plomo y talio, concentraciones dadas en partes por billón, pero que no dejan de ser importantes ya que dichos elementos son cancerígenos. No se ha detectado la presencia del aluminio, esto puede deberse al pH de las aguas residuales, y a la alta reactividad del aluminio con otros elementos.

**Tabla 6: Resultados del análisis de agua residual: metales de transición**

Muestra	Mn ppm	Fe ppm	Ti ppm	Cd ppb	Co ppb	Cr ppb	Cu ppb
Barrio Policial	0,05	ND	ND	7,44	ND	4,47	< 10 ppb
Barrio Paraíso	< 20 ppb	ND	ND	6,25	ND	5,14	0,21
Barrio Mapajo	< 20 ppb	ND	ND	7,42	ND	5,17	< 10 ppb
Taropal	< 20 ppb	ND	ND	6,99	ND	4,90	< 10 ppb

No fueron detectadas las presencias de hierro, titanio y cobalto en las muestras de agua residuales y tampoco se ha encontrado investigaciones acerca de las aguas residuales y su contenido en estos elementos. Sin embargo se ha detectado presencia de cadmio, un metal muy toxico agudo ya que se acumula en cualquier organismo.

**Tabla N° 7: Resultados del análisis de agua residual: metales de transición**

Muestra	Ni ppb	Zn Ppb	Nb ppb	V ppb	Zr ppb	Y ppb	Hf ppb
Barrio Policial	3,35	< 10 ppb	11,32	< 25 ppb	Trazas	0,11	13,82
Barrio Paraíso	3,81	< 10 ppb	5,04	< 25 ppb	Trazas	0,06	15,18
Barrio Mapajo	3,49	< 10 ppb	11,46	< 25 ppb	0,10	0,10	13,64
Taropal	2,62	< 10 ppb	6,01	< 25 ppb	0,08	0,08	14,62

Los valores presentados en la tabla N° 7 representan los valores más bajos junto con los de la tabla anterior, sin embargo se puede apreciar las presencias de niobio, níquel, zirconio, ytrio y hafnio en todas las muestras.

**Tabla 8: Resultados del análisis de agua residual: metaloides**

Muestra	As ppb	Si ppm	B ppm
Barrio Policial	20,14	13,30	0,97
Barrio Paraíso	16,34	11,24	0,93
Barrio Mapajo	21,54	9,61	0,87
Taropal	23,19	9,22	0,86

Los valores de arsénico son bastante bajos, el silicio no es considerado un elemento de interés, la ley 1333 no tiene un límite permisible, es muy raro encontrarlo con silicio puro ya que es insoluble en agua, la presencia de boro es muy normal en aguas residuales domesticas por ser un componente de los detergentes.

**Tabla 9: Resultados del análisis de agua residual: lantánidos**

Muestra	La ppb	Ce ppb	Eu ppb	U ppb
Barrio Policial	0,01	5,71	0,70	< 15 ppb
Barrio Paraíso	0,04	2,87	0,65	< 15 ppb
Barrio Mapajo	0,19	1,76	0,46	< 15 ppb
Taropal	Trazas	0,44	0,50	< 15 ppb

La presencia de uranio es prácticamente nula, con valores inferiores a 15 partes por billón, así mismo los otros valores son desconsiderables por ser demasiado bajos, pero la importancia radica en su presencia, el lantano, el cerio y el europio son propias de las tierras raras, llega los medios urbanos mediante la degradación de dispositivos electrónicos.

**Tabla 10: Resultados del análisis de agua residual: no metales**

Muestra	P ppm	S ppm	Se ppb
Barrio Policial	0,004	0,80	2,77
Barrio Paraíso	0,60	3,14	12,29
Barrio Mapajo	0,14	0,68	< 5 ppb
Taropal	0,05	0,71	12,19

Los no metales fosforo, azufre y selenio están presentes en las muestras de aguas residuales pero en cantidades mínimas.

A continuación se realiza una relación entre los resultados obtenidos en los muestreos de aguas residuales en la ciudad de Cobija y las obtenidas en el tarope; en tallo y hoja.

Tabla N° 11: Comparación de datos

	valores obtenidos				tarope	
	Barrio Policial	Barrio Paraíso	Barrio Mapajo	Taropal	tallo	hojas
Li	5,07	7,13	3,52	3,69	421,39	353,85
Na	3,1	9,45	2,37	2,21	5,89	3,64
K	1,06	4,98	3,91	0,85	1129,4	560,6
Mg	1,167	3,574	0,74	0,73	153,96	154,16
Ca	4,57	8,39	2,01	1,9	751,36	651,01
Sr	0,04	0,07	0,04	0,04	8,59	7,36
Ba	0,08	0,06	0,05	0,05	19,5	19,8
Al	ND	ND	ND	ND	0,879	5,108
Pb	13,94	13,97	12,58	12,13	32,6	21,25
Tl	24,25	21,93	15,73	18,04	< 15	< 15
Mn	0,05	< 20	< 20	< 20	36,58	20,71
Fe	ND	ND	ND	ND	2,27	8,06
Ti	ND	ND	ND	ND	ND	0,07
Cd	7,44	6,25	7,42	6,99	8,35	9,1
Co	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	4,47	5,14	5,17	4,9	56,7	25,95
Cu	< 10	0,21	< 10	< 10	391,36	271,44
Ni	3,35	3,81	3,49	2,62	60,09	100,74
Zn	< 10	< 10	< 10	< 10	758,4	974,05
Nb	11,32	5,04	11,46	6,01	9,07	7,94
V	< 25	< 25	< 25	< 25	76,59	88,45
Zr	Trazas	Trazas	0,1	0,08	0,62	2,76
Y	0,11	0,06	0,1	0,08	1,94	3,58
Hf	13,82	15,18	13,64	14,62	Trazas	5,6
As	20,14	16,34	21,54	23,19	32,08	31,55
Si	13,3	11,24	9,61	9,22	11,94	17,39
B	0,97	0,93	0,87	0,86	0,87	1,22
La	0,01	0,04	0,19	Trazas	4,87	5,45
Ce	5,71	2,87	1,76	0,44	2,49	13,16
Eu	0,7	0,65	0,46	0,5	0,76	0,88
U	< 15	< 15	< 15	< 15	14,34	23,52
P	0,004	0,6	0,14	0,05	55,7	107,14
S	0,8	3,14	0,68	0,71	19,62	26,44
Se	2,77	12,29	< 5	12,19	11,15	6,55

ppm

ppb

Se puede observar la presencia de uranio con mucha diferencia con respecto a las muestras de agua residual, la absorción masiva de potasio, calcio y litio. También se puede observar que el tarope presenta valores por debajo de algunos elementos en aguas residuales como hafnio y niobio, así mismo se puede observar la acumulación significativa de bario por parte del tarope.

## **5. DISCUSIÓN**

Se realizó el análisis bibliográfico correspondiente, no se encontró investigaciones anteriores en relación a la temática abordada, sin embargo se realizó la comparación de datos con la legislación vigente, y en algunos casos con legislación extranjera.

Respecto a los contenidos de metales y no metales en el tarope, no se ha encontrado investigaciones anteriores, ni legisladas, con algunas excepciones en parámetros muy conocidos, los cuales se presentan en su subtítulo respectivo.

### **Litio (Li)**

El análisis nos muestra resultados elevados de litio en las muestras de agua residual, que sobrepasan los 2,5 mg por litro exigidos por ley, el valor más elevado es el del Barrio Paraiso con 7,13 mg por litro lo que nos podría indicar una elevada cantidad de industrias a pequeña escala, curtiembres que utilizan productos con altos contenidos de litio, si bien el litio no es considerado tóxico, nos podrían estar llevando a una sobresaturación iónica. El análisis de tarope nos muestran en contenido de litio 350 a 400 partes por millón, una cantidad realmente alta en comparación con la composición del agua a su alrededor que no sobrepasa los 4 ppm, lo que nos indica una absorción y retención elevada, según el portal de Lenntech el litio estimula además el crecimiento de las plantas, lo que puede explicar la elevada regeneración del único taropal de Cobija.

### **Sodio (Na)**

Las concentraciones de sodio están por muy debajo de la exigencia de la ley 1333, esto puede suponer por otro lado indicios de una elevada concentración de sales complejantes que encapsulan al sodio ya que elevadas concentraciones de litio pueden hacer suponer también elevadas concentraciones de sodio, esto

puede deberse también a altas concentraciones de alcalinotérreos que realizan intercambio iónico con las sales de sodio.

Las concentraciones de sodio en el tarope muestran cifras de 3 a 6 ppm, coincidiendo con las bajas concentraciones de sodio en las muestras de agua residual y aguas del taropal.

### **Potasio (K)**

Los resultados de potasio en las muestras de agua residual están por debajo de los valores brindados por el manual de ingeniería de aguas residuales de METCALF Y EDDY, que antepone un valor de 7 a 15 ppm, y la legislación boliviana no brinda un valor como límite permisible, ya que el potasio no está considerado un metal tóxico.

En las muestras de tarope los valores de potasio sobrepasan las 500 ppm, eso nos indica por conversión un valor de 0,05 %, es decir un valor dentro de lo normal.

### **Calcio (Ca)**

El calcio se encuentra entre los valores referenciados por el manual de ingeniería de aguas residuales (METCALF Y EDDY, INC, 1995), el valor más elevado fue dado por el barrio Paraiso con 8,39 ppm, según la agencia de protección ambiental de EEUU el valor máximo es de 50 ppm, por lo que los valores están dentro del rango adecuado, según la ley 1333, el valor máximo admisible es 330 ppm para descargas a efluentes, en cuanto a calcio no hay de qué preocuparse.

En las muestras de tarope los valores son de 751,36 ppm en tallo y de 651,01 ppm en hoja lo que nos muestra una alta retención del metal, así que se podría utilizar el tarope con suelos bajos en calcio.

### **Bario (Ba)**

El bario es muy tóxico, en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder las 20 ppm (Simón, 2016). Según la legislación venezolana (decreto 883, 1995), las aguas que sobrepasan los 5 mg por litro están prohibidas para ser vertidas directamente a una fuente natural y según la ley 1333 el límite máximo es de 2,0 ppm, los valores obtenidos en las muestras de agua residual son bastante bajos, pero debemos tomar en cuenta que está presente y las fuentes de su procedencia pueden ser diversas: pirotecnia, venenos para roedores, pinturas, vidrios especiales, etc.

### **Magnesio (Mg)**

Los valores obtenidos de magnesio se encuentran entre 0.73 y 3.57 partes por millón, según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el contenido de magnesio no debería sobrepasar los 150 ppm, aun si es agua de clase D. podríamos concluir entonces que los valores están dentro de los límites permisibles.

### **Zinc (Zn)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el zinc no debería exceder los 0,5 mg por litro en aguas de clase C y 5,0 en aguas de clase D. Según la página de Lenntech (2017) en general se hay un límite permisible de 5mg por litro de zinc en cualquier tipo de agua. Los valores encontrados son inferiores a 10 ppm.

### **Cadmio (Cd)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el cadmio no debería exceder los 0,005 mg por litro en aguas de clase D, o clase C, es decir que ningún tipo de agua debería sobrepasar los 0,005 ppm de

cadmio. En los valores obtenidos se puede observar que ninguno sobrepasa los límites, ya que el valor más alto es de 7.44 ppb.

### **Estroncio (Sr)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el estroncio no tiene límite permisible en ningún tipo de su clasificación, en las muestras los resultados son bastante bajos, de 0.04 a 0.07 ppm.

### **Aluminio (Al)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el aluminio tiene un límite máximo permisible de 1,0 mg por litro de agua residual. En las muestras de agua residual los valores están por debajo del límite de detección, esto llama la atención ya que los suelos pandinos contienen altas cantidades de aluminio por su naturaleza acida. Esto puede deberse a la retención precisamente por parte del suelo en no liberar demasiado aluminio al agua. Ya que además recordemos que el aluminio es insoluble en muchos de sus estados.

### **Ytrio (Y)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de ytrio en aguas residuales. No existe referencias respecto a la cantidad de este metal en aguas residuales, pero su origen se encuentra ligada a la industria del petróleo, y en la fabricación de equipos electrónicos, el ytrio se acumula gradualmente en el suelo y en el agua y a la larga en humanos. En animales acuáticos el ytrio causa daños en las células de membrana, las cuales tienen bastante influencia negativa en la reproducción y las funciones del sistema nervioso. (Lenntech. 2017), los valores encontrados de ytrio son inferiores a 0.11 ppb, así es que podemos estar tranquilos respecto a este metal tóxico.

### **Lantano (La)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de lantano en aguas residuales. Sin embargo los valores obtenidos en las muestras son muy bajas, van desde trazas hasta 0.19 ppb.

### **Cobre (Cu)**

Los valores de cobre en las muestras de agua residual están por debajo de su límite permisible, ya que según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de cobre en aguas residuales es de 1,0 mg por litro, los valores obtenidos están por debajo de 0.21 ppm.

### **Talio (Tl)**

La presencia del talio en aguas residuales no está documentada, sin embargo existen datos de su toxicidad y presencia a nivel general, tanto en suelo como en agua. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, no hay una referencia de límite permisible en contenido de talio en aguas residuales. Los valores obtenidos en las muestras son bastante bajos, pero ya que el talio es un metal utilizado en raticidas e insecticidas debemos concluir el uso de estos productos en puntos cercanos a la toma de muestra. los valores van desde 15.73 ppb hasta 24.25 ppb.

### **Hierro (Fe)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de hierro en aguas residuales es de 1,0 mg por litro. En las muestras los valores de encuentran por debajo de los límites de detección, es decir que está presente pero con valores que están por debajo de 20 ppb.

### **Níquel (Ni)**

El níquel en aguas residuales debido a su toxicidad no debería exceder los 10 ppm (Simón, 2016). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el límite permisible en contenido de níquel en aguas residuales es de 0,5 mg por litro de agua residual. En las muestras los valores van de 2.62 a 3.81 ppb, muy por debajo.

### **Plomo (Pb)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el plomo tiene como límite permisible en contenido de plomo total en aguas residuales una cantidad de 0,1 mg por litro, para una clase de agua D, y para las otras clasificaciones un contenido máximo de 0,05 mg por litro. En las muestras los resultados son bastante por debajo de los límites permisibles, van desde 12.13 partes por billón hasta 13.97 partes por billón, pero está presente, esto puede ser ocasionado por el derrame de gasolina y otros productos que lo contienen en cantidades bajas.

### **Azufre (S)**

Los valores obtenidos son muy inferiores a los legislados por la ley 1333, donde el límite máximo es de 400 ppm, los valores obtenidos van desde 0.004 a 0.14 ppm como fósforo puro.

### **Selenio (Se)**

Según la legislación venezolana el selenio tiene su límite máximo en una concentración de 0,05 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el selenio no debe exceder los 0,05 mg por litro de agua residual. Respecto a este elemento los valores obtenidos van de 5 a 12.19 partes por billón, son muy bajos y dentro de los límites legislados por la ley 1333.

## **Fosforo (P)**

Si bien el fosforo es considerado un micronutriente cuando hablamos de suelo, el agua residual tiene una relación importante con la corrosión de las tuberías, según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el fosforo como ortofosfato tiene su límite máximo admisible de 1,0 mg por litro, es decir 0,3 mg de fosforo por litro de agua residual. Los valores obtenidos en laboratorio fueron de 0.80 ppm en el barrio policial, el más bajo y 3.14 en el barrio paraíso en el dato más alto, según METCALF Y EDDY, INC, (1995) una concentración de aguas residuales urbanas débil, tiene un máximo de 4 ppm en fosforo total, una media de 8 ppm y una fuerte de 15 ppm esto de acuerdo a una tabla de valores típicos de aguas residuales urbanas. Así que podemos decir que nos encontramos frente a aguas residuales débiles.

## **Arsénico (As)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el arsénico tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,1 mg por litro de agua residual para aguas de clase D. Los valores obtenidos en laboratorio van desde 16.34 a 23.19 partes por billón, valores muy bajos y en comparación con la ley 1333 esta óptimos, aunque debemos considerar que el arsénico por su naturaleza tóxica es preocupante aunque presente en ínfimas cantidades.

## **Boro (B)**

El boro puede variar de 0,1 a 0,4 ppm en aguas residuales urbanas (METCALF Y EDDY, INC, 1995). Según la legislación venezolana el boro tiene su límite máximo en una concentración de 5,0 mg por litro, para descarga a una fuente natural de agua (decreto 883, 1995). Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el boro tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 1,0 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D.

Los valores de boro, resultados del muestreo se acercan mucho a los límites permisibles por ley, donde los resultados varían de 0.86 a 0.97 ppm, esto puede ser debido a los valores ácidos en muestras de suelos, ya que las concentraciones de boro están muy relacionadas con la salinidad del suelo.

### **Silicio (Si)**

Según METCALF Y EDDY, INC, (1995), el silicio presente como sílice puede encontrarse en aguas residuales típicas urbanas en una concentración de 2 a 10 ppm, es decir de 0,9 a 4,7 como silicio puro. Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica el silicio no tiene límite permisible en ningún tipo de su clasificación. Respecto a los valores obtenidos en los muestreos de diferentes puntos de Cobija, estos exceden los valores normales de silicio en aguas residuales porque dos de ellos están por encima de 9.21 ppm, los del barrio Policial y el barrio Paraiso.

### **Cromo (Cr)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el cromo tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,05 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D, como cromo con número de oxidación igual a 6+, para el cromo 3+ es de 1,1 mg por litro para aguas de clase D. Los valores obtenidos están por debajo de los límites, con concentraciones menores a 5.17 ppb.

### **Manganeso (Mn)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el manganeso tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 1,0 mg por litro de agua residual para aguas de clase B, C o D, en las muestras los valores van desde menor a 20 ppb hasta 0.05 ppm, es decir está presente pero en bajas cantidades y dentro de los límites permisibles.

### **Vanádio (V)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el vanadio tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,1 mg por litro de agua residual para aguas de clase A B, C o D. En las muestras los valores obtenidos fueron inferiores a 25 partes por billón, se concluye que no existe contaminación por vanadio.

### **Uranio (U)**

Según la ley 1333 (1992), en su reglamento en materia de contaminación hídrica, el uranio tiene como su límite máximo admisible la cantidad de 0,02 mg por litro de agua residual para aguas de clase A, B, C o D. los valores obtenidos son de menor a 15 partes por billón en todos los casos, prácticamente se puede considerar una ausencia de este compuesto.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se dan las siguientes conclusiones del trabajo de investigación.

- ✓ Se ha determinado el contenido de metales y no metales en cuatro muestras de aguas residuales de diferentes puntos de la ciudad de Cobija, mediante el método instrumental de ICP. Los resultados se encuentran en las tablas N° 1, N° 2 y N° 3 del apartado de resultados. Donde se puede observar que los datos obtenidos de la muestra del Barrio Paraíso son los más elevados en los parámetros de Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Pb, Cu, Ni, Hf, P, S y Se, es decir sobrepasa a los otros valores en el 68% de los parámetros. Los valores del Barrio Policial sobresalen en cuanto al contenido de Ba, Tl, Mn, Cd, Y, Si, B, ce y Eu, los resultados del Barrio Mapajo sobresalen en Cr, Nb, Zr y La, así mismo la muestra extraída del taropal solamente sobresale en As.
- ✓ En la determinación del contenido de metales y no metales en tallos y hojas del tarope, especie extraída dentro del área urbana de Cobija, mediante el método instrumental de ICP. Los resultados se encuentran en las tablas N°4, N° 5, N° 6, N° 7, y N° 8 del apartado de resultados. En los cuales se puede constatar una relación equilibrada entre algunos valores obtenidos en tallo con respecto a las hojas, en otros casos la diferencia sobrepasa el 100%, tales parámetros son los siguientes: K, Cr, y Se, donde los resultados son más elevados en tallo, respecto a los resultados más elevados en hojas que en tallos, son el Al, Fe, Zr, Ce, P y S.
- ✓ Para el último objetivo, se ha elaborado una tabla comparativa con los resultados de ambos estudios. Dichos datos de encuentran en la tabla N° 12, de donde se puede concluir que respecto al contenido en Li, la diferencia es bastante, con valores en la especie de 54 veces el valor de las aguas residuales, así mismo los valores de K, equivalen a 227 veces el

valor hallado en las aguas residuales, en Mg es de 43 veces el valor obtenido en las muestras de agua residual. En Ca, equivale a 89 veces el valor de las aguas residuales. Los demás parámetros guardan una relación equilibrada. También sobresale el hecho del contenido de U presentes en tallos y hojas, con valores de 14 a 23 ppb, valores bastante bajos pero en comparación con las muestras de agua residual donde están prácticamente ausentes. Lo mismo se puede observar respecto al contenido de Fe, Ti y Al. También se puede concluir que el tarope (*Eichhornia crassipes*), es excelente retenedora del 91 % de los parámetros evaluados, quedando solo exentos el Tl, B y Eu.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Al concluir el presente trabajo de investigación y tomando en cuenta los resultados obtenidos, podemos dar las siguientes recomendaciones.

Se recomienda hacer otro tipo de investigaciones complementarias, sobre la calidad de las aguas residuales en Cobija, ya que al no ser aun una ciudad con industrias, sus aguas no presentan valores altos de contaminantes, y se puede realizar proyectos a baja escala por sectores comunitarios, barriales, otbs, etc.

Continuar con nuevas investigaciones referente a la utilidad del tarope en base a su gran contenido de macro y micronutrientes. Como por ejemplo la remoción de elementos pesado y fuente para elaborar abono.

Se recomienda el uso del tarope para mejorar la calidad de las aguas contaminadas. Debido a los resultados obtenidos se pudo observar la gran capacidad cualitativa y cuantitativa que presenta el tarope para extraer y retener metales y no metales alcalinos, alcalinotérreos, metales pesados, metales radiactivos, etc.

En base a los datos obtenidos en la presente investigación se podría diseñar pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales por barrios, que es la última tendencia en los países con población dispersa o topografía irregular.

Se puede realizar una propuesta viable de tratamiento de aguas residuales domésticas con base en la presente investigación, que vaya a contribuir a la reducción de la contaminación de su fuente receptora, el río Acre y Arroyo Bahía, los cuales resultan ser un límite fronterizo, y la importancia de este también radica en que es una fuente de agua para muchas comunidades, que viven en la parte baja de la cuenca.

Para familias que viven alejadas de las áreas urbanas y no cuenten con ningún tipo de tratamiento de sus aguas, el uso del tarope podría ser una alternativa.

En sistemas naturales con contaminación paisajística donde el agua es turbia se podría crear una barrera viva con tarope ya que también aclara el agua.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Blanco A. et al.** (1998). Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico en aguas de la provincia de Salamanca. Departamento de química analítica. Salamanca.
- Bolivia Ecológica.** (2005). Bolivia. N° 39. Vegetación Acuática de Bolivia. Revista boliviana. Año 2005.
- Decreto 883.** (1995). Normativa Ambiental Venezolana. Gaceta oficial 5.021. extraordinario 18/12/1995
- EPA.** (2012). [en línea]. Environmental Protection Agency. EEUU. Escuadrón de protección ambiental. Sistemas naturales de depuración. [Fecha de consulta: 5 marzo de 2013]. Disponible en: [www.ceadu.org.uy/documentos/Manual%20EPA%20de%20Sistemas%20](http://www.ceadu.org.uy/documentos/Manual%20EPA%20de%20Sistemas%20)
- Espigares M. & Pérez J. A.** (2012). Las aguas residuales y su composición: aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.
- Gobierno municipal de Cobija,** (2016) .Información general de Cobija. disponible en su página web del mismo nombre.
- Gunnar N.** (2001). Metales: propiedades químicas y toxicidad. Instituto nacional de seguridad e higiene de trabajo. España
- HERENCIA.** (2012). Organización no gubernamental. Disponible en: [www.herencia.org.bo](http://www.herencia.org.bo). 2012
- INE.** (2012). Instituto Nacional de Estadística. Estado plurinacional de Bolivia. Disponible en: <http://www.ine.gob.bo/>
- Ley N° 1333.** Gaceta oficial de la República de Bolivia, La Paz Bolivia, 26 de enero de 1996.
- Lenntech.es.** (2017). Tratamiento y purificación de agua. Consultado en 15 abril de 2017 Disponible en : <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/>

- Mamani E.** (2009). Aguas internacionales. El caso de las represas del río Madera, en Justicia Ambiental y Sustentabilidad Hídrica. Comisión para la gestión integral en Bolivia. Bolivia, 170 p.
- Metcalf & Eddy inc.** (1995). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento vertido y reutilización. Departamento de ingeniería de procesos. McGraw Hill. España. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/290416625/Ingenieria-de-Aguas-Residuales-Completo>
- Morales P.** (2012). Director laboratorio IGEMA UMSA. Entrevista personal. La Paz Bolivia.
- Pasto E.** (2002). Sistemas de depuración natural de aguas residuales En Moxos, Amazonia boliviana. [en línea]. [Fecha de consulta: 17 mayo 2011]. Disponible en: [Http://www.cimat.ues.edu.sv](http://www.cimat.ues.edu.sv)
- PNUMA.** (2008). Perspectivas del Medio Ambiente urbano: Geo Cobija. Gobierno Municipal de Cobija y HERENCIA. Bolivia.
- Ruiz Y.** (2014). Contaminación por metales pesados, implicaciones en la salud. Revista ingeniería investigación y desarrollo. Colombia
- Soto E.** (2004). Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Departamento de ingeniería química de la facultad de ciencias químicas. México
- Urquidi F.** (2012). Los recursos hídricos en Bolivia. Un punto de vista estratégico sobre la problemática de las aguas transfronterizas. En: Diagnostico del Agua en las Américas. México. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.

Para la elaboración del presente documento se tomaron como bases los siguientes textos de consulta:

- American Psychological Association** (2002). Manual de publicaciones de la American Psychological Association. México
- Sampieri R.** (2014). Metodología de la investigación. 6ta edición. México



## INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS .....	3
1.1.1. General .....	3
1.1.2. Específicos .....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Aguas Transfronterizas .....	4
2.2. El tarope.....	4
2.2.1. Características generales.....	4
2.2.2. Descripción taxonómica (Mart.) Solms.....	6
2.3. Sistemas depurativos .....	6
2.4. Metales y no metales evaluados .....	7
2.4.1. Litio (Li) .....	7
2.4.2. Sodio (Na).....	7
2.4.3. Potasio (K).....	7
2.4.4. Calcio (Ca).....	8
2.4.5. Bario (Ba).....	8
2.4.6. Magnesio (Mg) .....	8
2.4.7. Zinc (Zn).....	9
2.4.8. Cadmio (Cd).....	9
2.4.9. Estroncio (Sr) .....	10
2.4.10. Aluminio (Al).....	10
2.4.11. Ytrio (Y).....	11
2.4.12. Lantano (La).....	11
2.4.13. Cobre (Cu).....	11
2.4.14. Talio (Tl).....	12
2.4.15. Hierro (Fe) .....	12
2.4.16. Níquel (Ni) .....	12
2.4.17. Plomo (Pb) .....	13
2.4.18. Azufre (S) .....	13
2.4.19. Selenio (Se).....	14

2.4.20. Fosforo (P) .....	14
2.4.21. Arsénico (As).....	14
2.4.22. Boro (B).....	15
2.4.23. Silicio (Si).....	15
2.4.24. Cromo (Cr).....	15
2.4.25. Manganeseo (Mn) .....	16
2.4.26. Vanadio (V) .....	16
2.4.27. Uranio (U) .....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1. Área de estudio .....	17
3.1.1. Ubicación geográfica y característica .....	17
3.1.2. Composición social.....	18
3.1.3. Sistema de alcantarillado.....	18
3.2. Materiales y equipos utilizados .....	19
3.3. Metodología .....	20
4. RESULTADOS .....	26
5. DISCUSIÓN .....	33
Litio (Li) .....	33
Sodio (Na) .....	33
Potasio (K).....	34
Calcio (Ca).....	34
Bario (Ba).....	35
Magnesio (Mg) .....	35
Zinc (Zn).....	35
Cadmio (Cd) .....	35
Estroncio (Sr) .....	36
Aluminio (Al) .....	36
Ytrio (Y).....	36
Lantano (La).....	37
Cobre (Cu).....	37
Talio (Tl).....	37

Hierro (Fe) .....	37
Níquel (Ni) .....	38
Plomo (Pb).....	38
Azufre (S).....	38
Selenio (Se).....	38
Fosforo (P).....	39
Arsénico (As).....	39
Boro (B).....	39
Silicio (Si).....	40
Cromo (Cr).....	40
Manganeso (Mn).....	40
Vanádio (V).....	41
Uranio (U).....	41
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
6.1. CONCLUSIONES .....	42
6.2.RECOMENDACIONES .....	43
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	45

ANEXO A: MEMORIA FOTOGRAFICA



Vertiente seca que es convertida en desagüe de aguas residuales, en la parte baja del Barrio Paraiso



Lavado manual de las plantas de tarope para eliminar la tierra e impurezas.



Armado de piscina para prueba piloto con agua residual y 100 plantas de tarope



Piscina con algunas plantas de tarope, en su segundo día después de ser extraídas de su lugar de crecimiento



Pruebas químicas después de haber pulverizado las muestras de tarope, extracción mediante éter etílico



Muestras de raíces de tarope para realizar los análisis correspondientes, los cuales no fueron realizados por ser muy minimos



Taropal de donde se extrajeron las muestras, laguna cercana al actual aeropuerto de Cobija (2017)



Recolección de tarope, donde se recolectaron 200 unidades de plantas, en época seca.



Muestras de hojas de tarope



Muestras de tallos de tarope



Determinación de cenizas en tarope



Laboratorio donde se realizaron las pruebas iniciales en la facultad de ciencias puras.

## Anexo B: Resultados complementarios de los análisis.

**Tabla 1: Resultados del análisis físico del tallo y hoja del tarope (ppm)**

Muestra	cenizas	humedad
Tallo 1	13.54	4,55
Tallo 2	13,59	4,89
Tallo 3	13,56	4,75
Hoja 1	19,00	6,30
Hoja 2	18,90	6,25
Hoja 3	19,02	6,25

**Tabla 2: Resultados del análisis de agua residual parámetros físicos**

Muestra	ST			T		
	[ppm]	SD [ppm]	SS[ppm]	CE [uS/cm]	[°C]	pH
Barrio Policial	760	412,2	347,8	82	16,2	7,24
Barrio Paraiso	580,5	350,5	230	230	16,5	7,52
Barrio Mapajo	2050	1245,7	804,3	81	16,6	7,02
Taropal	320,4	294,5	25,9	58,5	16,6	7,16

**Tabla 3: Resultados del análisis de agua residual parámetros químicos [ppm]**

Muestra	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>1-</sup>
Barrio Policial	110	4,54	0	82,6
Barrio Paraíso	275	14,1	0,042	213,4
Barrio Mapajo	176	3,53	0,091	55,5
Taropal	98	1,44	0	41,3

## Anexo C: descripción del equipo ICP



### Definición

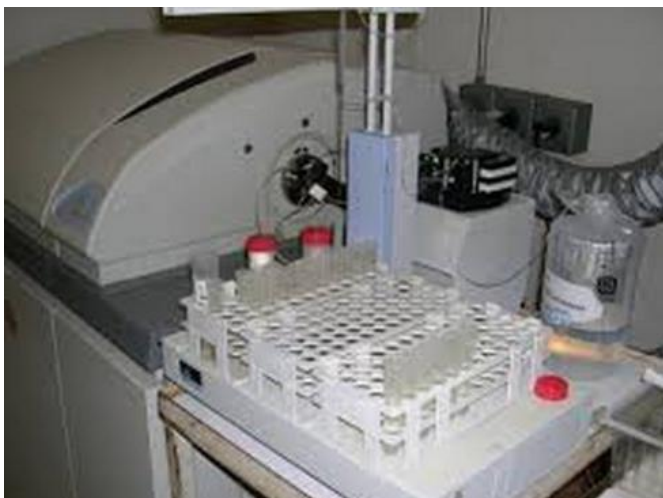
El **ICP-MS** (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente) es una técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (ng/l – mg/l) además de poder llevar a cabo la determinación de los elementos en un análisis multielemental que provee la composición de la muestra analizada. Puede además llevar a cabo la cuantificación de la composición isotópica y estudios de la estabilidad de isótopos traza.

### Componentes principales:

#### a) Sistema de introducción de muestra

La mayoría de las aplicaciones del ICP-MS involucran el análisis de muestras líquidas, a pesar de que se ha podido adaptar la técnica para el análisis de sólidos. Si bien existen muchas formas de introducir una muestra líquida al equipo, todas ellas terminan generando un aerosol fino a partir de la muestra, que puede ser ionizado eficientemente en el plasma. Actualmente la eficiencia de esta área es muy baja, pues se estima que solo entre el 1-2% de la muestra introducida logra alcanzar el plasma. El sistema general de introducción de muestras consta de dos partes: un nebulizador y una cámara de

spray. El nebulizador genera un aerosol a partir de la muestra empleando para ello un flujo de gas que dispersa el líquido en pequeñas gotas. Posteriormente el aerosol entra a la cámara de spray cuya función es permitir que solo las gotas de tamaño adecuado pasen a la zona del plasma, descartando las gotas de mayor tamaño que podrían crear problemas analíticos si llegasen a la antorcha.



### **b) Plasma y bobina de radiofrecuencias**

El ICP tiene como finalidad deshidratar la muestra, atomizarla, excitar los átomos presentes y por último ionizarlos; esto se logra gracias a las altas temperaturas, de 6000 a 8000 K, que alcanza el plasma. El plasma es generado pasando argón a través de la antorcha, la cual es una serie de tres tubos concéntricos usualmente de cuarzo y que se encuentra envuelta en un extremo por una bobina de radiofrecuencias. Posteriormente se suministra una corriente de RF a la bobina mediante un generador de radiofrecuencias, esto genera una corriente oscilante dentro de la bobina, que ocasiona un campo magnético de gran intensidad en la salida de la antorcha; una chispa de alto voltaje es aplicada al gas, generando iones de argón los cuales son capturados por el campo magnético y originan una reacción en cadena de ionización que termina en la transformación del gas en plasma.

### **c) Interfase**

La función de la interfase es permitir que el plasma y el sistema de lentes puedan coexistir; así como que los iones generados por el plasma, a altas temperaturas y presión atmosférica, pasen a la región de las lentes, a temperatura ambiente y alto

vacío. Esta es el área más crítica de todo el sistema de ICP-MS. Esta región de interfase consiste en dos conos metálicos con orificios muy pequeños, el espacio entre ellos se mantiene a alto vacío por una bomba rotatoria y se denomina cámara de expansión. El primer cono se denomina sampler, está conectado a sistemas disipadores de calor y está conectado a tierra, a través de este cono el plasma con muestra es succionado dentro de la cámara. Dentro de ésta se encuentra el chorro de iones que se expande y toma la forma de un cono. El segundo de los conos es denominado skimmer, su función es permitir que solo la línea de iones cercanos al eje del cono formado durante la expansión pase a la zona de lentes, pues se considera esta zona como representativa de la muestra analizada.

#### **d) Sistema de vacío**

El sistema de vacío se encarga de remover las moléculas de gas presentes dentro del espacio que existe entre la interfase y el detector del equipo, este sistema se encuentra compuesto por una combinación de bombas turbomoleculares y de bombas mecánicas. La bomba turbomolecular es capaz de alcanzar presiones de  $1 \times 10^{-5}$  torr o menos. La bomba mecánica apoya a la bomba turbomolecular y evacúa la región de interfase.

#### **e) Lente de iones**

La función de esta parte del equipo de ICP-MS es la de transportar el máximo número de iones analitos de la región de interfase al dispositivo de separación de masas, al mismo tiempo que rechaza la mayor cantidad de componentes de la matriz y especies que no son analitos. Estos lentes no son lentes ópticos tradicionales, sino que son una serie de platos, barriles o cilindros metálicos que tienen un potencial fijo en ellos. Cumplen con dos funciones importantes; 1) transportar los iones de la salida del cono skimmer al analizador de masa, 2) detener todas las partículas, especies neutrales, y fotones para evitar que lleguen a la zona del analizador de masas. Estas especies pueden causar inestabilidad de la señal e incrementar el ruido de fondo, además, las partículas presentes en la matriz pueden depositarse sobre los lentes y en casos críticos, llegar al analizador de masas.

#### **f) Celda de reacción/colisión**

La celda de reacción, también denominada celda de colisión, es empleada en los equipos de ICP-MS para detener la aparición de interferencias espectrales ocasionadas por el argón. La celda se localiza antes del cuadrupolo analizador. Los iones salen de la zona de interfase y entran a la celda, un gas de colisión/reacción como el hidrógeno o el helio es inyectado en la celda, la cual consiste de un multipolo (cuadrupolo, hexapolo u octapolo), usualmente operado en el rango de las radiofrecuencias. Este campo de radiofrecuencias (RF) no separa las masas como un cuadrupolo tradicional, sino que enfoca el haz de iones para que colisionen y reaccionen con el gas inyectado. Estas reacciones ocasionan que las especies interferentes se conviertan en especies no interferentes, o que el analito se convierta en otro ion sin interferencias. Tras esto los iones pasan al cuadrupolo analizador para la separación de masas.

#### **g) Espectrómetro de masas**

El espectrómetro separa los iones monocargados de cada isótopo de acuerdo a su masa. El más común de los espectrómetros es el cuadrupolo, el cual consiste en cuatro cilindros idénticos, montados de forma equidistante entre ellos, alrededor de una circunferencia, y sometidos a una combinación de corrientes continuas (DC) y radiofrecuencias RF. Cuando un voltaje particular de DC/RF es aplicado a las varillas, el potencial atraerá el ion analito de interés a través del cuadrupolo hasta la salida del mismo, donde emergerá y generará una señal eléctrica en el detector. Los iones con relaciones masa carga diferentes al ion analito serán eyectados a través de los espacios del cuadrupolo.

#### **h) Detector**

Los dos tipos de detectores más empleados en los equipos de ICP-MS son los sistemas multiplicadores de electrones, para un bajo número de cuentas, y los colectores de Faraday, para un alto número de cuentas. Los multiplicadores de electrones funcionan generando una cascada de electrones secundarios a partir del impacto de un ion en el detector, generando una corriente eléctrica proporcional a la cantidad de impactos de iones del analito, la cual es medida y relacionada con la concentración de analito. Actualmente la mayoría de los equipos de ICP-MS empleados para análisis de

ultratrazas emplean sistemas de película activa o dinodos discretos de multiplicadores de electrones. Para algunas aplicaciones donde los límites de detección de ultratrazas no son requeridos, el haz de iones del analizador de masas es dirigido hacia un electrodo metálico simple, o copa de Faraday.