



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA RESIDUAL MEDIANTE  
BIOABSORCIÓN OBTENIDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE  
AZÚCAR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: ANGEL MAURICIO AMANGANDI AMANGANDI**

**TUTOR: Dr. CELSO RECALDE**

Riobamba – Ecuador

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA RESIDUAL MEDIANTE BIOABSORCIÓN OBTENIDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”, de responsabilidad del señor egresado Ángel Mauricio Amangandi Amangandi, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Celso Recalde  
**DIRECTOR DE TRABAJO**  
**DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Miguel Santillán  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Ángel Mauricio Amangandi Amangandi, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en la tesis “REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUA RESIDUAL MEDIANTE BIOADSORCIÓN OBTENIDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR” y el patrimonio intelectual de la tesis de grado, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mauricio Amangandi

C.I. 0201976891

## **DEDICATORIA**

A mi Madre, Lupe Amangandi quien con su paciencia y amor ha sido una guía en este largo camino hacia el éxito y quien a pesar de sus problemas de salud y económicos nunca dejo de brindarme su apoyo y confianza en cada momento de mi vida.

A mis hermanos, primos y tíos por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Mauricio A.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme salud y vida e iluminación para poder culminar una etapa.

A mis asesores, Dr. Celso Recalde, Tutor de trabajo de Titulación, de igual manera al Ing. Miguel Santillán por brindarme su amistad y conocimientos sirviéndome como guía a lo largo de desarrollo de la investigación.

A mis familiares y amigos por sus consejos y apoyo incondicional que me fortalecieron como persona y así logra con la meta de ser un profesional.

Mauricio A.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
INTRODUCCION.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. El plomo.....	7
1.2.1. <i>Uso de Plomo</i> .....	7
1.2.2. <i>Contaminación de plomo en agua</i> .....	8
1.3. Biofiltros.....	9
1.3.1. <i>Filtración por gravedad (filtración lenta)</i> .....	9
1.4. Caña de azúcar ( <i>Sacharum officinarum</i> ).....	9
1.4.1. <i>Bagazo</i> .....	10
1.4.2. <i>Uso de bagazo de caña</i> .....	11
CAPÍTULO II	
2. METODOLOGÍA.....	12
2.1. Metodología de la investigación.....	12
2.2. Lógica de la investigación.....	12
2.2.1. <i>Preparación del bioadsorbente</i> .....	13
2.2.2. <i>Diseño y construcción de biofiltro</i> .....	14
2.2.3. <i>Preparación de la solución de plomo (Pb)</i> .....	16
2.2.4. <i>Experimentos de adsorción</i> .....	16
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
CAPITULO III	
3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
3.1. Concentraciones de plomo.....	18
3.1.1. <i>Concentraciones iniciales</i> .....	18
3.1.2. <i>Concentraciones finales de plomo</i> .....	18
3.2. Estudios estadísticos.....	19
CONCLUSIONES.....	23

RECOMENDACIONES .....	24
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Área total de caña cultivada en Ecuador y su producción. ....	10
<b>Tabla 2-1.</b> Propiedades físicas-químicas del bagazo de caña. ....	10
<b>Tabla 1-2.</b> Materiales, equipos y reactivos de la investigación. ....	12
<b>Tabla 1-3.</b> Concentración inicial de plomo. ....	18
<b>Tabla 2-3.</b> Resultados Finales. ....	18
<b>Tabla 3-3.</b> Prueba de Kolmogorov- Smirnov para una muestra. ....	20
<b>Tabla 4-3.</b> Resultado de ANOVA cantidad de remoción de plomo. ....	20
<b>Tabla 5-3.</b> Análisis de Tukey porcentaje de remoción. ....	21

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Uso de plomo .....	8
<b>Figura 2-1.</b> Bagazo de caña de azúcar.....	11
<b>Figura 1-2.</b> Material absorbente .....	14
<b>Figura 2-2.</b> Diseño de biofiltro por gravedad.....	15
<b>Figura 3-2.</b> Solución de plomo.....	16
<b>Figura 1-3.</b> Porcentaje de remocion de plomo .....	22

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1A:</b> Molienda del bagazo .....	30
<b>Fotografía 2A:</b> Tamizado del bagazo .....	30
<b>Fotografía 3A :</b> Secado de material residual.....	31
<b>Fotografía 4A :</b> Modificación Química .....	31
<b>Fotografía 5A:</b> Lavado del bagazo modificado con agua destilada.....	32
<b>Fotografía 6A:</b> Secado para su implementación en el filtro .....	32
<b>Fotografía 1B:</b> Construcción del sistema de filtración .....	33
<b>Fotografía 2B :</b> Implementación del lecho filtrante.....	33
<b>Fotografía 1C:</b> Aforo de nitrato de Plomo para la obtención de una concentración de Plomo .	34
<b>Fotografía 2C:</b> Adición de nitrato de Plomo en 6 L de agua.....	34
<b>Fotografía 3C:</b> Medición de pH del agua sintética.....	35
<b>Fotografía 4C:</b> Medición de conductividad.....	35
<b>Fotografía 1D:</b> Muestras filtradas.....	36
<b>Fotografía 2D:</b> Muestras a analizar.....	36

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** Obtención y preparación de materia prima

**ANEXO B.** Construcción del biofiltro

**ANEXO C.** Preparación de agua sintética

**ANEXO D.** Toma de muestra filtrada

**ANEXO E.** Resultados de análisis inicial

**ANEXO F:** resultados de análisis final

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue la verificación de la variación de concentración de plomo en agua sintética utilizando como absorbente el bagazo de caña de azúcar preparada mediante una modificación. El trabajo consistió en filtrar agua contaminada con plomo por medio de capas de material absorbente, durante el proceso se fueron tomando muestras con sus repeticiones en determinados tiempos. El proceso de absorción, se realizó por medio de filtración por gravedad, donde se estudiaron las variables independientes: la cantidad de biomasa absorbente, tiempo de contacto, y como variable respuesta la capacidad de absorción. Los resultados obtenidos indican que en los tratamientos existe una remoción de plomo de 0.229 mg/L, 0.302mg/L, 0.295mg/L, a diferentes tiempos de contacto durante una hora con intervalo de 20 minutos con 600g de dosis de bioadsorbente. Mediante el análisis estadístico SPSS se determina que existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la bioadsorción de plomo con una cantidad de biomasa es decir, que el potencial de remoción dependió del absorbente obteniendo porcentajes de remoción de 76,14%; 68,51%, y 69,27%, de concentración de plomo en función del tiempo. En conclusión la utilización de bagazo de caña de azúcar como absorbente para la remoción de plomo es un método viable ya que a los primeros 20 minutos tuvo la capacidad de remover un gran porcentaje, a la vez se pudo evidenciar que el tiempo influye en la reducción de la concentración ya que durante el transcurso del mismo existe una variación en la reducción y posteriormente se va estabilizando pudiendo ser aplicable cualquier tiempo de tratamiento. Se recomienda el diseño de plantas piloto para a remoción de iones metálicos con bagazo de caña de azúcar ya que demostró una gran capacidad de absorción, con el fin de que este tipo de proceso pueda ser llevados a escala industrial.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <BIORREMEDIACIÓN>, <BAGAZO DE CAÑA (*Sacharum officinarum*)>, <MODIFICACIÓN QUÍMICA>, <BIOFILTRO>, <REMOCIÓN>, <PLOMO (Pb)>, <AGUA RESIDUAL SINTETICA>.

## ABSTRACT

The objective of the present research work was to verify the variation of the lead concentration in synthetic water by using the sugarcane bagasse prepared through modification as absorbent material. The work consisted on filtering lead contaminated water through layers of absorbent material, some samples with their corresponding repetitions were taken at certain times during the process. The absorption process was carried out by gravity filtration, in which the independent variables were studied: the amount of absorbent biomass, contact time, and the dependent variable: response to the absorption capacity. The obtained results indicate that during the treatment there is lead removal of 0.299 mg/L, 0.302 mg/L, 0.295 mg/L, at different contact times during one hour with intervals of 20 minutes with doses of 600g of bio absorbent material. By means of a statistical analysis SPSS, it was determined that there is a significant difference ( $p < 0.05$ ) in the lead bio absorption with a certain amount of biomass; this is, the removal potential depended on the absorbent material, obtaining lead concentration removal percentages of 76.14%, 68.51% and 69.27% in concordance with the time. As a conclusion, the use of sugarcane bagasse as absorbent material for lead concentration removal is a reliable method due to at the first 20 minutes it had the capacity to remove an important percentage of lead; also, it was evidenced that time influences in the reduction of lead concentration because as time passes by there is variation in lead reduction but it stabilizes subsequently, so it is applicable for any treatment. It is recommended the design of pilot plants for metal ions removal by using sugarcane bagasse due to it demonstrated a great absorption capacity with the objective of carrying out the process on industrial scale.

**KEY WORDS:** < BIOTECHNOLOGY>, < BIOREMEDIATION>, < SUGARCANE (*Saccharum officinarum*) >, < CHEMICAL MODIFICATION>, < BIOFILTER>, < REMOVAL>, < LEAD (Pb)>, < CONTAMINATED SYNTHETIC WATER>.

## **INTRODUCCION.**

Los problemas ambientales más drásticos en la actualidad se deben al incremento de la industrialización y actividades antropogénicas, siendo así la contaminación del agua por metales pesados uno de los problemas más drásticos debido a su alta toxicidad. (Acosta Ismael; et al, 20017, pp. 9-12). El plomo es un metal tóxico que tiene la capacidad de acumularse en medio ambiente y causar daños severos a la salud tales como anemia, hepatitis, perturbación en sistema nervioso, daño en el cerebro, elevación de la presión sanguínea, daño en riñones, abortos, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad, en caso de embarazo puede entrar al feto causando así daños considerables al sistema nervioso y al cerebro entre otros. Además, el plomo en bajas concentraciones se encuentra de forma natural en el medio ambiente, pero debido a las actividades antropogénicas elevan su concentración, como el uso de productos químicos en la agricultura, explotación minera y la industrialización (OMS, 2015). También es conocido por su alto nivel de peligrosidad, y su facilidad de acumularse en el organismo, ya sea esta por medio de alimentos y consumo de agua con concentraciones altas. (Londoño Luis; et.al.2016, pp.145-153). Para la remoción de plomo en los últimos años se han venido utilizando métodos convencionales tales como la filtración con membrana, precipitación química, intercambio iónico y absorción con carbón activado; pero debido a sus elevados costos e ineficiencia debido a que no son capaces de remover grandes cantidades de iones metálicos no han sido muy utilizadas. (Tejada Candelaria; et al, 2016, pp. 169-178).

Ante lo expuesto anteriormente y dada la necesidad de reparar los daños causados a nuestro medio ambiente en especial al recurso hídrico debido a la importancia que tiene para la vida, en la presente investigación se propone la utilización del bagazo de caña de azúcar como absorbente el cual es un material de desecho, producto de actividades agroindustriales y a la vez son de gran abundancia en la región costa con el fin de contrastar dichos problemas tóxicos que produce el plomo. Para el estudio se realizó la caracterización al bioabsorbente, pruebas de absorción de plomo de soluciones acuosas mediante la medición de la concentración inicial y final para de esta forma determinar si existe diferencia en la concentración del Plomo (Pb) en agua residual por efecto de la aplicación del biofiltro con bagazo de caña de azúcar. (Karnitz Osvaldo; et al, 2010, pp. 184-191).

## JUSTIFICACIÓN

La presente investigación ha considerado los escasos estudios realizados a nivel nacional, sobre la absorción mediante material residual y la necesidad de realizar estrategias que sean amigables con el medio ambiente, nace ahí la importancia de evaluar la capacidad de remoción de metales pesados con materia prima residual aprovechando al máximo su potencial biotecnológico en ambientes contaminados.

Existen diversos procesos para el tratamiento de las aguas residuales tales como: intercambio iónico, precipitación, oxidación, reducción, tecnologías de membranas, en otros pero existe una dificultad a que en concentraciones muy bajas estos procesos resultan ineficientes. Por lo mismo, se considera a la absorción como una alternativa eficiente con un bajo costo.

El proceso consiste en la remoción del metal pesado Plomo (Pb), a partir de un absorbente natural como bagazo de caña de azúcar. La contaminación por metales pesados es generalmente el resultado de desechos no tratados de las industrias como la fabricación de pinturas y pesticidas, por tal; el trabajo consiste en el aprovechamiento de la materia orgánica y cubrir una necesidad ambiental, además dicho proceso acelera la descomposición de la materia ahorrando en un gran porcentaje los residuos y convirtiéndolos en un sistema de tratamiento, teniendo en cuenta que el bagazo de la caña de azúcar se puede encontrar durante todo el año en la costa ecuatoriana ya que son los productos más consumidos y considerando que este material residual tiene un fácil tratamiento y de gran disponibilidad y bajo costo. Por tal, la presente investigación pretende ser un aporte práctico y metodológico, puesto que servirá como una guía para la investigación y desarrollo, una vez comprobada la capacidad de absorción del metal pesado, siendo un aporte para el desarrollo sostenible.

### **Objetivo general**

- Remover plomo en agua residual mediante absorción obtenida del bagazo de caña de azúcar.

### **Objetivo específico**

- Verificación de la variación de concentración de plomo en agua residual utilizando como absorbente el bagazo de caña de azúcar.
- Construir un biofiltro con bagazo de caña de azúcar para la remoción de plomo.
- Determinar el porcentaje de remoción de plomo en función del tiempo de tratamiento.

## CAPÍTULO 1

### 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación.

Los contaminantes más importantes son los metales pesados siendo las principales fuentes contaminantes los efluentes líquidos descargados directa o indirectamente en los ríos. Dichas descargas han venido provocando extinción de toda forma de vida en ciertos tramos de los ríos y han alterado considerablemente el agua, lo que imposibilita su uso como agua potable, para irrigación o criaderos acuíferos (MAE). Siendo el sector industrial y la explotación de recursos naturales generan descargas con volúmenes altos de concentración de plomo. El plomo es uno de los metales que influyen para la generación de problemas ambientales más severos como la contaminación del agua, gracias a su elevada toxicidad y su capacidad de bioacumulación en organismos vivos. Debido a que no son química ni biológicamente degradables estos tienden a incrementar la contaminación de aguas (Acosta Ismael; et al, 2007, pp. 9-12).

Entre los materiales residuales que han sido estudiados ampliamente y con resultados muy eficientes en lo que se refiere a la remoción de metales pesados a nivel mundial podemos mencionar: (García & Colín, 2010, pp 2081-2086), realizan experimentos en disoluciones acuosas con hojas de alcanfor para eliminar Pb(II), logrando con resultado un absorción de 73,15 mg/g, a la vez (Chakravarty et.al.2010, pp502-509), para eliminación del mismo metal propuso el uso de las hojas de bael teniendo con resultado un absorción de 104mg/g; los parámetros considerados en la investigación fueron la dosis de absorbente, pH de la disolución, tiempo y la velocidad de agitación. A diferencia de las investigaciones realizadas, el proceso de absorción no se realizó en disoluciones sino por medio de filtración donde no fue necesario la agitación para la remoción del contaminante.

(Lasheen et.al.2012, pp 93-97), estudia la cascara de naranja como absorbente pero previamente realiza una modificación química por medio del uso de ácido nítrico logrando una máxima capacidad de remoción de 73,5mg/g. en este proceso la velocidad de remoción fue entre 10 y 24 horas. Asimismo, (Oré, Lavado & Bendezú, 2015, pp123-135), utilizaron una investigación mediante el empleo de marlo de maíz (MRLZ), para la remoción de los iones de plomo de soluciones acuosas, para ello se utilizó sistema batch, en función al tiempo de contacto, cantidad de absorbente

concentración inicial del contaminante plomo y el pH inicial de la solución, donde se estudió los iones competitivos presenciando un decrecimiento el porcentaje de remoción de Pb(II). Además, la absorción resulto más eficiente con la preparación de una monocapa del marlo de maíz logrando remover un 97% de plomo contenido en las aguas residuales de mina. De la misma manera, (Shih, Chun & Li, 2011, pp 166-172), describieron que la absorción, mediante el empleo de ceniza de la cascara de maní se encontró una remoción máxima de 33mg/g bajo las siguientes condiciones: 3g/L adsorbente, 100mg/L de plomo inicial, pH 4,2 y 30 °C de temperatura. Existe estudios de (Zheng & Meng, 2016, pp 391-400), donde comprobaron que la cantidad de adsorbente y el aumento de temperatura favorece la absorción, este caso utilizaron zuro de maíz para la remoción de cadmio (II), teniendo como resultado más del 90% a un pH que se encontraba entre los 2 y 7.

Tejada Candelaria; et al. 2015, pp. 59-67), Realizo un estudio a la absorción como un proceso de remoción de plomo en aguas residuales industriales, utilizando la biomasa residual de cascara de naranja y zuro de maíz, donde la propuesta de la investigación fue realizar una comparación entre los dos residuos, donde para determinar las mejores condiciones de absorción se realizó una variación en el tamaño de la partícula y el pH. Se logró identificar que las mejores condiciones de absorción fue con un tamaño de partícula de 0,5mm para el zuro de maíz y para la cascara de naranja fue de 1mm a un pH 6, obteniendo valores hasta un 99,2%. Además, Tejada propone la absorción de plomo(II) mediante el uso de bagazo de palma africana la misma que fue tratada químicamente con ácido cítrico, eligieron este material ya que este es uno de los desechos agroindustriales ampliamente disponible en la región Caribe colombiana, dicha investigación se lo realizo con un sistema batch en solución acuosas de plomo con una concentración de 100ppm, el método utilizado para la medición se lo hizo por absorción atómica, se utilizó FTIR para la caracterización de los grupos funcionales responsables de la absorción. Se determinó que el plomo fue removido en los primeros 10 minutos, en la investigación se hizo una comparación entre el material modificado y sin modificar, estableciendo que la modificación es altamente eficiente.

Higuera Oscar; et al (2009, pp, 107-119), realizan un trabajo cuyo objetivo es proveer una alternativa para la remoción de un metal pesado (Cr) de aguas residual utilizando la biomasa de hoja de café variedad castillo *coffea arabica*. Para ello, utilizaron reactivos grado analítico para la preparación de sintética de Cr(VI) posteriormente se empleó en material adsorbente (hoja de café) de distintas variedades con el fin de evaluar distintos filtros y determinar cuál es el más eficiente. Para la evaluación del material adsorbente a la hoja de café se hizo pasar una solución de cromo hexavalente, logrando una eficiencia de remoción entre 70% y 90%. Comprobado su eficiencia se utilizó el material adsorbente para pruebas de laboratorio para el diseño del filtro tipo columna. Las hojas de café se secaron y se trituraron para diferentes tamaños con el fin de evaluar su efecto sobre la eficiencia de absorción, seleccionando un tamaño de partícula de 0,212 mm ya que este

tamaño presento la eficiencia más elevada, debido a que menor tamaño de partícula mayor área de contacto existente entre el fluido y la biomasa. Para determinar el tiempo de saturación de la biomasa a la muestra de hoja de café se le agrego un volumen de solución sintética de cromo, se mantuvo en contacto de 6 horas para permitir el desarrollo del proceso de remoción, posteriormente se tomaron muestras periódicas cada 10 minutos con el fin de evaluar la eficiencia del proceso y determinar el tiempo de saturación de la biomasa.

Karnitz Osvaldo, et al (2010, pp. 184-191), utilizaron material absorbente, derivado de bagazo de caña de azúcar, donde se preparó mediante dos modificaciones químicas, la primera fue el bagazo de azúcar mercerizado con NaOH 5mol/L y el otro material se obtuvo de hacerlo reaccionar con dianhidrido etilendiaminotetraacido (EDTAD), teniendo como resultado que los materiales modificados presenta mayor absorción que los mercerizados yendo desde 192 a 333mg/g. Por otro lado, (Vera Luisa; et.al. 2016, pp 43-47), utilizan bagazo de caña de azúcar como bioabsorbente para eliminar Plomo y Cadmio de aguas residuales mineras, donde consideraron pH, tiempo de contacto y concentración de la especie metálica, teniendo como resultado que a los 10 minutos el absorbente era capaz de reducir un 99,76 % del metal, además identificaron que a mayor concentración del metal aumenta la capacidad de adsorción.

En el Ecuador la mayor incidencia de plomo en aguas que se ha presenciado en últimos tiempos son en las regiones donde existen industrias mineras, en provincia como Zamora Chinchipe, el Oro y Loja. Los ríos de dichas regiones han presentado altas concentraciones de plomo, debido a que estas industrias mineras colocan las colas de cianuración en las micro cuencas de dichas regiones (TULSMA, 2003). Asimismo, el plomo fue encontrado en lagos, como es el caso del lago Yahuarcocha en la ciudad de Ibarra, donde gracias a los estudios realizados se demostró existían concentraciones de plomo debido a la contaminación por combustible (Garzón A. 2006, pp 35- 39).

A nivel nacional, existen pocas investigaciones acerca del aprovechamiento de materia orgánica residual. Sin embargo, existen investigaciones realizadas en trabajos de titulación mismos que han sido de gran aporte para el presente trabajo, a la vez se hace referencia a investigaciones en artículos y revistas en español a nivel internacional como Brasil, Colombia y Perú; entre los trabajos realizados nacionalmente se puede mencionar: (Ríos, Paola, 2014, pp 11-25), utiliza cascara de banano para la absorción de arsénico, cuyo objetivo primordial fue evaluar la capacidad de remoción de arsénico con harina de banano maduro considerando parámetros como el tamaño de la partícula y la cantidad de biomasa absorbente a diferentes concentraciones de arsénico en la solución, con la medición de pH cada 8 horas teniendo como resultado máximos porcentajes de remoción de un 95,5% de arsénico. Además, dentro de los tratamientos que se pueden encontrar,

son sistemas biológicos ubicado en la ciudad de Cuenca donde se realizó una serie de actividades tendientes a la depuración de la calidad de agua de ríos, para lo cual construyo una planta de tratamientos de aguas residuales formadas por estructuras de tratamiento preliminar y dos módulos de tratamiento independiente, también se han construido tanques inhoff y bio-reactores con capacidad de pequeños volúmenes y se encuentran ubicadas en zonas puntuales siendo estos sistemas tradicionales para el tratamiento de aguas negras y grises. Es poca la experiencia de un sistema de depuración por medio de filtración con material orgánico residual, sin embargo es un proceso muy fácil de implementar debido la abundancia y fácil obtención de su material filtrante, obteniendo una elevada eficiencia en cuanto al mejoramiento de la calidad del agua por medio de la remoción del metal pesado presente en su composición.

En definitiva, gracias a la revisión de bibliografías se determina que durante la remoción de metales pesados con material residual, es necesario considerar ciertos parámetros fisicoquímicos para obtener una eficiencia elevada. Además, se puede considerar de la absorción mediante la utilización de biomasa es un proceso muy prometedor en cuanto la remoción de metales pesados.

## **1.2. El plomo**

El plomo es un metal pesado toxico que tiene la capacidad de biomagnificarse en el medio ambiente. La OMS lo han declarado como uno de los diez productos químicos causantes de graves problemas de salud pública (OMS, 2015). Además es flexible, inelástico, se funde a una temperatura de 327,10 C. es relativamente resistente al ácido sulfúrico, y al ácido clorhídrico, tiende a disolverse en ácido nítrico. Es considerado anfótero ya que forma sales de plomo de los ácidos tales como: acido plúmbico, óxidos y compuestos organometálicos (Londoño Luis; et.al.2016, pp.145-153).

En el Acuerdo Ministerial 028, Quito, viernes 13 de febrero de 2015, se realizo la actualización del Libro VI del TULSMA, en el cual la Tabla 10 del Anexo 1 donde se establece el limite de descarga de plomo a un cuerpo de agua dulce siendo de 0,2 mg/L.

### *1.2.1. Uso de Plomo*

El plomo se ha venido utilizando en diversas actividades entra las cuales tenemos: la elaboración de insecticidas, pinturas, baterías, tuberías de agua, contenedores de alimentos entre otros. (londoño- munoz,2016). La Agencia de Protección Ambiental (EPA), permite un nivel de plomo en agua potable de solo 0.015mg/L. Sin embargo, muchas de las industrias mencionadas llegan a superar los niveles de concentración del metal en sus efluentes. (EPA, 2002).



Figura 1-1. Uso de plomo  
Fuente: Química inorgánica, 2017

El uso más amplio de plomo como tal, es la fabricación de acumuladores, forro de cables, elementos de construcción y municiones. Dichos usos hace que el plomo se encuentre en gran amplitud en el ambiente, siendo los más contaminados el recurso hídrico y debido a su alta toxicidad impulsa a que su remoción sea de mucho cuidado.

### *1.2.2. Contaminación de plomo en agua*

España es uno de los países donde existen zonas con altas concentraciones de plomo en el agua de consumo, teniendo unos índices alrededor de 6.000 ppb de plomo en el agua de consumo, misma que procedían de las tuberías domésticas. Gracias a estudios publicados se resalta la importancia del agua como factor epidemiológico determinante que induce a la intoxicación crónica por plomo. (Llop Sabrina; et al, 2013, pp 2-5). De la misma manera en México se realizó un estudio del río Duero para determinar el origen del plomo, donde determinaron que los factores asociados con la presencia de este componente fueron rocas basálticas con minerales tipo clastos volcánicos (arenas silíceas) (Flores & Velásquez, 2013, pp 112-120).

### **1.3. Biofiltros**

Los biofiltros son sistemas los cuales son utilizados como depuradores de aguas, conocidos como humedades artificiales conformados con por un lecho filtrante de material poroso de pequeñas profundidades. Además, considerados una alternativa con alta eficiencia debido a su alta capacidad de remoción de contaminantes sólidos, DBO, DQO, fosforo, hierro, en los cuales se han llegado a remover porcentajes hasta del 90% siendo su implementación relativamente económica (Sanabria, 2010, pp 34- 45).

#### *1.3.1. Filtración por gravedad (filtración lenta).*

La filtración lenta es uno de los tratamientos más antiguos, utilizada para la purificación del agua de consumo de muchos pueblos y ciudades como Paris en 1898 y Londres en 1830, el método consiste en hacer pasar agua a través de un lecho filtrante. Este tipo de filtro presenta ciertas ventajas, siendo muy rentable, no requiere de reactivos químicos y además se puede utilizar para otros tratamientos como la remoción de bacterias, efluentes secundarios y como en nuestro caso la remoción de metales. La filtro puede ser de diferentes materiales como: arena, carbón activado, grafeno, entre otros. La tecnología para el tratamiento de agua contaminada con plomo se basa en la aplicación de un filtro con bagazo de caña de azúcar, pero este proceso se lo realizo después de realizar una modificación química de material absorbente (Karnitz Osvaldo; et al, 2009, pp. 184-191).

### **1.4. Caña de azúcar (*Sacharum officinarum*)**

La caña de azúcar es un cultivo agroindustrial de mucha relevancia en el Ecuador debido a la capacidad de generación de empleo directo. El 20% es utilizado para la elaboración de panela y el 80% para la producción de azúcar. Además, a partir del jugo de caña se consigue el alcohol etílico y la melaza (CINCAE, 2015). Proviene de la familia de las gramíneas, con tallo leñoso y hojas largas, se cultivan en todas la regiones tropicales y subtropicales. Aunque su cosecha se logra cada año su rápida capacidad rebrote permite varias cosechas a partir de su siembra inicial.

La caña de azúcar está formada principalmente por agua y carbohidratos, tanto solubles como insolubles, además contienen cenizas, lípidos y proteínas pero en cantidades despreciables, siendo su constitución aproximadamente un 50 % de sacarosa (Aguilar Noé; et al, 2010, pp. 144-154).

- **Hectáreas sembradas en el Ecuador**

110.000 has a nivel de país. 741000 Has están destinadas a la producción de Azúcar y el resto para la producción de panela.

Tabla 1.1. Área total de caña cultivada en Ecuador y su producción.

INGENIO	TOTAL DE HECTARIAS			PRODUCCIÓN	
	Sembradas	Cosechas	TCH	Total caña	Sacos 50 KG
VALDEZ	20.100	19.312	75,00	1'368.608	3'159.765
SAN CARLOS	22.500	21.344	79,00	1'666.856	3'197.650
ECUDOS	24.800	22.200	78,00	1'541.246	3'276.049
MONTERREY	2.200	2.200	85,00	187.000	330.900
IANCEM	3.300	2.924	82,00	240.940	426.464
ISABEL MARIA	1.200	2.924	75,00	82.320	139.944
<b>TOTAL</b>	<b>74100</b>	<b>1176</b>		<b>5'086.970</b>	<b>10'530.868</b>

Fuente: CINCAE, 2015

Realizado por: Amangandi, Angel, 2017.

#### 1.4.1. Bagazo

El bagazo es el residual obtenido después de realizar la extracción de jugo de caña por medio del cualquier proceso sea esta molino o presa. Consiste en un residuo fibroso resultado del prensado y extracción de sus jugos, su composición tiende a variar según el tipo de caña, madurez, modo de cosecha.

Tabla 2.1. Propiedades físicas-químicas del bagazo de caña.

Composición	Rango (Porcentaje)
Humedad (%)	4
Tamaño de partícula (mm)	0,5-1,0
Cenizas (%)	1,26
C (%)	48,58
H (%)	5,97
O (%)	38,94
N (%)	0,20

Fuente: (Enma M, Manals-Cutiño, MSc. 2015)

Realizado por: Amangandi, Angel, 2017.

El bagazo de caña de azúcar es uno de los desechos agrícolas más versátiles y de muy buena utilidad en muchas aplicaciones gracias al avance de la tecnología y la necesidad de satisfacer muchas necesidades entre los más destacados tenemos: Papel, tabla de fibras prensadas, Tableros

aglomerados, Alfa-Celulosa, Camas para ganado, Plásticos, Bagazo hidrolizado. El bagazo representa el 30% de los tallos molidos quedando como residuo fibroso de proceso de extracción.

#### *1.4.2. Uso de bagazo de caña*

Existen varios estudios para el aprovechamiento del bagazo de caña entre los cuales se puede citar:

(Carrier Marion; et al, 2012, pp. 24-32), afirma que es utilizado como energía a través de la combustión, aplicaciones en pulpa, producción de etanol celulósico y la producción de energía a través de la pirolisis y gasificación. Así también, (Mandal Arup & Chakrabarty, 2011, pp. 1291-1299) mencionan que en los últimos años en bagazo de caña se ha utilizado como fuente de obtención nanocelulosas, por medio de la purificación de la celulosa del bagazo de caña de azúcar.



***Figura 2-1. Bagazo de caña de azúcar***

**Fuente:** Amangandi, Ángel, 2017.

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Metodología de la investigación

La presente investigación es de tipo aplicada a la Biotecnología Ambiental y se complementó con el explicativo. Para ello se aplicó un diseño experimental debido a que se manipulo el factor Biofiltro con bagazo de caña de azúcar (factor) y mediante análisis estadístico se obtuvo el índice de remoción de la concentración de plomo (Variable respuesta). Como tamaño muestral durante la investigación se tomaron nueve unidades experimentales, siendo su diseño completamente aleatorio (DCA) logrando un nivel de investigación correlacional ya que se puede evidenciar la variación de la concentración de plomo (Pb) por acción del biofiltro con bagazo de caña de azúcar. A la vez se realizó un enfoque mixto debido a que se integraron los enfoques cualitativos como cuantitativos de la variable manipulada y de los datos obtenidos a través del diseño experimental.

#### 2.2. Lógica de la investigación

Se detallan los procedimientos, materiales, equipos y reactivos utilizados en cada etapa de la investigación.

Tabla 1.2. Materiales, equipos y reactivos de la investigación.

<b>MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS</b>	
<b>Preparación del absorbente</b>	
Bagazo de caña de azúcar	Agua destilada
Tamiz	Ácido sulfúrico 0.5%
Estufa	Peachimetro
Papel aluminio	Recipiente de vidrio
Desecador	Recipiente de plástico
<b>Armado de biofiltro</b>	
Soporte metálico	Recipiente de plástico transparente 6L
Tubería PVC ½	Teflón
Codos PVC ½	Recipiente de vidrio

Proceso de tratamiento	
Filtro	Grava
Lecho filtrante	Vaso de precipitación 100 mL
Cronometro	Balanza

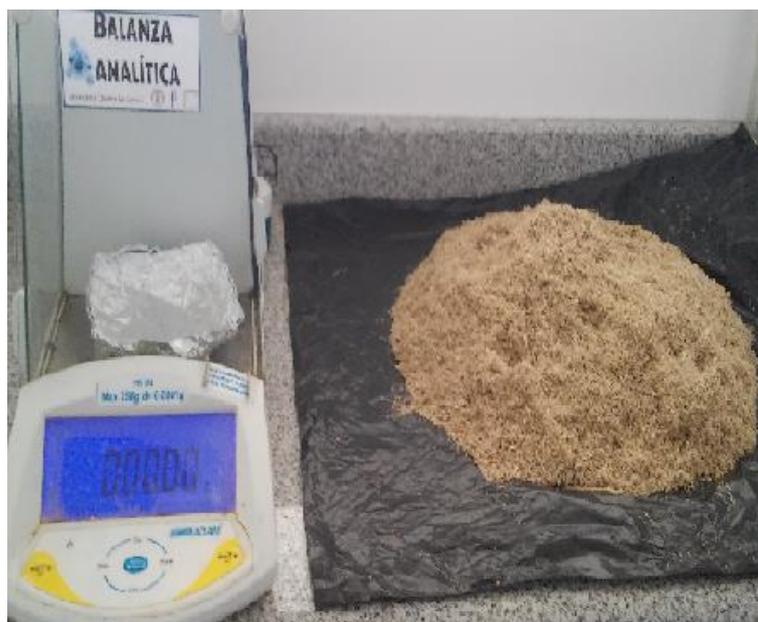
**Fuente:** (Higuera, Arroyave, florez, 2008)

**Realizado por:** Amangandi, Angel

### 2.2.1. Preparación del bioabsorbente.

La materia prima para la elaboración del material absorbente se obtuvo a partir del bagazo de caña de azúcar misma se adquirió de la venta informal de jugo de caña, la caña es procedente del canto Caluma de la provincia Bolívar. Al bagazo de caña se le procedió a moler utilizando una máquina trituradora agrícola, previo a su molienda se seleccionó el bagazo de caña de azúcar que no presente ningún tipo de descomposición lo cual podría alterar en el proceso de remoción. Posteriormente, el bagazo molido se trasladó al laboratorio de análisis instrumental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde se realizó su preparación la cual se basó en el tamizado con una tamiz # 0,75mm para de esta forma obtener un tamaño homogéneo y su lavado con agua destilada para la eliminación de impurezas (Ore Jiménez; et al, 2015, pp. 123-135).

Una vez realizada la preparación del bagazo de caña de azúcar esta fue secada durante 6 horas en una estufa a una temperatura de 70<sup>0</sup>C, con el propósito de eliminar la humedad, finalizado su secado se realizó una modificación química utilizando ácido sulfúrico (Contreras, Raúl; et.al. 2013, pp 29-37). Para la modificación química de tomo 600 mg de bagazo de caña de azúcar y se puso en contacto con 1000 mL de ácido sulfúrico durante 1hora, transcurrida la hora de contacto se procedió a lavar el bagazo de caña con agua destilada para de esta forma eliminar el exceso de ácido los cuales pueden llegar a quemar el material filtrante. Por último, se secó el bagazo de caña en la estufa a una temperatura de 70<sup>0</sup>C durante 6 hora y finalmente ya secó el bagazo de caña fue guardado en un recipiente de plástico para su posterior implementación en el filtro (Vera Luisa; et al, 2016, pp. 43-47).



**Figura 1-2.** Material absorbente  
Realizado por: Amangandi, Angel, 2017.

### 2.2.2. *Diseño y construcción de biofiltro*

Se construyó un soporte de varilla con las siguientes dimensiones: largo 30 cm\* ancho 30 cm\* alto 1,30 cm. En la parte superior se colocó un recipiente de plástico con capacidad de 6 litros, mismo que se encuentra conectado mediante tuberías y codos PVC de ½ hacia el próximo recipiente que contiene el material filtrante en la base de este biofiltro se colocó un recipiente para la recolección del agua filtrada. El diseño y la construcción del biofiltro por gravedad se desarrollaron mediante la recopilación de datos bibliográficos y experimentos realizados. Se utilizaron dimensiones que tengan condiciones similares a la investigación a desarrollar con valores altos de eficiencia (Higuera Oscar; et al, 2009, pp. 107-119). Además, las principales variables que se tomaron en cuenta fueron las características del medio filtrante, la cantidad a utilizar del adsorbente. Durante la filtración dependerá de la combinación de mecanismos físicos y químicos como la adsorción química y la gravedad (Igwe, J; & Abia A., 2006, pp. 1167-1179).

### **Materiales**

Para la construcción se emplearon los siguientes materiales y equipos

- **Estructura de porte**
  - Soporte de varillas: largo 30 cm\* ancho 30 cm\* alto 1,30 cm
- **Sistema de filtración**
  - Biofiltro tipo columna

- Recipiente de plástico 6 L
- Unión de tuberías y codos PVC ½
- Filtro: largo 15 cm\* ancho 15 cm \* alto 25 cm



**Figura 2-2.** Diseño de biofiltro por gravedad  
Fuente: Amangandi, Angel, 2017.

El biofiltro fue construido de manera que la filtración se realice por gravedad sin ninguna acción mecánica. Se realizaron pruebas de funcionamiento con el fin de garantizar su operación, para luego realizar las pruebas experimentales.

### 2.2.3. Preparación de la solución de plomo (Pb).

La solución de plomo (Pb) fue preparada mediante la disolución de 0,859g de Nitrato de plomo  $Pb(NO_3)_2$ , en 6 litros de agua desionizada con el fin obtener una concentración de plomo necesaria para la remoción del mismo con materia residual orgánica. (Scharlau, Lead (II) grade ACS).



**Figura 3-2.** Solución de plomo  
Fuente: Amangandi, Angel, 2017.

### Materiales

- Botellón de agua de 6 L
- Balón de aforo de 100mL
- Vaso de precipitación de 100 mL
- Piceta
- $Pb(NO_3)_2$

### 2.2.4. Experimentos de absorción

La absorción del ion de plomo (Pb) de la solución acuosa previamente preparada se llevó a cabo mediante el sistema de filtración por gravedad utilizando 6L de la muestra solución de plomo; los parámetros tiempo de contacto 60 minutos, temperatura y gravedad ambiente. Se estructuró el medio filtrante utilizando tres capas de bagazo de caña de azúcar de 200g cada una. Para

determinar el grado de remoción de plomo se trabajó de 10 a 60 minutos en intervalos de 20 minutos el equilibrio de absorción se a partir de una concentración inicial de 0,96 mg/L de plomo. Las concentraciones finales se determinó por absorción atómica STANDARD METHODS 3500 Pb3111B.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recolección de datos de lo realizo mediante observación y la toma de apuntes en Excel. Para La interpretación de datos se realizó por medio del uso del software SPSS mediante el análisis factorial, Anova de un solo factor.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Concentraciones de plomo.

##### 3.1.1. Concentraciones iniciales

Tabla 1.3. Concentración inicial de plomo.

Resultado Inicial del Agua Residual (sintética)				Límite Máximo (Agua dulce)	Observación
Análisis Solicitado	Valor	Unidad	Método/procedimiento		
Plomo	0,96	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,2	Fuera de Norma

Realizado por: Amangandi, Ángel, 2017.

Fuente: Informes de laboratorio.

La Tabla 1.3 se observa la concentración inicial de plomo, la cual se obtuvo a partir de análisis de laboratorio por STANDARD METHODS del agua contaminada artificialmente con nitrato de plomo. Se utilizó una concentración de 0,96 mg/L de Plomo, superior a la permitida para agua sanitaria, la concentración utilizada es similar a lo realizado por Oré et al. 2015 quienes realizaron experimentos para evaluar la **absorción** a diferentes concentraciones del adsorbato en un rango de 2 – 50mg/L de Pb(II). Asimismo, autores como Ugaña et al. 2015 trabajaron con concentraciones de 10-40 mg/L. Por otro lado, Tejada et al. 2015 trabajaron con una concentración de Pb altas que llegaron hasta los 100 mg/L. estos autores determinar mediante sus experimento que al aumento de la concentración de la especie metálica existe un aumento en la capacidad de remoción.

##### 3.1.2. Concentraciones finales de plomo.

Tabla 2.3. Resultados Finales.

Parámetro	Unidades	Método	Resultados				Media	Error
Pb	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	T1	0,223	0,306	0,159	0.23	0,09
Pb	mg/L	STANDARD METHODS	T2	0,371	0,364	0,172	0.30	0,16

		3500 Pb 3111B						
Pb	mg/L	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	T3	0,350	0,234	0,301	0.30	0,08

**Realizado por:** AMANGANDI, Ángel, 2017.

**Fuente:** Informes de laboratorio.

La Tabla 2.3 se observan las concentraciones finales de plomo una vez realizado el tratamiento de remoción. En la primera fila se señala los valores de remoción durante los 20 minutos con sus repeticiones, así mismo en la segunda y tercera fila se evidencia los valores de remoción la cual se lo realizó a 40 y 60 minutos. De esta manera se presencié que el máximo porcentaje de absorción alcanzado en el estudio fue 76,14% a los 20 min en comparación de otros autores existe una diferencia en cuanto al porcentaje de remoción alcanzado. La diferencia existente se puede determinar a que en los trabajos realizados consideran varios factores como el tipo absorbente y tamaño de la partícula, pH, y la modificación del absorbente, como es el caso Oré et al. 2015, que alcanza un 97%, su experimento de absorción lo realizaron en un sistema batch y su material absorbente es diferente (marlo de maíz) y el tiempo de tratamiento fue en un rango de 1-180 min, donde observaron una remoción rápida durante los primeros 10 min alcanzando el equilibrio aproximadamente a los 90 min demostrando que una vez alcanzando el equilibrio se hacen constantes, lo cual explica que existe una saturación de los centros activos de absorción. Asimismo Tejada et al. 2015 logran remover un 90% en los primeros 10 min con la utilización de bagazo de palma africana modificada químicamente con ácido cítrico con tamaño de partícula de 0,355mm el experimento fue llevado a cabo en sistema batch, con el ajuste del pH de la solución usando HCL y NaOH 1M, la cinética de absorción se llevó a cabo 270min con rango de concentraciones de 25 a 100mg/L y Uguña et al 2015 un 99,76% logrado a los 10 min de contacto con material absorbente con tamaño de 0,59 mm.

### 3.2. Estudios estadísticos

- **PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

Ho: No existe diferencia en la concentración del Pb por efecto de la aplicación del biofiltro con bagazo de caña de azúcar.  $p \geq 0,05$ .

Hi: Existe diferencia en la concentración por efecto de la aplicación de biofiltro con bagazo de caña de azúcar.  $p < 0,05$ .

Tabla 3.3. Prueba de Kolmogorov- Smirnov para una muestra.

		Concentración	Conc1	Conc2	Conc3
N		12	3	3	3
	Media	0,4633	0,2293	0,3690	0,2950
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Desviación típica	0,31773	0,07370	0,19601	0,05823
	Absoluta	0,281	0,201	0,176	0,208
Diferencias más externas	Positiva	0,281	0,201	0,176	0,186
	Negativa	-0,191	-0,184	-0,173	-0,208
		0,300	0,348	0,305	0,360
Sig. Asintót (bilateral)			1,000	1000	0,999

Realizado por: Amangandi, Ángel, 2017

La Tabla 3.3 se observa la prueba de normalidad Kolmogorov que nos dice, como  $p > 0,05$  las distribuciones son normales, que nos señala que es posible la aplicación de pruebas paramétricas.

Tabla 4.3. Resultado de ANOVA cantidad de remoción de plomo.

	ANOVA: REMOCION DE PLOMO				
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrada	F	Sig. (p)
Inter-grupos	1,016	3	0,339	28,675	0,000
Intra-grupo	0,094	8	0,012		
Total	1,110	11	-		

Realizado por: Amangandi, Ángel, 2017

- **Decisión**

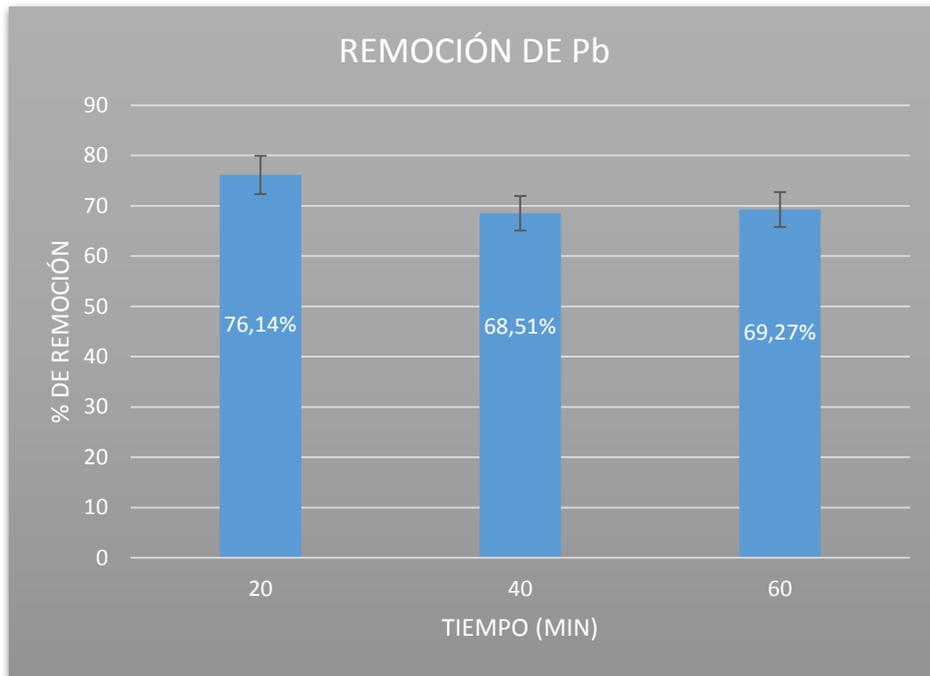
Se realizó un análisis Anova en el cual se obtuvo un valor de  $P=0,000$  (Tabla 4.3), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que estableció la existencia de una diferencia significativa, es decir, que el potencial de remoción dependió del absorbente al cual fue expuesto. Posteriormente se realizó un análisis de comparación utilizando el estadístico HDS Tukey como presentamos en la Tabla 5-3 para determinar en qué concentraciones no existió esta diferencia significativa.

Tabla 5.3. Análisis de Tukey porcentaje de remoción.

(I) Concentraciones del experimento	(J) Concentraciones del experimento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.(p)	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	0,73067	,08873	,000	,4465	1,0148
	3	0,59100	,08873	,001	,3068	,8752
	4	0,66500	,08873	,000	,3808	,9492
2	1	-,73067	,08873	,000	-1,0148	-,4465
	3	-,13967	,08873	,443	-,4238	,1445
	4	-,06567	,08873	,878	-,3498	,2185
3	1	-,59100	,08873	,001	-,8752	-,3068
	2	,13967	,08873	,443	-,1445	,4238
	4	,07400	,08873	,837	-,2102	,3582
4	1	-,66500	,08873	,000	-,9492	-,3808
	2	,06567	,08873	,878	-,2185	,3498
	3	-,07400	,08873	,837	-,3582	,2102

Realizado por: Amangandi, Angel, 2017.

Se observó en la primera columna de la tabla 5.3 las concentraciones de Plomo comparadas con concentraciones de la segunda columna. Se ha obtenido un valor de p para cada una de estas en la columna 5; se obtuvo como resultado que las comparaciones Conc2-Conc3, Conc2-Conc4, Conc3-Conc2, Con3-Conc4, Con4-Conc2, Conc4-Conc3 el p valor fue de 0,443; 0,878; 0,443; 0,837; 0,878; 0,837 respectivamente que fueron mayores a 0,05 por lo tanto no existe deferencia significativa, así se dedujo que el potencial de remoción en estas comparaciones no está determinado por la presencia del absorbente a la que está expuesta.



**Figura 1-3** Porcentaje de remocion de plomo  
**Realizado por:** Amangandi, Angel, 2017

En el figura 1-3 se presentó la variación porcentual de la remoción de plomo con bagazo de caña de azúcar a diferentes tiempos del tratamiento, se pudo observar que a los primeros 20 minutos del tratamiento existió una disminución drástica de la concentración de plomo y al minuto 40 y 60 el potencial absorción disminuye a la vez manteniendo se constante, similar al estudio realizado por Oré et al 2015, donde alcanza el equilibrio de absorción a los 90 minutos haciéndose constante, explicando que existe una saturación del absorbente.

### Discusión

La remoción de plomo con bagazo de caña de azúcar modificada utilizada a manera de filtro con un tamaño de partícula de 0,75mm y con una duración de tratamiento de una hora presento un porcentaje máximo de 76,14%; al comparar con los resultados de otros autores en cuyos trabajos han alcanzado valores hasta de un 99%. Se puede determinar que el tamaño de material absorbente es de gran influencia en el proceso remoción, ya que para estos estudios se utilizaron partículas de absorbente con tamaños de 0,59 mm (Uguña et al 2015); 0,355mm (Tejada et al. 2015); 0,212 mm (Higuerra et al. 2008), entre otros. Además de este factor, es de gran importancia el sistema por el cual se realiza la absorción como en estos casos que fueron llevados en sistema batch con un movimiento continuo, lo contrario a la investigación realizada que se lo realizo por filtración lenta.

## CONCLUSIONES

- Se verificó la existencia de una variación en la concentración del plomo con la aplicación del bagazo de caña azúcar, mediante la utilización de la prueba Anova que estableció la existencia de una diferencia significativa, observándose, que la remoción se debió al material absorbente.
- Se construyó un biofiltro con bagazo de caña de azúcar a escala laboratorio, considerando una geometría que facilite la adaptación del sistema de filtrante y su lavado. Además, considerando la altura del mismo y volumen de fluido.
- Se determinó que existe un porcentaje significativo de remoción de plomo mediante el tiempo de contacto biomasa- solución. A la vez evidenciando que existe una variación porcentual de 76,14%; 68,51%, y 69,27%, estadísticamente no son diferentes ya que en cada uno de los tratamientos existe una disminución de la concentración de plomo siendo aplicable cualquiera de los tres tiempo del tratamiento.
- Se identificó que el mayor porcentaje de remoción de plomo con bagazo de caña de azúcar se alcanzó a los primeros 20 minutos durante una hora de tratamiento obtenido un valor de 0,229mg/L equivalente al 76,14%.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios para el empleo o degradación del bagazo de caña de azúcar, que contiene plomo como resultado de la filtración.
- Investigar con residuos de otras especies vegetales para determinar su eficiencia y compararlos con los resultados obtenidos en la presente investigación.
- Evaluar la capacidad de absorción del bagazo de caña sin su modificación química.
- Utilizar un aspersor para que la distribución del agua contaminada sea homogénea y evite la saturación de adsorbente en un solo sector.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACOSTA Ismael; et.al.** “Bioadsorción de cadmio (ii) en solución acuosa por biomásas fúngicas”. *SciELO* [en línea], 2007, (México) vol. 18 (núm. 1), pp.9-12. [Consulta: 25 febrero 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n1/art03.pdf>

**ACUERDO MINISTERIAL 028.** *Ministerio del Ambiente del Ecuador.*

**AGULAR, Noé; et al.** “Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México)”. *Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agorpecuaria* [en línea], 2010, (México) vol.11 (núm.2), pp. 144-154. [Consulta: 26 febrero 2017]. ISSN 0122-8706. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029006.pdf>

**CARRIER Marion; et.al.** “Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], 2012, (Africa), pp. 24-32. [Consulta: 25 febrero 2017]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/230667550\\_Production\\_of\\_char\\_from\\_vacuum\\_pyrolysis\\_of\\_South-African\\_sugar\\_cane\\_bagasse\\_and\\_its\\_characterization\\_as\\_activated\\_carbon\\_and\\_biochar](https://www.researchgate.net/publication/230667550_Production_of_char_from_vacuum_pyrolysis_of_South-African_sugar_cane_bagasse_and_its_characterization_as_activated_carbon_and_biochar)

**CHAKRAVARTY, S.; et.al.** “Removal of Pb(II) ions from aqueous solution by adsorption using bael leaves (Aegle marmelos)”. *Journal of Hazardous Materials.* [en línea], 2010, (India), vol, 173 (num, 1-3)pp. 502-509. [Consulta: 25 febrero 2017].Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409014113>

**CINCAE,** *Caña de azúcar: Cultivo para la sostenibilidad.*

**CONTRERAS, Raúl E.; et.al.** “Remoción de azul de metileno en medio acuoso mediante el uso de bagazo de caña de azúcar y rastrojo de maíz modificados con iones  $SO_4^{-2}$  y  $PO_4^{-3}$ ”. *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea],2013, (Mexico), pp. 29-37. [Consulta: 25 Febrero 2017]. ISSN 0718 8706. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323627689003.pdf>

**EMSLEY, John.** *Nature's building blocks.* Oxford University Press, New York – Estados Unidos: Printed in Great Britain by clays Ltd, St Ives plc., 2003, pp. 227-231.

**FLORES, Daniela I.; VAZQUEZ MACHUCA, Martha A.** “Hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del río Duero y normatividad para uso doméstico”. *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], 2013, (México) vol. 4 (núm. 5), pp. 112-120. [Consulta: 25 febrero 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n5/v4n5a8.pdf>

**GARCIA ROSALES, G. & COLIN CRUZ, A.** “Biosorption of lead by maize (*Zea mays*) stalk sponge. ” *Journal of Environmental Management*. [En línea], 2010, (Mexico) vol. 91 (núm. 11), pp. 2081-2086. [Consulta: 4 marzo]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710001623>

**HIGUERA, Oscar F; et al.** “Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros”. *SciELO* [en línea], 2009, (Colombia), pp. 107-119. [Consulta: 20 enero 2017]. ISSN 0012 - 7353. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a10v76n160.pdf>

**IGWE, J; & ABIA A.** “A bioseparation process for removing heavy metals from waste water using biosorbents”. *African Journal of Biotechnology* [en línea], 2006, (Nigeria) vol. 5 (núm. 12), pp. 1167-1179. [Consulta: 7 marzo 2017]. ISSN 1684-5315. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/257514768\\_Adsorptiondesorption\\_of\\_CdII\\_CuII\\_and\\_PbII\\_using\\_chemically\\_modified\\_orange\\_peel\\_Equilibrium\\_and\\_kinetic\\_studies](https://www.researchgate.net/publication/257514768_Adsorptiondesorption_of_CdII_CuII_and_PbII_using_chemically_modified_orange_peel_Equilibrium_and_kinetic_studies)

**KARNITZ JUNIOR, et.al.** “Removal of Ca(II) and Mg(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse grafted with EDTA dianhydride (EDTAD)”. *ScienceDirect* [en línea], 2010, (Brazil), pp. 184-191. [Consulta: 20 enero 2017]. Disponible en: [http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5029/1/ARTIGO\\_RemovalCaMg.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5029/1/ARTIGO_RemovalCaMg.pdf)

**LLOP, Sabrina; et al.** “Estudio de la evolución de la exposición a plomo en la población infantil española en los últimos 20 años. ¿Un ejemplo no reconocido de «salud en todas las políticas?»”. *SciELO* [en línea], 2013, (España) vol. 27 (núm. 2), pp. 2-5. [Consulta: 5 marzo 2017]. ISSN 0213-9111. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0213-91112013000200009](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112013000200009)

**LONDOÑO FRANCO, Luis F.; LONDOÑO MUNOZ, Paula T.; MUÑOZ GARCIA, Fabian G.** “Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2016, (Colombia) vol. 14 (núm.2), pp. 145-153. [Consulta: 20 febrero 2017 ]. Disponible en: <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/1707/388>

**MANDAL, Arup & CHAKRABARTY, Debabrata.** “Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization”. *ScienceDirect* [en línea], 2011, (Colombia) vol.86 (núm.3), pp. 1291-1299. [Consulta: 25 febrero 2017]. Número ISSN. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171100498X>

**MANALS, Enma; et al.** “Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal”. *SciELO* [en línea], 2015, (Cuba) vol. 35 (núm. 2), pp. 2-5. [Consulta: 20 febrero 2017]. ISSN 2224-6185. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000200010)

**MAE, Información de Plomo y Cadmio en el Ecuador.**

**ORÉ JIMENEZ, Franklin; LAVADO MEZA, Carmencita; BENDEZÚ MONTES, Salvador.** “Biosorción de pb (ii) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*)”. *Rev. Soc. Quim.* [en línea], 2015, (Peru), pp. 123-135. [Consulta: 29 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n2/a05v81n2.pdf>

**QUIÑONES, Edgar; et.al.** “Emoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasa lignocelulósicas: una revisión”. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* [en línea], 2013, (Colombia) , pp. 479-486. [Consulta: 25 febrero2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a23.pdf>

*Química inorgánica* [en línea]. , Metalúrgica de plomo. [Consulta: 25 febrero 2017]. Disponible en: <http://www.fullquimica.com/2013/12/metalurgia-del-plomo.html>

**RIOS ELIZALBE, Paola E.** Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo. (Tesis) ( Ingeniería). [En línea]Universidad Tecnica de Machala, Unidad Academica Ciencias Químicas y de la Salud, Escuela de Alimentos. (Machala – El Oro). 2014.

11-25. [Consulta: 25 marzo 2017]. Disponible en:  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1579/7/CD00006-TESIS.pdf>

**DIAZ ACERO, Carlos Ariel.** “Tratamiento de agua residual a travez de humedalesK”. *V Congreso Internacional de igenieria civil* [en línea], 2014, (Colombia), pp. 1-6. [Consulta:7 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf>

**SHIH WEI, Liao.; CHUN, Lin; LI HWA Wang.** “Kinetic study on lead (II) ion removal by adsorption onto peanut hull ash”. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea], 2011, (Taiwan) vol. 42 (núm. 1), pp. 166-172. [Consulta:4 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107010000854>

**TEJADA TOVAR, Candelaria; HERRERA, Adriana; NUÑEZ ZARUR, Juan.** "Remoción de Plomo por biomasas residuales de cascara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*)". *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(1)* [en línea], 2016, (Colombia) pp.169-178. [Consulta: 20 enero 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a20.pdf>

**TEJADA TOVAR, Candelaria; et.al.**“Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución". *Revista Prospect.* [en línea], 2015, (Colombia), vol. 13, num. 1, pp.59-67. [Consulta: 20 enero 2017].Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-82612015000100007&lng=es&nrm=is](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-82612015000100007&lng=es&nrm=is)

**Anexo1 del libro VI TULSMA, Norma de calidad ambietal y de descarga de efluentes: recurso agua .**

**VERA Luisa; et al.** “Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente”. *Afinidad LXXIII* [en línea], 2016, (Ecuador), pp. 43-47. [Consulta: 20 enero 2017]. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/308436/398451>

**WANG Guiyin; et al.** “Removal of Pb(II) from aqueous solutions by *Phytolacca americana* L. Biomass a low cost biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*. [En línea], 2015, (China), pp. 2-10. [Consulta: 7 marzo]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535215001823>

**ZHENG, Liuchun & MENG Peipei.** “Preparation, characterization of corn stalk xanthates and its feasibility for Cd (II) removal from aqueous solution”. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* [en línea], 2016, (China) vol. 58, pp. 391-400. [Consulta: 7 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107015002874>

**ANEXOS**

**ANEXO A: OBTECIÓN Y PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA**



**Fotografía 1A: Molienda del bagazo**



**Fotografía 2A: Tamizado del bagazo**



**Fotografía 3A : Secado de material residual**



**Fotografía 4A : Modificación Química**



**Fotografía 5A:** Lavado del bagazo modificado con agua destilada



**Fotografía 6A:** Secado para su implementación en el filtro

**ANEXO B: CONSTRUCCIÓN DEL BIOFILTRO**



**Fotografía 1B:** Construcción del sistema de filtración



**Fotografía 2B :** Implementación del lecho filtrante

**ANEXO C: PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA**



**Fotografía 1C:** Aforo de nitrato de Plomo para la obtención de una concentración de Plomo



**Fotografía 2C:** Adición de nitrato de Plomo en 6 L de agua



**Fotografía 3C:** Medición de pH del agua sintética

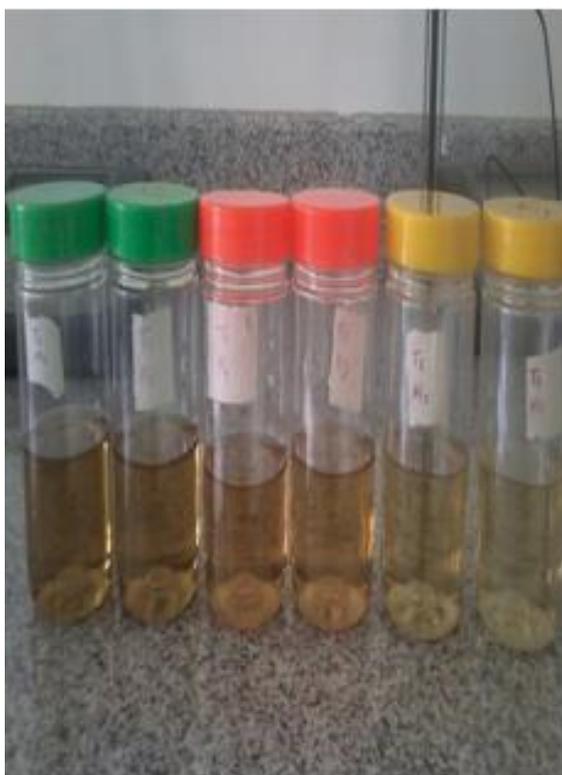


**Fotografía 4C:** Medición de conductividad

**ANEXO D: TOMA DE MUESTRA FILTRADA**



**Fotografía 1D:** Muestras filtradas



**Fotografía 2D:** Muestras a analizar

## ANEXO E: RESULTADOS DE ANÁLISIS INICIAL



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



N° SE: 050-17

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Ángel Amangandi **INFORME N°** 050-17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 050-17  
**DIRECCIÓN:** Huachi Chico  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 29 - 03-17  
**TELÉFONO:** 0988094120 **FECHA DE INFORME:** 31 - 03-17  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 121-17 Agua Sintética Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-121-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,96	N/A	29 - 03 -17

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TÉCNICO L.S.A.

**Gráfico 1E:** Resultados de análisis iniciales de plomo

## ANEXO F: RESULTADOS DE ANÁLISIS FINAL



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 062-17

#### INFORME DE ANÁLISIS

**NOMBRE:** Sr. Ángel Amangandí **INFORME Nº** 062- 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tests ESPOCH **Nº SE:** 062-17  
**DIRECCIÓN:** Huachi Chico **FECHA DE RECEPCIÓN:** 03 - 05-17  
**TELÉFONO:** 0988094130 **FECHA DE INFORME:** 08 - 05-17  
**NÚMERO DE MUESTRA:** 9, Agua Sintética **TIPO DE MUESTRA:**

IDENTIFICACIÓN:	MUESTRA	MUESTRO	MUESTRO
MA - 147-17	T1M1	Agua	
MA - 148-17	T1 M1	Agua	
MA - 149-17	T1 M1	Agua	
MA - 150-17	T2 M2	Agua	
MA - 151-17	T2 M2	Agua	
MA - 152-17	T2 M2	Agua	
MA - 153-17	T3 M3	Agua	
MA - 154-17	T3 M3	Agua	
MA - 155-17	T3 M3	Agua	

**El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.**

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-147-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,223	N/A	03 - 05 -17

MA-148-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,308	N/A	03 - 05 -17

MA-149-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,159	N/A	03 - 05 -17

MA-150-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,371	N/A	03 - 05 -17

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 2

FMC210

L.S.A. Campus Miraflores, Bases Km 1 1/2 vía a Casapueblo, Administrativo.

### Gráfico 1F: Resultados de análisis finales

## ANEXO G: RESULTADOS DE ANÁLISIS FINAL



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 062-17

MA -151-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,364	N/A	03 - 05 -17

MA -152-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,172	N/A	03 - 05 -17

MA -153-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,350	N/A	03 - 05 -17

MA -154-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,234	N/A	03 - 05 -17

MA -155-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Plomo	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Pb 3111B	0,301	N/A	03 - 05 -17

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
 \_\_\_\_\_  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TÉCNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 2

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edson Rivera Km 1 1/4 vía a Guano Bloque Administrativo.

**Gráfica 1G:** Resultados de análisis final