

*“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”*



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Tesis previa a la obtención del título de: *INGENIEROS AMBIENTALES***

***“ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE  
CULTIVOS DE FLORES (TALLOS DE ROSA) COMO BIOSORBENTE DE  
CADMIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”***

**AUTORES:**

***JORGE LUIS ORDÓÑEZ VINUEZA***

***RAÚL ANDRÉS MORENO FARFÁN***

**DIRECTOR:**

***ING. PABLO ARÉVALO MOSCOSO***

**Cuenca, 2013**

## **RESUMEN**

El aprovechamiento de los residuos provenientes de la industria agrícola es una de las soluciones para la eliminación de los contaminantes en el medio ambiente. El tallo de rosa es uno de los residuos que se puede utilizar como biosorbente de iones metálicos. En esta tesis se describe el aprovechamiento de dicho residuo como biosorbente de cadmio encontrado en aguas contaminadas.

Estudios recientes han establecido que los biosorbentes obtenidos como residuos han llegado a poseer una gran viabilidad como tratamiento de aguas residuales, gracias a su bajo costo y efectividad, entre ellos están la cáscara de frutas cítricas (naranja, limón), cáscara de camarón, lechugín, raspo de uva, cortezas, etc.

El objetivo principal de esta tesis es determinar la capacidad de adsorción de cadmio en los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosa), como biosorbente para el tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, después de realizar una revisión bibliográfica del tema se aplicaron dos metodologías: la primera fue para determinar si el biosorbente era capaz de retener iones metálicos de cadmio y la segunda para establecer la máxima capacidad de retención del metal o contaminante. La primera utilizó un experimento que consistía en el llenado de varias cantidades de tallos de rosa previamente secados, molidos y tamizados en cinco vasos de precipitación, con una cantidad específica de contaminante. Para la segunda metodología, se utilizó un sistema de filtros de columna, donde se recirculaba el agua residual por la biomasa utilizada, en este caso, tallos de rosa.

En el experimento la masa óptima para la biosorción del cadmio es igual a los 25 g de biosorbente con un 63% de retención del metal y seguido de las demás masas en orden descendente, siendo la última de 10 g con un 36,48%.

En cambio de acuerdo al modelo de Langmuir obtenemos un  $q_{\max}$  igual a 55,5 mg de Cd/g biosorbente. Entonces el análisis revela un comportamiento isotérmico favorable, obteniendo un valor  $R_L$  de 0,58. En la isoterma de Freundlich se obtuvo un valor de  $K = 0,19$  y  $n = 1,4$ .

La práctica en el sistema de columnas, los tallos de rosas poseen una capacidad de remoción máxima del 41% para cadmio con un pH neutro de 7,1; esta capacidad es obtenida a los 20 minutos de retención, con una granulometría de 0,5 mm a 1mm.

Por lo tanto el uso de los tallos de rosas como biosorbentes de metales pesados, nos brinda una opción práctica y efectiva para el tratamiento de metales pesados caracterizados por su alta toxicidad para el hombre y el medio ambiente, esto debido a que son de fácil implementación, ya que los residuos de cultivos de flores se los destina al rechazo o a la fabricación de compost, además son abundantes en la serranía ecuatoriana, de fácil preservación, transporte y utilización.

## **DEDICATORIAS**

### ***Jorge Luis Ordóñez Vinueza***

- *Esta tesis se la dedico enteramente a Dios y a mis padres, por ser fuente de inspiración y apoyo.*
- *A mis panas de la U, y gracias a la vida.*
- *A Marco Orlando, Pablito Moscoso, Felipe Medina, Raulito Moreno, gracias amigos por todas las tinteadas porque si no fuera por ustedes esta tesis se hubiera acabado en 2 meses.*

### ***Raúl Andrés Moreno Farfán***

- *Dedicatoria especial para mi viejita, por todo su cariño y dedicación.*
- *A todos y todas gracias totales.*

### **AGRADECIMIENTOS**

- *Nuestro profundo agradecimiento para el Ingeniero Pablo Arévalo Moscoso, por su incondicional apoyo en la dirección de este proyecto.*
- *También nuestra gratitud para la Dra. Inés Malo y para el Ing. Servio Astudillo por su valiosa ayuda.*

**CERTIFICACIÓN**

*Certifico, que el presente trabajo fue realizado por los Sres. Jorge Luis Ordóñez Vinueza y Raúl Andrés Moreno Farfán, bajo mi supervisión.*

  
*Ing. Pablo Arévalo Moscoso.*  
**DIRECTOR DE TESIS**

*“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”*

*Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de Jorge Luis Ordóñez Vinueza y Raúl Andrés Moreno Farfán. Autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana al uso de la misma para fines académicos.*

*Cuenca, febrero 10 de 2013.*

*( )*   
*( )* 





1.4.4.3.1.	INTOXICACIÓN AGUDA:	30
1.4.4.3.2.	DAÑO RENAL:	30
1.4.4.3.3.	CARCINOGENICIDAD:	30
1.4.5.	BIOSORCIÓN:	31
1.4.5.1.	CONCEPTO DE BIOSORCIÓN:	31
1.4.5.2.	VENTAJAS DE LA BIOSORCIÓN:	32
1.4.5.3.	MECANISMO DEL PROCESO DE BIOSORCIÓN:	32
1.4.5.3.1.	INTERCAMBIO IÓNICO:	33
1.4.5.3.2.	ADSORCIÓN:	33
1.4.5.3.3.	ADSORCIÓN FÍSICA:	34
1.4.5.3.4.	ADSORCIÓN QUÍMICA:	34
1.4.5.3.5.	OTROS MECANISMOS:	34
1.4.6.	BIOSORBENTES:	35
1.4.6.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS BIOSORBENTES:	35
1.4.6.1.1.	BIOMASA EN VIVO:	36
1.4.6.1.2.	ALGAS:	36
1.4.6.1.3.	HONGOS:	37
1.4.6.2.	RESIDUOS VEGETALES PROCEDENTES DE PROCESOS INDUSTRIALES O AGRÍCOLAS:	37
1.4.6.2.1.	TURBA:	37
1.4.6.2.2.	CORTEZA Y OTROS MATERIALES RICOS EN TANINOS:	38
1.4.6.2.3.	QUITINA O QUITOSÁN:	38
1.4.6.3.	BIOSORBENTES DE ORIGEN NATURAL:	39
1.4.6.3.1.	ZEOLITAS:	39
1.4.6.3.2.	ARCILLAS:	39
1.4.7.	MODELOS TEÓRICOS:	40
1.4.7.1.	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN:	40
1.4.7.2.	ISOTERMA DE LANGMIUR:	41
1.4.7.3.	ISOTERMAS DE FREUNDLICH:	43
CAPÍTULO II		45
2.1.	DESARROLLO EXPERIMENTAL:	45
2.1.1.	OBTENCIÓN DE LA BIOMASA:	45
2.2.	GRANULOMETRÍA:	47
2.3.	ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LOS TALLOS DE ROSAS COMO BIOSORBENTE DE CADMIO:	49
2.3.1.	MATERIALES Y REACTIVOS:	49
2.3.1.1.	MATERIALES:	49
2.3.1.2.	REACTIVOS:	50
2.3.2.	METODOLOGÍA:	50

2.3.3. RESULTADOS: .....	51
2.4. EXPERIMENTACIÓN REALIZADA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES PARA LA MÁXIMA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL SISTEMA SEGÚN LOS FACTORES SELECCIONADOS: .....	52
2.4.1. REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO: .....	52
2.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES: .....	53
2.4.3. EXPERIMENTOS EN COLUMNA:.....	53
2.4.3.1. ESCENARIO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN COLUMNAS: .....	54
2.4.3.1.1. TIEMPO DE RETENCIÓN: .....	54
2.4.3.1.2. pH: .....	54
2.4.4. PROCEDIMIENTO: .....	54
2.4.5. LIMPIEZA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN:.....	56
CAPÍTULO III.....	58
3.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LOS TALLOS DE ROSAS COMO BIOSORBENTE DE CADMIO.....	58
3.1.1. EFECTO DE LA MASA: .....	58
3.1.2. ISOTERMAS DE BIOSORCIÓN: .....	59
3.1.2.1. PROCESO DE LINEALIZACIÓN:.....	59
3.1.3. ISOTERMA DE LANGMUIR: .....	60
3.1.4. ISOTERMA DE FREUNDLICH: .....	61
3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS FACTORES UTILIZADOS:.....	63
3.2.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA): .....	67
3.2.2. DISPERSIÓN: .....	69
3.2.3. PRUEBAS DE RANGOS MÚLTIPLES:.....	70
3.2.4. ANÁLISIS DE LOS GRÁFICOS DE INTERACCIÓN: .....	72
3.2.5. VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO:.....	74
3.2.5.1. SUPUESTO DE NORMALIDAD:.....	74
3.2.5.2. SUPUESTO DE VARIANZA CONSTANTE:.....	75
3.2.5.2.1. RESIDUOS VS. NIVELES DE FACTOR:.....	75
3.2.5.2.2. RESIDUOS VS. PREDICHOS:.....	76
3.2.5.3. SUPUESTO DE INDEPENDENCIA:.....	77
CAPÍTULO IV.....	79
4. CONCLUSIONES:.....	79
CAPÍTULO V.....	80
5. RECOMENDACIONES: .....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración (1): Estructura de la pared celular de la Phaeophyta (alga marrón)</i>	36
<i>Ilustración (2): Tallos de rosas recolectados</i>	45
<i>Ilustración (3): Diagrama para el proceso de obtención de la biomasa requerida</i>	46
<i>Ilustración (4): Biomasa final obtenida, lista para su uso en la experimentación</i>	47
<i>Ilustración (5): Resultados graficados, prueba de granulometría</i>	48
<i>Ilustración (6): Práctica, características de la granulometría</i>	49
<i>Ilustración (7): Práctica del análisis de adsorción</i>	51
<i>Ilustración (8): Práctica, experimentación en el sistema de columnas</i>	56
<i>Ilustración (9): Resultados experimentales acerca del efecto de la masa sobre la biosorción de Cd</i>	58
<i>Ilustración (10): Isoterma de Langmuir</i>	60
<i>Ilustración (11): Isoterma de Freundlich</i>	62
<i>Ilustración (12): Gráfico del análisis de varianza ANOVA</i>	68
<i>Ilustración (13): Gráficos de dispersión</i>	69
<i>Ilustración (14): Gráfico de medias y 95% de Fisher LSD, factor pH</i>	72
<i>Ilustración (15): Gráfico de interacciones</i>	73
<i>Ilustración (16): Gráfico de probabilidad normal</i>	74
<i>Ilustración (17): Gráfico de residuos para factor pH</i>	75
<i>Ilustración (18): Gráfico de residuos para factor tiempo de retención</i>	76
<i>Ilustración (19): Gráfico de residuos vs predichos</i>	77
<i>Ilustración (20): Gráfico de independencia</i>	78

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla (1): Lista de descarga al sistema de alcantarillado público</i>	21
<i>Tabla (2): Límites de descarga al sistema de alcantarillado público</i>	23
<i>Tabla (3): Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i>	23
<i>Tabla (4): Límites de descarga a un cuerpo de agua marina</i>	23
<i>Tabla (5): Concentraciones de cadmio reportadas en aguas residuales</i>	15
<i>Tabla (6): Capacidades de adsorción en (mg/g) de las turbas para diferentes metales</i>	37
<i>Tabla (7): Capacidades de adsorción en (mg/l) para materiales con contenido en taninos para diferentes metales</i>	38
<i>Tabla (8): Valores de <math>R_L</math> para determinar el tipo de sistema isotérmico</i>	43
<i>Tabla (9): Resultados obtenidos, prueba de granulometría</i>	47
<i>Tabla (10): Resultados obtenidos, capacidad de adsorción</i>	52
<i>Tabla (11): Ensayos experimentales realizados, utilizando las especificaciones definidas</i>	55
<i>Tabla (12): Combinaciones realizadas para la adsorción de cadmio por la biomasa (tallos de rosa)</i>	56
<i>Tabla (13): Valores del efecto de la masa sobre la biosorción</i>	58
<i>Tabla (14): Proceso de linealización para la biomasa de tallos de rosas, Isoterma de Langmuir y Freundlich</i>	59
<i>Tabla (15): Rangos de correlación, para el análisis del modelo</i>	60
<i>Tabla (16): Proceso de linealización Isoterma de Langmuir</i>	61
<i>Tabla (17): Resultados de biosorción de Cd</i>	61
<i>Tabla (18): Proceso de linealización, Isoterma de Freundlich</i>	62
<i>Tabla (19): Capacidad máxima de biosorción (<math>q_{max}</math>) de Cd obtenido por algunos biosorbentes</i>	63
<i>Tabla (20): Factores y niveles que intervienen en el modelo</i>	64
<i>Tabla (21): Libro de datos del diseño utilizado, STATGRAPHICS CENTURION XV</i>	64
<i>Tabla (22): Tabla de las muestras madre utilizadas en la experimentación</i>	65
<i>Tabla (23): Tabla de resultados obtenidos</i>	66
<i>Tabla (24): Tabla de resultados obtenidos</i>	67
<i>Tabla (25): Grupos homogéneos, prueba de rango múltiple LSD, factor pH</i>	71
<i>Tabla (26): Diferencia significativa entre niveles, prueba de rango múltiple LSD, factor pH</i>	71

**ÍNDICE DE ECUACIONES:**

<i>Ecuación (1): Ecuación de la capacidad de adsorción</i>	<u>40</u>
<i>Ecuación (2): Ecuación de Langmuir</i>	<u>41</u>
<i>Ecuación (3): Linealización de la ecuación de Langmuir</i>	<u>42</u>
<i>Ecuación (4): Factor <math>R_L</math> de Langmuir</i>	<u>42</u>
<i>Ecuación (5): Ecuación de Freundlich</i>	<u>44</u>
<i>Ecuación (6): Linealización de la ecuación de Freundlich</i>	<u>44</u>

## ***CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN***

### ***I.***

#### ***1.1. JUSTIFICACIÓN.***

Varias actividades industriales en sus diversos procesos utilizan metales pesados, esto afecta a fuentes hídricas siendo estas indispensables para el riego, ganadería, y consumo humano. Las poblaciones cercanas a las zonas donde las industrias realizan sus procesos en el Ecuador, manifiestan y conocen que estas actividades generan grandes impactos en el medio, entre los más importantes esta la contaminación de los causes hídricos con sustancias que son nocivas para la salud de sus habitantes. (AGUA, 2007)

La explotación generada por las industrias, forma una actividad productiva significativa, pero los efectos generados al medio, provocada por los diversos insumos que utilizan en sus procesos son elevados, debido a que la gestión realizada por tales industrias no se interesa en incluir factores sociales, tecnológicos, económicos y políticos para realizar una explotación responsable con el medio ambiente. (AGUA, 2007)

A nivel mundial los países en desarrollo dan tratamiento al 10% del agua, esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a los causes hídricos. Hay gran cantidad de procesos industriales en los cuales se utilizan metales pesados como materia prima, como: plomo, cadmio, cobre, etc. Que no son aprovechados al máximo y que cuando son vertidos provocan altas pérdidas en el medio, e incluso al hombre. (Eddy, 2004)

**Tabla (1):** Concentraciones de cadmio reportadas en aguas residuales.

<b>Concentración de cadmio reportadas para agua residual</b>		
<b>Fuente</b>	<b>Concentración de cadmio (mg/l)</b>	
<b>Agua de enjuague de acabado metálico</b>		
<i>Fabricación de sistema de control de calentamiento automotriz</i>	14	22
<i>Fábrica de caja de cambio automática</i>	10	15
<i>Acabado metálico</i>	17	12
<i>Purga de aclarador</i>	48	158
	0,1	6
	0,4	58
<i>Recirculación de aclarador</i>	1000	3330
<b>Manufactura de metales no ferrosos</b>		
<i>Fundición de cobre</i>	0,09	1,08
<i>Fundición y refinación de plomo</i>	0,08	1,2
<i>Fundición y refinación de zinc</i>	15	
<b>Manufactura hierro y acero</b>	0	80
<i>Agua residual de fundición de acero</i>	0,16	0,95
<i>Agua residual de fundición de acero</i>	0	0,74
<b>Formulación de tintes y pinturas</b>	0	0,81
<b>Esmalte de porcelana</b>	0	9,6
<b>Drenaje ácido de minería</b>	400	1000

Fuente: [www.catarina.udlap.mx](http://www.catarina.udlap.mx).

Por esta razón se fundamenta la importancia de desarrollar técnicas sencillas como la utilización de los tallos de rosas como biosorbente, debido a la abundancia en la que se encuentran y a su eficacia, que consigan reducir dichos impactos y la disminución de los contaminantes emitidos por las industrias, que en algunos casos descargan directamente sus aguas residuales a los cauces hídricos sin previo tratamiento, perjudicando notoriamente a los habitantes de la zona y al medio que los rodea.

Por esta razón se cree imperioso y beneficioso estudiar el aprovechamiento del biosorbente que se utiliza en esta tesis, que podría ser empleado en la remoción de contaminantes metálicos, como es en este caso el cadmio, que es un compuesto altamente contaminante, tóxico y peligroso.

Con esta tesis intentamos demostrar la efectividad del biosorbente como un método económico y eficiente de remoción de metales pesados, ya que en varios estudios se ha probado la eficiencia de ciertos biosorbentes, tales como: lechuguín, cáscara de naranja, quitosán, raspo de uva, y muchos otros; lo que conlleva a esta investigación a comprobar la eficiencia del biosorbente que exhibimos como un método de remoción de metales pesados: económico, factible y responsable con el medio ambiente y con el ser humano.



## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General:**

- Determinar la capacidad de adsorción de cadmio en los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosa), como biosorbente para el tratamiento de aguas residuales.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Conocer las características de los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosa), para determinar su desempeño como biosorbente de cadmio en aguas residuales.
- Implementar los ensayos experimentales, para determinar la máxima capacidad de adsorción de cadmio por los residuos orgánicos de los cultivos de flores (tallos de rosa) tomando en consideración pH, y tiempo de retención.
- Evaluar y cuantificar si el tratamiento utilizado y los residuos orgánicos de los cultivos de flores poseen alguna capacidad de adsorción del cadmio.

### ***1.3. HIPÓTESIS***

- Los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosas), tienen la capacidad de la remoción de metales pesados en aguas residuales, lo cual puede ser de gran ayuda en el tratamiento de las mismas

#### **1.4. MARCO TEÓRICO**

##### **1.4.1. METALES PESADOS ENCONTRADOS EN EFLUENTES INDUSTRIALES.**

Cualquier catión que tenga un peso atómico mayor a 23 se considera como un metal pesado, varias industrias realizan descargas de aguas contaminadas con una alta cantidad de estos metales, entre ellos: níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio. (STEVENEL, 2005)

Según la Directiva Europea 96/61/CE IPPC (Ley 16/2002) dichos metales se encuentran catalogados como sustancias contaminantes que obligatoriamente deben tenerse en consideración, para fijar límites máximos permisibles tanto en emisiones como en descargas. (STEVENEL, 2005)

En el Ecuador poseemos la norma oficial contra la contaminación ambiental, la que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales para los sistemas de alcantarillado de las ciudades como también para fuentes de aguas dulces y marítimas. Lo aludido anteriormente lo encontramos según la normativa ecuatoriana TULAS<sup>1</sup>, en el libro VI, Anexo 1 que establece los siguientes objetivos:

- a) “Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;**
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,**
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.**

---

<sup>1</sup> Texto Unificado de Legislación Ambiental.

#### **1.4.1.1.        **NORMATIVA LOCAL.****

La normativa ecuatoriana TULAS<sup>2</sup> en el libro VI, Anexo 1 trata sobre los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua o alcantarillado, también incluye los criterios de calidad de agua para sus distintos usos y métodos para determinar la presencia de contaminantes.

La norma se clasifica según los criterios de calidad por su uso de la siguiente manera:

- Criterios de calidad para aguas predestinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a la potabilización.
  
- Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
  
- Criterios de calidad para aguas subterráneas.
  
- Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
  
- Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
  
- Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
  
- Criterios de calidad para aguas de uso estético.
  
- Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
  
- Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

Para esta tesis utilizaremos como guía el literal 4.1.9, criterios de calidad para aguas de uso industrial de la norma del TULAS en el libro VI, Anexo 1.

---

<sup>2</sup> Texto Unificado de Legislación Ambiental.

#### **1.4.1.1.1. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE USO INDUSTRIAL.**

Se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

- A procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios.
- Generación de energía.
- Generación de minería.

Según la normativa, los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso industrial vienen dados por varios parámetros, de los cuales únicamente tomaremos el cadmio, que se presenta a continuación en la tabla (1).

*Tabla (2): Lista de descarga al sistema de alcantarillado público.*

<i>Parámetros</i>	<i>Expresado como</i>	<i>Unidad</i>	<i>Límite máximo permisible</i>
<i>Cadmio</i>	<i>Cd</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,02</i>

*Fuente:* “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1”.

#### **1.4.1.1.2. DESCARGAS.**

La descarga consiste en infiltrar, poner, verter o inyectar aguas contaminadas o residuales hacia un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado en forma continua, intermitente o fortuita.

#### **1.4.1.1.3. DESCARGA NO PUNTUAL.**

De acuerdo a la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1 la descarga no puntual “es aquella que no se precisa el punto exacto de vertimiento al cuerpo receptor”, esta se aplica en todos los casos de descargas procedentes de escorrentía, aplicación de agroquímicos, etc.

#### **1.4.1.1.4. EFLUENTES.**

Se entiende como efluente a todo líquido proveniente del proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad que genera una determinada industria.

#### **1.4.1.1.5. CRITERIOS GENERALES DE DESCARGA DE EFLUENTES.**

Según la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1, se considera que los criterios para las descargas de efluentes son:

- “Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descargar efluentes al sistema de alcantarillado.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor.
- Descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Descarga a un cuerpo de agua marina.”

En la normativa las pautas generales de descarga hacia un cuerpo receptor de agua vienen dadas por diferentes parámetros, de los cuales tomaremos únicamente el parámetro que corresponde al cadmio, que se lo utiliza como contaminante en esta tesis, lo descrito se indica a continuación en las siguientes tablas.

*Tabla (3): Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<i>Cadmio</i>	<i>Cd</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,02</i>

*Fuente: “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1”.*

*Tabla (4): Límites de descarga hacia un cuerpo de agua dulce.*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<i>Cadmio</i>	<i>Cd</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,02</i>

*Fuente: “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1”.*

*Tabla (5): Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<i>Cadmio</i>	<i>Cd</i>	<i>mg/l</i>	<i>0,02</i>

*Fuente: “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1”.*

#### **1.4.2. MÉTODOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Los métodos convencionales para el tratamiento de las aguas residuales no son nada más que soluciones tradicionales tales como:

##### **1.4.2.1. OSMOSIS INVERSA.**

La osmosis inversa está encaminada a la reducción del contaminante en disolución, este método se fundamenta en pasar el agua contaminada por una membrana semipermeable aplicándole presión, este proceso no elimina toda la contaminación, lo que hace que se concentre en un pequeño volumen. (PERILLO, 2007)

##### **1.4.2.2. ELECTRODIÁLISIS.**

Este es un método con el cual se pueden extraer los iones disueltos en agua, haciéndola pasar por una serie de membranas ion-selectivas, con ayuda de energía eléctrica. (GONZALES, 2010)

##### **1.4.2.3. ULTRAFILTRACIÓN.**

La ultrafiltración es una clase de filtración por membranas, donde la presión hidrostática impulsa un líquido hacia una membrana semipermeable. Los sólidos suspendidos y los solutos de alto peso molecular son retenidos, mientras que el agua y los solutos de bajo peso molecular atraviesan la membrana. (www.lenntech.es, 2012)



#### **1.4.2.4. PRECIPITACIÓN QUÍMICA.**

La precipitación química radica en agregar sustancias adecuadas que generan la precipitación de sustancias no deseables e insolubles de las aguas residuales, este proceso consiste en agregar una sustancia que reaccione directamente con la sustancia que nos importa, proporcionando como resultado un material insoluble que se precipita. (PERILLO, 2007)

#### **1.4.2.5. REACCIÓN DE OXIDACIÓN.**

La reacción de oxidación reside en la contribución de aire al agua residual, lo que conlleva a la creación de micro burbujas que generan una alta concentración de oxígeno, de tal manera que el oxidante se reduce al captar los electrones cedidos por sustancias que se oxidan. (www.lenntech.es, 2012)

#### **1.4.3. MÉTODOS NO CONVENCIONALES UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Los tratamientos indicados anteriormente a cerca de la remoción de metales pesados en las aguas residuales, la mayoría de las veces no son viables por ciertos factores tecnológicos y/o económicos, fundamentalmente cuando estos metales pesados se encuentran en bajas concentraciones y en altos volúmenes. Por lo tanto, se trata de encontrar varias alternativas para tratamientos de aguas residuales de bajo costo y que sean eficaces. En los últimos años, las nuevas tecnologías van conquistando espacio, para la reducción y eliminación de los contaminantes existentes en el agua como la ecotecnología<sup>3</sup> y biotecnología, estos radican en aplicar procesos naturales de remediación, detallados a continuación: (ALAMI, 2010)

---

<sup>3</sup>Se considera ecotecnología a todas las formas de ingeniería ecológica que reducen el daño a los ecosistemas, adopta fundamentos permaculturales, holísticos y de desarrollo sostenible, además de contar con una orientación precautoria de minimización de impacto en sus procesos y operación, reduciendo la huella ambiental.

#### **1.4.3.1. BIORREMEDIACIÓN.**

La biorremediación es un término aplicado al tratamiento de aguas residuales que, a diferencia de tratamientos químicos y físicos recurre a organismos vivos, especialmente microorganismos como bacterias y hongos, los cuales dan paso de un medio contaminado a su condición natural. (TORRES, 2009)

#### **1.4.3.2. FITORREMEDIACIÓN.**

La fitorremediación está vinculada con la descontaminación de los suelos, depuración de las aguas residuales y remediación del aire a partir de especies vegetales u hongos, esta técnica también puede tratar la contaminación por compuestos inorgánicos como la reducción de metales pesados. (SCHNOOR, 2003)

#### **1.4.3.3. BIOSORCIÓN.**

La biosorción consiste en la remoción de contaminantes de soluciones acuosas por medio del uso de biomásas inertes utilizadas como biosorbentes, que atrapan metales pesados procedentes de industrias, las cuales tienen la ventaja de su bajo costo. (SCHNOOR, 2003)

En nuestro entorno se puede recurrir a varias clases de adsorbentes como distintos tipos de cortezas (pino), lechuguín, cascara de limón, naranja etc. Estos poseen las propiedades de concentrar metales a partir de soluciones acuosas diluidas y acumularlas. (BAILEY, 1999)

#### **1.4.4. CADMIO:**

El cadmio es un metal dúctil de color blanco y cierto tono azulado, que habitualmente se adquiere como un subproducto de la obtención de zinc y otros procesos. El cadmio tiene un número atómico 48 y un peso atómico de  $112,4 \text{ gmol}^{-1}$ , este metal pertenece al grupo divalente de la tabla periódica como el mercurio y el zinc. Tiene la característica de que presenta una presión de vapor relativamente alta razón por la cual, su vapor se oxida muy velozmente en presencia de aire para producir óxido de cadmio. Algunos compuestos de cadmio como el sulfuro, carbonato y óxido de cadmio son insolubles en agua, estos pueden convertirse en sales solubles bajo la influencia de oxígeno y ácidos. Por lo contrario los sulfatos, nitratos y haluros de cadmio son totalmente solubles en agua. (STEVENEL, 2005)

El cadmio provoca efectos cancerígenos ya el metal se concentra en el hígado, riñones, páncreas y tiroides, provocando hipertensión en el organismo. Y, en el medio ambiente su reacción es que el metal es retenido por la materia orgánica ubicada en el suelo y por la bioacumulación realizada en plantas, mamíferos, crustáceos y moluscos. La contaminación proporcionada por este metal en el agua es por vertidos urbanos, uso de barros industriales como fertilizantes para mejorar las características minerales de los suelos, etc. (STEVENEL, 2005)

Por otro lado la obtención de cadmio en la industria indica que un 80% de la producción se deriva de la extracción y refinado de zinc y el 20 % sobrante proviene de la extracción de otros metales y de su reciclaje. Los principales productores de cadmio en el mundo son Japón, China, Corea, México y Estados Unidos. (STEVENEL, 2005)

**1.4.4.1. INDUSTRIAS O PROCESOS EN LOS CUALES SE  
MANEJAN O UTILIZAN CADMIO.**

**1.4.4.1.1. LA INDUSTRIA DE LA ELECTRODEPOSICIÓN O  
ELECTROPLATEADO:**

En esta industria al cadmio lo utilizan como proceso de deposición, la cual manipula el cadmio casi universalmente en los baños electrolíticos alcalino-cianurados, que posee un excelente poder de revestimiento y da lugar a recubrimientos de grano fino para brindarle resistencia a la corrosión a una determinada pieza, también para que aumente su resistencia a la abrasión y para mejorar su estética, entre otras funciones. (GONZÁLES, 2010)

**1.4.4.1.2. LA INDUSTRIA DE LOS PLÁSTICOS:**

El cadmio en la industria de los plásticos se lo utiliza como estabilizador en la fabricación de PVC, en el proceso de estabilización se puede clasificar como el único ingrediente indispensable en la formulación de un compuesto de PVC. Cabe recalcar que estos estabilizadores prorrogan la degradación que el calor y la luz producen en el producto, en estos procesos generalmente se utilizan sales organometálicas que pueden ser de bario, cadmio y zinc presentes en forma de líquidos, polvos y jabones. (Industriales-UVA, 2012)

**1.4.4.1.3. LA INDUSTRIA DE LOS PIGMENTOS:**

En la industria de los pigmentos se utiliza el sulfuro de cadmio para conseguir pinturas rosas, rojas y marrones. Estos pigmentos son especialmente ventajosos para aplicaciones que indispensablemente requieren altas temperaturas y en procesos donde otros pigmentos se degradarían rápidamente, por eso se utilizan comúnmente en la fabricación de plásticos, cerámicos y pinturas. (FRÍAS-ESPERICUETA, 2010)

#### **1.4.4.1.4. LA INDUSTRIA DE LAS BATERÍAS:**

El cadmio en la industria de las baterías proporciona el almacenamiento y posterior suministro de la energía eléctrica en el producto, junto con el Níquel. (www.lenntech.es, 2012)

#### **1.4.4.2. EL CADMIO Y SU AFECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE:**

El cadmio puede afectar los ecosistemas y la salud de las personas por medio de alimentos u otra forma de afección. El cadmio es principalmente empleado en diferentes actividades como: acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos, pinturas, agentes colorantes, baterías de cadmio o níquel, estabilizadores de plástico, plaguicidas etc. Estas actividades generan al medio ambiente 7300 ton/año a nivel mundial, la mayoría por medio de emisiones atmosféricas de la actividad minera, de la refinación, fundición de minerales, el uso de combustibles fósiles y las escorrentías de zonas agrícolas, comúnmente en las ciudades la contaminación por este metal se debe a la emisión de los desechos producidos en industrias y laboratorios principalmente, a las alcantarillas. (STEVENEL, 2005)

En los ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces, el cadmio y su efecto puede variar ampliamente en organismos acuáticos: los organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que los organismos de aguas dulces. (www.lenntech.es, 2012)

Del cadmio producido anualmente en el mundo, menos del 10 % es reciclado por la industria, por lo tanto la mayor parte se acumula en el medio ambiente. (www.lenntech.es, 2012)

### **1.4.4.3. EFECTOS A LA SALUD POR CADMIO.**

#### **1.4.4.3.1. INTOXICACIÓN AGUDA:**

El sistema respiratorio se ve afectado peligrosamente por la inhalación de aire contaminado con presencia de cadmio, ocasionando: dificultad para respirar, edema pulmonar y la destrucción de las membranas mucosas, Como se informó en el año 1942, la ingesta de cadmio a través de alimentos contaminados provoca graves efectos gastrointestinales, como vómitos y diarrea.

#### **1.4.4.3.2. DAÑO RENAL:**

El daño provocado en los riñones ha sido descrito como el principal problema para los pacientes crónicamente expuestos al cadmio. El cadmio llega al riñón en forma de metaloide Cd-MT<sup>4</sup> es filtrado en el glomérulo, y posteriormente reabsorbido.

#### **1.4.4.3.3. CARCINOGENICIDAD:**

Existen estudios que manifiestan que el cadmio puede causar cáncer. Se ha demostrado que una inyección subcutánea de cloruro de cadmio puede inducir a cáncer de próstata en ratas. Este grupo también postula que dosis altas de cadmio puede causar grave necrosis testicular en ratas, seguido por una mayor incidencia de tumores testiculares intersticiales. En contraste con los datos de laboratorio, sin embargo, los estudios epidemiológicos no pueden demostrar convincentemente que el cadmio es una causa del cáncer de próstata.

---

<sup>4</sup> Cadmio en forma de metaloide

#### **1.4.5. BIOSORCIÓN:**

El elevado costo de los tratamientos convencionales para la eliminación de metales pesados, ha motivado a un gran número de científicos e investigadores a la búsqueda de nuevos materiales de bajo costo que tengan la capacidad de sustituir a las resinas de intercambio iónico y al carbón activo. Dentro de este grupo podemos encontrar los biosorbentes cuyos materiales son de origen biológico, vegetal, u oriundos de procesos industriales con altas capacidades de adsorción. (CASTILLO BOROBI, 2004)

Por simple observación y entendimiento de lo que naturalmente ocurre en el ambiente se encontró que, cuando los compuestos químicos solubles se localizan presentes en ambientes acuosos, se ponen en contacto e interaccionan con los materiales biológicos de dos formas, se unen a la pared celular en un proceso llamado biosorción o también pueden acumularse dentro de la célula, proceso conocido como bioacumulación. (CASTILLO BOROBI, 2004)

La biosorción es definida como un proceso de concentración de sorbato, el prefijo “bio” indica que el sorbente es de origen biológico, de esta manera la superficie de adsorción tiene una composición química-biológica determinada que dependerá del material biológico empleado. (CAZÓN, 2012)

##### **1.4.5.1. CONCEPTO DE BIOSORCIÓN:**

La biosorción se define como el fenómeno de la captación pasiva de los iones metálicos o de otras sustancias. Este proceso se fundamenta en el aprovechamiento de las cualidades que poseen algunos tipos de biomazas inactivas o muertas, para enlazar y acumular a estos elementos por diferentes mecanismos que son: adsorción física, adsorción química, complejación intercambio iónico etc. (ALAMI, 2010)

#### **1.4.5.2. VENTAJAS DE LA BIOSORCIÓN:**

Según las autoras (ALAMI, 2010) en sus trabajos de investigación denotan que las ventajas de la biosorción son:

- La eficiencia de remoción es similar a las resinas de intercambio, sin embargo la adsorción de metales en algunos casos llega al 50% del peso de la biomasa seca, resultando más económica.
- Minimización de lodos tanto biológicos como químicos.
- Se pueden recuperar los metales pesados, el momento en que la biomasa alcanza su máxima saturación, la misma puede generarse con soluciones acidas básicas, que posteriormente contendrán los metales en un pequeño volumen.
- No genera material desecho.
- El equipo es simple.
- No existen requerimientos de nutrientes.
- Presenta alta eficiencia para efluentes diluidos.
- Mínimo volumen de químicos o residuo biológico que deben tratarse.
- Bajo costo de conservación, transporte y manipuleo.

#### **1.4.5.3. MECANISMO DEL PROCESO DE BIOSORCIÓN.**

Debido a la amplia gama de tipos de biomasa usada para la eliminación de los metales desde hace más de 30 años, los diferentes mecanismos de biosorción se han explicado en dos sentidos que son: un mecanismo basado exclusivamente en la captación pasiva de iones metálicos cuando se emplea una biomasa muerta o inerte,



esto se denomina biosorción y un mecanismo de transporte a través de la membrana celular que solo tiene lugar cuando se utilizan células vivas a esto se le denomina bioacumulación. (ALAMI, 2010)

Según el autor Sergio Castillo Borobio en su tesis titulada *“Reutilización de raspo procedente de la industria vinícola para la extracción de metales en efluentes líquidos”* nos dice que *“la extracción de metales mediante biosorbentes vegetales se atribuye a sus proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos que contienen el grupo carboxil, hidroxil, solutos, fosfatos, y amino que pueden atrapar los iones metálicos. Cuando los biosorbentes son de origen biológico o animal, la extracción de metales se atribuye a los grupos amino y fosfatos en los ácidos nucleicos; grupos amido y carboxílicos en las proteínas; grupos hidroxil, carboxil y sulfatos de polisacáridos en algas marinas, polisacáridos estructurales en hongos y grupos acetamido en la quitina”*.

Debido a la compleja estructura de estos materiales se estima que seguramente varios mecanismos procedan simultáneamente en el proceso de adsorción. Los principales mecanismo son:

#### ***1.4.5.3.1. INTERCAMBIO IÓNICO:***

El intercambio iónico se fundamenta en captar la carga eléctrica del adsorbato y la superficie del adsorbente, donde los iones del metal utilizado se aglutinan sobre un sitio de carga eléctrica contraria u opuesta, de la superficie del adsorbente. (TORRES, 2009)

#### ***1.4.5.3.2. ADSORCIÓN:***

La adsorción es el proceso de atracción y retención de una molécula, iones o átomos en la superficie de un material, hay la adsorción física y la adsorción química: (ALAMI, 2010)

#### **1.4.5.3.3. ADSORCIÓN FÍSICA:**

La adsorción física se produce por la unión entre la superficie del sorbente (biomasa) y el metal, esta unión se origina por fuerzas de atracción, donde la molécula adsorbida tiene movimiento libre sobre la superficie del sólido adsorbente que no está unido a un sitio específico. (CASTILLO BOROBIO, 2004)

#### **1.4.5.3.4. ADSORCIÓN QUÍMICA:**

La adsorción química se da por fuerzas más poderosas, esta se provoca cuando las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con la superficie, en esta reacción el sorbato forma una caída mono molecular sobre la superficie del adsorbente en donde los iones del metal o contaminante se ubican sobre sitios de carga eléctrica opuesta sobre la superficie del adsorbente. (TORRES, 2007)

#### **1.4.5.3.5. OTROS MECANISMOS:**

Los mecanismos menormente utilizados son la quimiosorción y la precipitación. (VEGLIO, 1997)

El proceso de la quimiosorción consiste en la unión entre el sorbente y el metal, donde se producen enlaces químicos debido al intercambio de electrones.

La precipitación se asocia a un mecanismo de defensa de algunos microorganismos, los cuales pueden originar sustancias que precipitan los elementos contaminantes que se acumulan en su interior o en el medio que lo rodea. (VEGLIO, 1997)

#### **1.4.6. BIOSORBENTES.**

Las investigaciones sobre biosorción en estos últimos años, ha enfocado la atención sobre el aprovechamiento de los materiales residuales y los subproductos que se forman por los varios procesos que se llevan a cabo en las industrias por su variedad y bajo costo. (ALAMI, 2010)

Existen varios tipos de biosorbentes, los de origen biológico, formados por una biomasa de origen microbiano, formada principalmente por algas, bacterias, hongos y levaduras. Estos son producidos a partir de procesos de fermentación en las industrias las cuales proceden de medicinas, farmacias y productos derivados de algas. Los biosorbentes de origen vegetal que están constituidos por residuos de origen agrícola y forestal, destacando las cortezas de árboles, restos de vegetales, cereales y frutos, y también se encuentran dentro de este grupo los residuos orgánicos o de origen animal que se obtiene a partir de procesos industriales, como el quitosán o el xantato. Además de los biosorbentes mencionados anteriormente, otros materiales de bajo coste están siendo investigados para la extracción de metales, algunos de origen natural como zeolitas, arcillas, turba, etc. (VOLESK, 2001)

Las ventajas de los biosorbentes comparándolos con los sorbentes tradicionales son numerosas, la mayor ventaja es que son económicos debido a que estos materiales son residuos de procesos industriales sin valor, por el contrario el carbón activo es un material económicamente muy elevado y que a menudo debe ser tratado previamente para conseguir altos valores de adsorción. (BABEL, 2003)

##### **1.4.6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS BIOSORBENTES:**

Los biosorbentes se clasifican según su origen en tres tipos. (CASTILLO BOROBIO, 2004)

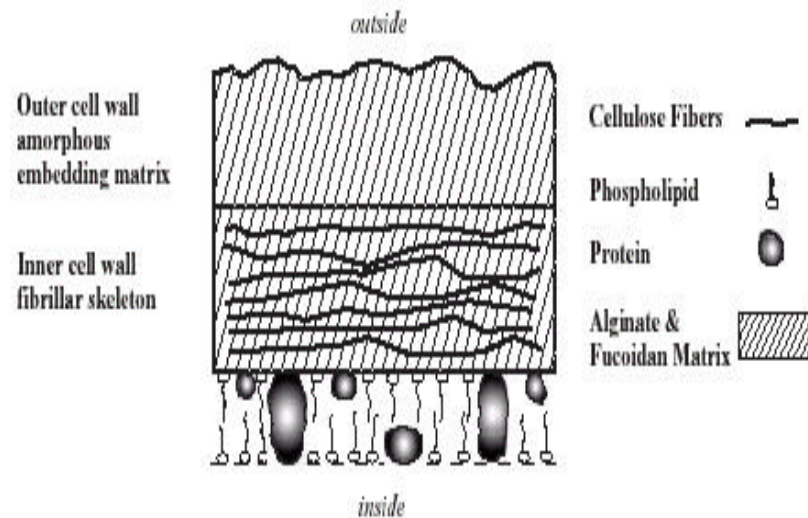
#### 1.4.6.1.1. BIOMASA EN VIVO:

La biomasa en vivo son pequeñas partículas de baja densidad y poca rigidez, están altamente disponibles en el medio y en grandes cantidades, engloba algas, bacterias, hongos y levaduras. (VEGLIO, 1997)

#### 1.4.6.1.2. ALGAS:

Las algas son una importante fuente de materiales sorbentes de metales, debido a las propiedades de intercambio iónico asociadas a su contenido en polisacáridos. Los polisacáridos son constituyentes estructurales de la pared celular. Según el autor (DAVIS, 2003) han establecido que existe una relación directa entre la capacidad de sorción del alga y su contenido en polisacáridos. (CASTILLO BOROBIO, 2004)

*Ilustración 1: estructura de la pared celular de la Phaeophyta (alga marrón)*



*Fuente:* DAVIS T. A., V. B. (2003). *A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae.*  
Water Research Vol. 37.

#### **1.4.6.1.3. HONGOS:**

La utilización del micelio de hongos para la remoción de metales tiene un alto potencial debido a que existen muchos productos como antibióticos, esteroides, hormonas, ácidos orgánicos, enzimas, insecticidas y saborizantes que son producidos por los hongos. El desecho de estas industrias puede usarse en los procesos de remoción de metales pesados. (CAMPOCOSIO, 2000)

#### **1.4.6.2. RESIDUOS VEGETALES PROCEDENTES DE PROCESOS INDUSTRIALES O AGRÍCOLAS:**

En este grupo el material lo obtenemos gratuitamente o a bajos precios, aquí encontramos todo material obtenido después de un proceso industrial o agrícola, puede ser cortezas de árboles, residuos de jardín, etc.

##### **1.4.6.2.1. TURBA:**

En este material poseemos una mezcla compleja de materia orgánica en varios estados de composición, que pueden contener lignina y celulosa como componente principal, estos poseen grupos funcionales polares tales como alcoholes, aldehídos, ácidos, hidróxidos fenólicos y ésteres, por ese motivo tienen una excelente capacidad de intercambio iónico y se consideran como un adsorbente efectivo para la eliminación de materiales pesados. (BAILEY, 1999)

*Tabla (6): Capacidades de adsorción en (mg/g) de las turbas para diferentes metales.*

<b>Material</b>	<b>Pb<sup>2+</sup></b>	<b>Cd<sup>2+</sup></b>	<b>Zn<sup>2+</sup></b>	<b>Cr (VI)</b>
<i>Turba eutrófica</i>		20,23	11,12	
<i>Turba oligotrófica</i>		22,48	13,08	
<i>Turba sphagnum</i>	40	5,8		132
<i>Turba rastunsuo</i>	20,04	5,06		

**Fuente:** MASKEW, F. G. (1993). *Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. Mexico: Limusa SA. Mexico D.F. Novena Edición Volumen III.

#### 1.4.6.2.2. CORTEZA Y OTROS MATERIALES RICOS EN TANINOS:

La característica de las cortezas es que son efectivos como adsorbentes debido a su elevado nivel en taninos, el inconveniente que poseen estos biosorbentes es que producen color, debido a los fenoles que contienen que son solubles en el agua, este problema se puede solucionar con un previo tratamiento químico. A continuación explicamos con un cuadro sobre la capacidad de adsorción de materiales que contienen taninos. (BAILEY, 1999)

*Tabla (7): Capacidades de adsorción en (mg/l) para materiales con contenido en taninos para diferentes metales.*

<i>Material</i>	<i>Pb<sup>2+</sup></i>	<i>Cd<sup>2+</sup></i>	<i>Cr (VI)</i>
<i>Carbón activo</i>	2,95		
<i>Poso del café</i>		1,48	1,42
<i>Corteza de pino</i>	3,33	8	
<i>Cáscara de nuez</i>		1,5	1,33
<i>Poso de té</i>	40	1,63	1,55
<i>Corteza de secuoya</i>	6,8 - 182	27 - 32	

*Fuente:* MASKEW, F. G. (1993). *Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales*. Mexico: Limusa SA. Mexico D.F. Novena Edición Volumen III.

#### 1.4.6.2.3. QUITINA O QUITOSÁN:

La quitina después de la celulosa es el segundo biopolímero natural que se encuentran en mayores cantidades en el medio, este biosorbente se encuentran en concentraciones elevadas en el esqueleto exterior de los cangrejos, artrópodos y crustáceos. La forma más módica de adquirir la quitina es mediante los residuos provenientes de la industria de elaboración de alimentos a base de cangrejos. (CASTILLO BOROBIO, 2004)

### **1.4.6.3. BIOSORBENTES DE ORIGEN NATURAL:**

Los biosorbentes de origen natural están conformados por un material que no ha pasado por procesos agrícolas ni industriales, es un tipo de biomasa inerte que se encuentra de forma natural en el medio ambiente, estos pueden ser arcillas, zeolitas, etc.

#### **1.4.6.3.1. ZEOLITAS:**

Las zeolitas son sólidos cristalinos microporosos. Su estructura formada por tetraedros de SiO<sub>4</sub> y de AlO<sub>4</sub> que posee largos canales cargados negativamente. Estos canales contienen en su interior una elevada cantidad de cationes de calcio, sodio, potasio y otros cationes que son fácilmente intercambiables por metales pesados. (BAILEY, 1999)

#### **1.4.6.3.2. ARCILLAS:**

En las arcillas la capacidad de adsorción de metales pesados proviene de la carga negativa en su estructura de finos granos de silicato. En esta carga negativa se neutraliza por adsorción las especies que se encuentran cargadas positivamente. El mecanismo de sorción es estrechamente similar al de las zeolitas, basándose mayoritariamente en el intercambio iónico. El rendimiento de extracción de metales de las arcillas es menor al rendimiento de las zeolitas y además su uso práctico en columnas tiene dos problemas: el aumento de volumen de la arcilla al ponerse en unión con el medio acuoso y la disminución de permeabilidad de las arcillas en general. (BAILEY, 1999)

#### **1.4.7. MODELOS TEÓRICOS:**

Las isothermas de Langmiur (1915) y Freundlich (1939) son los dos modelos usualmente más utilizados para referir la adsorción de un notable componente. Los dos modelos son permitidos únicamente bajo ciertas condiciones y sus resultados no pueden ser extrapolados cuando se varían las condiciones del medio. (DAVIS, 2003)

##### **1.4.7.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN:**

La capacidad de adsorción se calcula mediante la siguiente ecuación:

*Ecuación (1): Ecuación de la capacidad de adsorción.*

$$q = \frac{(C_i - C_e) * V}{X_o}$$

*Fuente: LARENAS URIA Christian. (2010). Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales. La Granja , 4-5.*

Dónde:

**q**, Tasa de biosorción de Cd (mg/g de cadmio por gramo de biosorbente)

**C<sub>i</sub>**, Concentración inicial de Cd en solución (mg/l)

**C<sub>e</sub>**, Concentración final de Cd en solución (mg/l)

**X<sub>o</sub>**, Gramos de biomasa

**V**, Volumen de la muestra utilizada (litros) (LARENAS, 2010)



#### 1.4.7.2. ISOTERMA DE LANGMIUR:

El modelo de Langmiur estuvo básicamente desarrollado para denotar la adsorción gas sólido con carbón activo. En este modelo la atracción entre dos iones de metal y la superficie del material sorbente se refiere esencialmente a fuerzas físicas y no se toma en cuenta las agrupaciones moleculares, ni las variaciones de energía de la interacción con el material. Para aplicar la isoterma de adsorción de Langmuir debemos tener en cuenta las siguientes hipótesis. (DAVIS, 2003)

- La superficie de adsorción es uniforme.
- La adsorción de soluto por el sorbente se origina a partir de una monocapa.
- La energía de adsorción es constante y la afinidad de cada lugar de interacción por las moléculas de soluto es la misma.
- Las moléculas de soluto adsorbidas están localizadas, y por lo tanto no se mueven sobre la superficie.

La ecuación de Langmuir es la siguiente.

*Ecuación (2): Ecuación de Langmuir.*

$$q = q_{\max} \frac{b C_e}{1 + b C_e}$$

*Fuente:* SÁNCHEZ T Edna Lilian. (2008). *Estudio Cinético e Isotermas de Adsorción de Ni (II) Y Zn (II) Utilizado Biomasa del Alga Chlorella SP. Inmovilizada.* Mexico: Ciencia UANL/VOL.XI No. 2, Abril-Junio 2008.

Dónde:

**q**, capacidad de adsorción (mg/g)

**q<sub>max</sub>**, capacidad máxima de adsorción (mg/g)

$C_e$ , concentración de equilibrio (mg/l)

$b$ , parámetro de la ecuación, constante relacionada con la afinidad de biosorbente por los iones Cd (SÁNCHEZ, 2008)

La linealización de esta ecuación es la siguiente:

*Ecuación (3): Linealización de la ecuación de Langmuir.*

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{b * q_{max}} + \frac{1}{q_{max}} * C_e$$

*Fuente: LARENAS URIA Christian. (2010). Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales. La Granja , 4-5.*

Según el trabajo de investigación de (TORRES, 2009) nos comenta que “*el desempeño de un adsorbente se mide generalmente por su  $q_{max}$  siempre y cuando los datos experimentales sigan la isoterma de Langmuir. Es deseable un alto valor de  $q_{max}$ . Sin embargo, también es deseable que exista alta afinidad entre el sorbente y el sorbato, lo que se refleja en altos valores de  $q$  para bajas concentraciones  $C_e$ . Esto ocurre cuando la curva de  $q_{max}$  vs  $C_e$  tiene alta pendiente cerca del origen y es reflejado en el valor del coeficiente  $b$  de Langmuir.*”

La isoterma de Langmuir puede evaluarse a partir del factor  $R_L$  que es un valor adimensional, mostrando su fórmula a continuación: (4)

*Ecuación (4): Factor  $R_L$  de Langmuir.*

$$R_L = \frac{1}{1 + b * C_e}$$

*Fuente: LARENAS URIA Christian. (2010). Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales. La Granja , 4-5.*

Donde los valores resultantes de  $R_L$  nos indica:

**Tabla (8):** Valores de  $R_L$  para determinar el tipo de sistema isotérmico.

$R_L = 0$	<i>Sistema isotérmico irreversible</i>
$0 < R_L < 1$	<i>Sistema isotérmico favorable</i>
$R_L = 1$	<i>Lineal</i>
$R_L > 1$	<i>Sistema isotérmico desfavorable</i>

**Fuente:** LARENAS URIA Christian. (2010). Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales. La Granja , 4-5.

#### **1.4.7.3. ISOTERMAS DE FREUNDLICH:**

La isoterma de Freundlich tiene un origen empírico e igual que la isoterma de Langmuir la adsorción está en función de la concentración de equilibrio, apartando la presencia de otros iones de disolución o variaciones de pH. (CASTILLO BOROBIO, 2004)

En el modelo de Freundlich se presume que la superficie del sorbente es heterogénea y que las posiciones de sorción tienen distintas afinidades, en primer lugar se ocupan las posiciones de mayor afinidad y posteriormente se va ocupando el resto. (BAILEY, 1999)

Para aplicar la isoterma de Freundlich se debe tomar en cuenta que no hay asociación de moléculas posteriormente de ser adsorbidas en la superficie del material y que no debe tener quimiosorción. (BAILEY, 1999) En síntesis la isoterma de Freundlich será efectiva cuando la adsorción sea únicamente un proceso físico y no haya un cambio en la configuración de las moléculas cuando han sido adsorbidas. (BAILEY, 1999)

La ecuación de la isoterma de Freundlich es la siguiente:

*Ecuación (5): Ecuación de Freundlich.*

$$q = K * C_e^{1/n}$$

*Fuente:* SÁNCHEZ T Edna Lilian. (2008). *Estudio Cinético e Isotermas de Adsorción de Ni (II) Y Zn (II) Utilizado Biomasa del Alga Chlorella SP. Inmovilizada.* Mexico: Ciencia UANL/VOL.XI No. 2, Abril-Junio 2008.

Dónde:

**q**, capacidad de adsorción (mg/g).

**C<sub>e</sub>**, concentración de equilibrio (mg/l).

**K**, parámetro de la ecuación (l/mg) relacionado con la afinidad del bioadsorbente por los iones metálicos.

**n**, parámetro de la ecuación congruente con la intensidad de la adsorción. (SÁNCHEZ, 2008)

La linealización de esta ecuación es la siguiente:

*Ecuación (6): Linealización de la ecuación de Freundlich.*

$$\log q = \frac{1}{n} * \log C_e + \log K$$

*Fuente:* LARENAS URIA Christian. (2010). *Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales.* La Granja , 4-5.

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

#### **2.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL:**

En la presente tesis de investigación se hicieron dos prácticas necesarias para realizar el estudio del aprovechamiento de los cultivos de flores (tallos de rosa) como biosorbente de cadmio. La primera para determinar la capacidad de adsorción de la biomasa utilizada y la segunda para determinar los factores más influyentes en la remoción del biosorbente.

##### **2.1.1. OBTENCIÓN DE LA BIOMASA:**

Previo a los ensayos experimentales, se realizó como primer paso la obtención de la biomasa, a base de tallos de rosa. Las florícolas locales nos proporcionaron dichos tallos. Obtenidos en su mayor cantidad de la florícola Austroflor, y en menor cantidad, de otros centros de expendio de flores de la ciudad, se recogió alrededor de 20 kg de biomasa a la cual se le dio un tratamiento previo para su utilización final.

*Ilustración (2): Tallos de rosas recolectados.*



*Fuente: Los autores.*

El tratamiento previo consiste en:

- Cortar los tallos a un tamaño de no más de 2 cm.,
- Pasar por un proceso de secado al aire libre durante 5 días hasta que los tallos se logren romper con facilidad.
- Colocar la masa en un horno convencional a unos 100 °C por el lapso de 5 horas.
- Moler las muestras ya secas, mediante un molino manual
- Los tallos ya fragmentados, secos y triturados pasan por un proceso de tamizado para obtener la granulometría deseada que en nuestro caso son las partículas ubicadas entre los tamices de 0,5 mm y 1 mm.

Con el restante de los tallos de mayor tamaño, seguimos nuevamente por otro proceso de molido para obtener mayor cantidad de biomasa con la granulometría requerida.

El proceso se resume en el siguiente diagrama:

*Ilustración (3): Diagrama del proceso realizado para la obtención de la biomasa requerida.*



*Fuente: Los autores*

**Ilustración (4):** Biomasa final, lista para ser usada en la experimentación.



*Fuente:* Los autores

## 2.2. GRANULOMETRÍA:

Se utilizó la prueba de granulometría con el “testingstevshaker” modelo DTI68. Esto para obtener las características granulométricas reales de la biomasa a utilizar.

El experimento reside en pesar 100 g de biomasa y hacerla ingresar por diferentes tipos de tamices seleccionados de 25, 35, 45, 50, 100, 200, 230 micrómetros, respectivamente, llegando a los siguientes resultados.

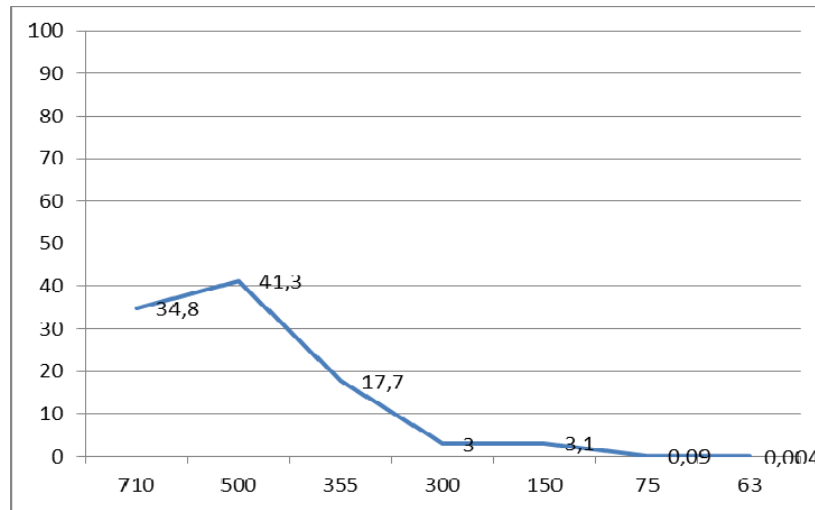
**Tabla (9):** Resultados obtenidos, prueba de granulometría.

# tamiz	micrómetros ( $\mu\text{m}$ )	%
25	710	34,8
35	500	41,3
45	355	17,7
50	300	3
100	150	3,1
200	75	0,09

230	63	0,004
-----	----	-------

*Fuente: Los autores.*

**Ilustración (5):** Resultados graficados, prueba de granulometría.



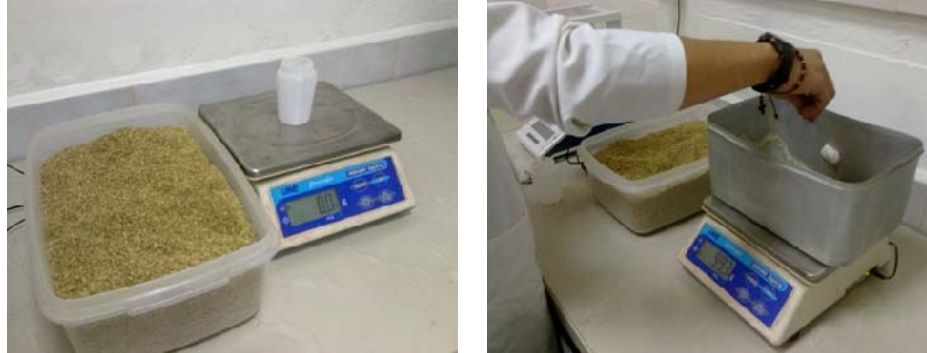
*Fuente: Los autores.*

Planteamos que la mayor granulometría es de 500 micrómetros, esta se localiza mayoritariamente en la biomasa a utilizar, con un porcentaje del 41,3%.

Cabe resaltar que la granulometría obtenida en esta tesis fue la ubicada entre los tamices de 0,5 mm y 1 mm, esto por la revisión bibliográfica realizada anteriormente, donde en diversos estudios ya realizados se llega a la conclusión que la granulometría más práctica en los procesos de biosorción es la menor a 1 mm.



**Ilustración (6):** Práctica, características de la granulometría.



*Fuente:* Los autores.

### **2.3. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LOS TALLOS DE ROSAS COMO BIOSORBENTE DE CADMIO:**

#### **2.3.1. MATERIALES Y REACTIVOS:**

Para el siguiente estudio se utilizaron los siguientes materiales y reactivos que se detallarán a continuación:

##### **2.3.1.1. MATERIALES:**

- Peachímetro de sobremesa.

- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Vasos de precipitación de 500 ml.
- Mezclador con imanes.
- Balón de aforo de 1000 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Pera de succión.
- Varillas de agitación.
- Frascos estériles para muestras de orina.
- Papel filtro.
- Embudo de cristal.
- Cronómetro.

**2.3.1.2. REACTIVOS:**

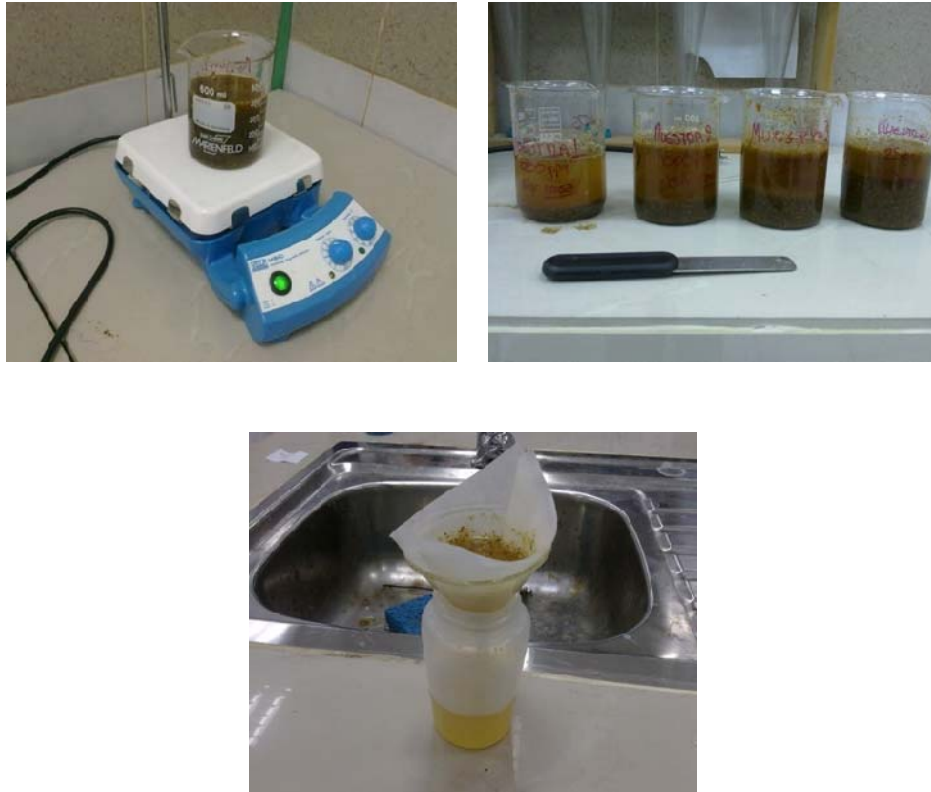
- Solución de Nitrato de Cadmio a una concentración de 905,74 mg/l.

**2.3.2. METODOLOGÍA:**

En el desarrollo de nuestro experimento en cada caso se tomó 400 ml de la solución madre de Nitrato de Cadmio y se ubicó en cada uno de los cinco vasos de precipitación de 500 ml. A cada solución se les agrego 5, 10, 15, 20, 25 g de biosorbente, inicialmente pesado en la balanza analítica, se mido el pH obteniendo

7,6 y se les mantuvo en agitación durante 30 minutos. Posteriormente a las soluciones se las dejaron sedimentar por gravedad por el lapso de 10 minutos, sucesivo a esto fueron filtradas y ubicadas en los frascos estériles, al día siguiente se enviaron las cinco muestras obtenidas más la muestra madre, a los laboratorios de ETAPA para realizar el respectivo análisis.

**Ilustración (7):** Práctica para determinar la capacidad de adsorción.



**Fuente:** Los autores.

### **2.3.3. RESULTADOS:**

Los resultados para este experimento son los siguientes:

**Tabla (10):** Resultados alcanzados, capacidad de adsorción.

<i>masa (g)</i>	<i>Ci (mg/l)</i>	<i>Ce (mg/l)</i>
25	905,74	334,73
20	905,74	403,04
15	905,74	438,13
10	905,74	575,3
5	905,74	700

*Fuente:* Los autores.

Cabe señalar que se obviaron los resultados de 5 g, debido a que esta marcha no se la realizó en las mismas condiciones que las demás, ya que esta última adoptó un proceso de agitación desigual y por lo tanto los efectos de esta práctica con 5 g. no son valederos.

#### **2.4. EXPERIMENTACIÓN REALIZADA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES PARA LA MÁXIMA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DEL SISTEMA SEGÚN LOS FACTORES SELECCIONADOS:**

Esta técnica experimental se la ejecutó, con el objetivo de establecer condiciones para la máxima capacidad de adsorción del sistema, por lo que se realizó la experimentación según las siguientes características, pH, tiempo de retención, granulometría y caudal.

##### **2.4.1. REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO:**

- Ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para regular el pH.

- Hidróxido de sodio (NaOH) para regular el pH.
- Nitrato de cadmio.
- Agua destilada.

#### **2.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES:**

En el presente estudio utilizamos:

- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Forros de filtros de organza.
- Papel indicador de pH.
- Molino manual.
- Filtros de malla metálica.

#### **2.4.3. EXPERIMENTOS EN COLUMNA:**

Donde se ejecuta el avance de la técnica de bioadsorción; consiste en un conjunto de tubos PVC conectados con tres cilindros paralelos los cuales dotan de una bomba eléctrica graduada digitalmente para controlar el caudal.

En los cilindros paralelos de PVC se almacenan unos cilindros más pequeños de acero inoxidable en los cuales se coloca los forros de organza con la biomasa. El sistema se encuentra conectado con un tanque donde se almacena el contaminante y esto avala su recirculación, al final de cada cilindro encontramos unas llaves para tomar muestras en el tiempo indicado por el presente estudio.

### **2.4.3.1. ESCENARIO PARA LA EXPERIMENTACIÓN EN COLUMNAS:**

#### **2.4.3.1.1. TIEMPO DE RETENCIÓN:**

Para el siguiente estudio se emplearon tres tiempos de retención de:

1. 10 minutos
2. 20 minutos
3. 30 minutos

#### **2.4.3.1.2. pH:**

La solución contaminante se condicionó a dos potenciales de hidrógeno:

1. pH 6,5
2. pH 7,1

### **2.4.4. PROCEDIMIENTO:**

Los ensayos experimentales se realizaron de la siguiente manera:

- Se puso la biomasa en la tela de organza, que se ubica en los filtros de malla metálica con la mayor compactación posible.
- Se preparó la solución combinando en el tanque de la máquina, 30 litros de agua con 10 g de Nitrato de Cadmio.
- Se fijó el pH deseado para la marcha.
- Se reguló el señalador digital del caudal a 20 gertz resultando un caudal de 19 cc/s.
- Antes de la corrida se quitó un ejemplar de la solución contaminante como concentración inicial.

- Se activó el sistema y se dejó que corra en los 3 filtros tomando cada 10, 20, 30 minutos un ejemplar de 200 ml para su análisis.
- Una vez acabadas las marchas, las muestras son llevadas al laboratorio para su análisis. Dando por lo tanto un resultado de 18 muestras.

El proceso se generó con dos pH's, con tres tiempos de retención, y con un tipo de granulometría y caudal.

El siguiente cuadro nos muestra las combinaciones.

*Tabla (11): Ensayos experimentales realizados, utilizando las especificaciones definidas.*

<i>Granulometría</i>	<i>Caudal</i>	<i>pH ajustado en la solución</i>	<i>Tiempo de retención (min)</i>	<i># de muestras tomadas</i>
<i>Partículas entre 0,5 mm - 1 mm</i>	<i>19<sup>cc/s</sup></i>	<i>6,5</i>	<i>10</i>	<i>3</i>
			<i>20</i>	<i>3</i>
			<i>30</i>	<i>3</i>
		<i>7,1</i>	<i>10</i>	<i>3</i>
			<i>20</i>	<i>3</i>
			<i>30</i>	<i>3</i>

*Fuente: Los autores.*

En la siguiente tabla mostraremos el número total de combinaciones realizadas para la determinación de adsorción de cadmio.

**Tabla (12):** Combinaciones efectuadas para la adsorción de cadmio por la biomasa (tallos de rosa).

<b>Factores condicionantes del sistema</b>	<b># niveles de cada factor</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Repeticiones por marcha</b>	<b>Total de combinaciones</b>
a) Granulometría	1	$(a)*(b)*(c)*(f)$	3	3
b) Caudal	1		3	3
c) pH	2		3	6
d) Tiempo de retención	3		3	6
				18

*Fuente:* Los autores.

Se ejecutaron tres combinaciones, usando una granulometría un caudal, dos pH's y tres tiempos de retención.

#### 2.4.5. LIMPIEZA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN:

El lavado del equipo se lo realizó después de cada ensayo experimental haciendo funcionar la máquina con agua potable de modo que recircule, higienizando todas las tuberías.

**Ilustración (8):** Práctica, experimentación en el sistema de columnas.





*“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”*



***Fuente:** Los Autores*

### CAPÍTULO III

## 3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

### 3.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LOS TALLOS DE ROSAS COMO BIOSORBENTE DE CADMIO.

#### 3.1.1. EFECTO DE LA MASA:

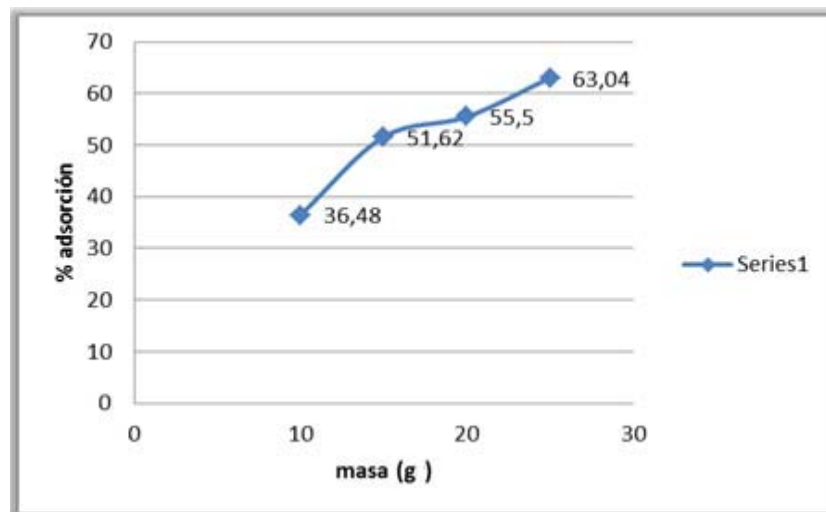
De acuerdo a lo observado en la figura, la masa óptima para la biosorción del cadmio es equivalente a los 25 g de biosorbente con un 63,04% de retención del metal, y seguido de las demás masas en orden descendente, siendo la última de 10 g con 36,48 % evidenciando una disminución progresiva de la biosorción.

*Tabla (13): Resultados del efecto de la masa sobre la biosorción.*

<i>masa (g)</i>	<i>% adsorción</i>
25	63,04
20	55,5
15	51,62
10	36,48

*Fuente: Los Autores.*

*Ilustración (9): Resultados obtenidos acerca del efecto de la masa sobre la biosorción de Cd.*



*Fuente: Los Autores.*

### 3.1.2. ISOTERMAS DE BIOSORCIÓN:

Los valores experimentales se ajustaron a las isothermas de Langmuir y Freundlich, los ensayos se realizaron al variar la masa de biosorbente a 10, 15, 20, 25 g.

#### 3.1.2.1. PROCESO DE LINEALIZACIÓN:

Al realizar el proceso de linealización de las isothermas se obtuvieron los siguientes valores:

*Tabla (14): Proceso de linealización para la biomasa de tallos de rosas, Isotherma de Langmuir y Freundlich.*

<i>masa (g)</i>	<i>C<sub>i</sub> (mg/l)</i>	<i>C<sub>e</sub> (mg/l)</i>	<i>q (mg/g)</i>	<i>Langmuir</i>		<i>Freundlich</i>	
				<i>1/q</i>	<i>1/C<sub>e</sub></i>	<i>Log q</i>	<i>Log C<sub>e</sub></i>
25	905,74	334,73	11,4202	0,0875641	0,0029875	1,0577	2,52469
20	905,74	403,04	12,5675	0,0795703	0,0024811	1,0992	2,60535
15	905,74	438,13	15,587	0,064156	0,0022824	1,1928	2,6416
10	905,74	575,3	16,522	0,0605254	0,0017382	1,2181	2,75989

*Fuente: Los Autores.*

La isoterma que más concordó a los resultados experimentales fue la isoterma de Langmuir, tomando en cuenta los coeficientes de correlación  $R^2 = 0,862$  y para la isoterma de Freundlich,  $R^2 = 0,839$ . El modelo emanado de las dos isothermas resultó ser bueno.

Considerando que:

**Tabla (15):** Niveles de correlación, para el estudio del modelo.

$0 < R^2 < 0,6$	el modelo es pobre
$0,6 < R^2 < 0,9$	el modelo es bueno
$0,9 < R^2 < 1$	el modelo es muy bueno

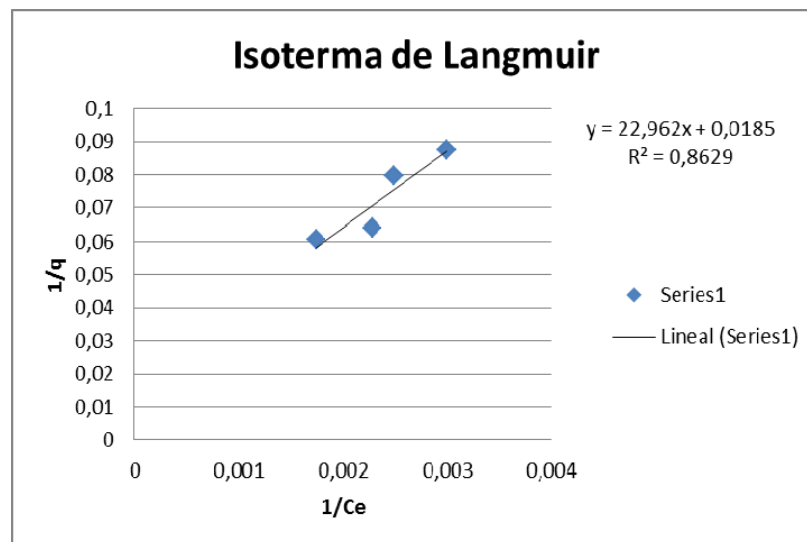
**Fuente:** VILLANUEVA, C. (2007). *Biosorción De Cobre (II) Por Biomasa Pretratada De Cáscara De Citrus Sinensis (Naranja), Citrus Limonium (Limón) Y Opuntia Ficus (Palmeta De Nopal)*. Lima: Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

### 3.1.3. ISOTERMA DE LANGMUIR:

Los resultados, de acuerdo al modelo de Langmuir mostrados en la ilustración, nos permiten deducir la ordenada al origen  $1/q_{\max}$  y la pendiente  $1/b \cdot q_{\max}$  con lo cual obtenemos,  $q_{\max}$  resultante que es igual a 55,55 mg de Cd/g de biosorbente.

Utilizando la ecuación (4), el análisis de los valores de  $R_L$ , [tabla (8)] revela un comportamiento isotérmico favorable, obteniendo un valor  $R_L$  de 0,58.

**Ilustración (10):** Isoterma de Langmuir.



**Fuente:** Los Autores.

**Tabla (16):** Proceso de linealización isoterma de Langmuir.

<b>Isoterma de Langmuir</b>	
<i>Ecuación de la isoterma</i>	$y = 22,96 x + 0,018$
$R^2$	0,862
<i>Ordenada (<math>1/q_{max}</math>)</i>	0,018
<i>Pendiente (<math>1/b * q_{max}</math>)</i>	22,96
$q_{max}$	55,55 mg de Cd/g biosorbente
$b$	0,000784

*Fuente:* Los Autores.

**Tabla (17):** Resultados de biosorción de Cd.

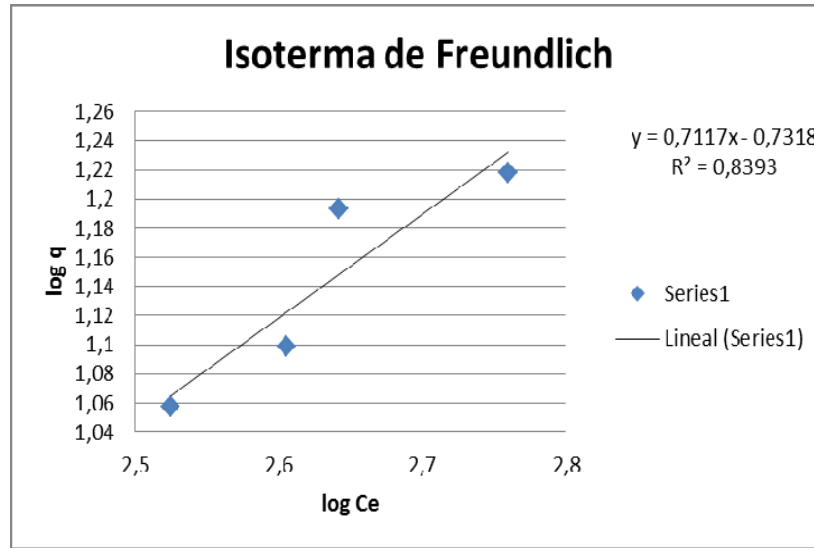
<b>Isoterma de Langmuir</b>				
<i>masa (g)</i>	<i>Ci (mg/l)</i>	<i>Ce (mg/l)</i>	<i>Q (mg/g)</i>	$R_L$
25	905,74	334,73	11,54	0,58
20	905,74	403,04	13,34	
15	905,74	438,13	14,2	
10	905,74	575,3	17,27	

*Fuente:* Los Autores.

### 3.1.4. ISOTERMA DE FREUNDLICH:

De los datos obtenidos al linealizar la ecuación de Freundlich, se obtuvo el valor de K de la ordenada al origen y el de  $1/n$  de la pendiente como se muestra en el gráfico, considerando que los valores de K, representan una medida de la capacidad de adsorción del sorbente y n, constituye la intensidad de la adsorción, resultando,  $K = 0,19$  y  $n = 1,4$ .

**Ilustración (11):** Isoterma de Freundlich.



*Fuente:* Los Autores.

**Tabla (18):** Proceso de linearización, isoterma de Freundlich.

<b>Isoterma de Freundlich</b>	
Ecuación de la isoterma	$\text{Log } q = 0,711 \text{ Log } C_e - 0,731$
$R^2$	0,839
Ordenada ( $\log K$ )	-0,731
Pendiente ( $1/n$ )	0,711
$K$	0,19
$n$	1,4

*Fuente:* Los Autores.

En la siguiente tabla se muestra la máxima capacidad de biosorción de Cd de diferentes biosorbentes conteniendo los resultados obtenidos en la presente tesis, se nota que el valor de  $q_{\max}$  de la biomasa (tallos de rosas) excede a gran parte de los

valores obtenidos de otros tipos de sorbentes como: musgo, xantato, corcho, turba, arcillas, etc.

**Tabla (19):** Capacidad máxima de biosorción ( $q_{max}$ ) de Cd obtenido por algunos biosorbentes.

<b>Tipo de biomasa</b>	<b><math>q_{max}</math> (mg/g)</b>	<b>Referencia</b>
<i>Quitosán</i>	558	(BAILEY S. , 1999)
<i>Algas Marinas</i>	215	
<i>Lana Modificada</i>	87	
<i>Musgo</i>	46,65	
<i>Xantato</i>	33,27	
<i>Corcho</i>	32	
<i>Arcilla</i>	16,5	
<i>Turba</i>	5,06	
<b>Tallos de rosas</b>	<b>55,55</b>	<b>Presente Investigación</b>

*Fuente: Los Autores.*

### **3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS FACTORES UTILIZADOS:**

La realización de un análisis estadístico sirve principalmente para validar o rechazar una hipótesis, las respectivas hipótesis para nuestra investigación son las siguientes:

- **$H_0$ :** Determinar si el potencial de hidrógeno (pH) y/o el tiempo de retención son factores que no influyen en la capacidad de retención que poseen los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosas).
- **$H_1$ :** Determinar si el potencial de hidrógeno (pH) y/o el tiempo de retención son factores que influyen en la capacidad de retención que poseen los residuos orgánicos de cultivos de flores (tallos de rosas).

**Tabla (20): Factores y niveles que intervienen en el modelo**

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>					<b>Variable de Respuesta</b>
<b>Nombre</b>	<b>Unidad</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Nº de Niveles</b>	
<i>Potencial de Hidrógeno</i>	<i>pH</i>	6,5	7,1	-	2	<i>Rendimiento (%)</i>
<i>Tiempo Retención</i>	<i>Min</i>	10	20	30	3	

*Fuente: Los Autores*

A través del programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XV, se estableció un diseño de BLOQUES COMPLETOS AL AZAR (DBCA), donde se introdujeron un factor de entrada (tiempo de retención), un factor de bloque (pH) y el factor de respuesta (rendimiento %), el inicial con tres niveles, el secundario con dos niveles, dando en total de 18 corridas, el orden de los experimentos han sido completamente aleatorizado.

A continuación se presenta el libro de datos obtenidos:

**Tabla (21): Libro de datos del diseño empleado, STATGRAPHICS CENTURION XV.**

<b>Nº</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo Retención min</b>	<b>Rendimiento %</b>
1	1	3	
2	1	3	
3	1	1	
4	1	2	
5	1	1	
6	1	1	



*“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”*

7	1	2	
8	1	3	
9	2	2	
10	2	1	
11	2	1	
12	2	3	
13	2	3	
14	2	2	
15	2	3	
16	2	2	
17	2	1	
18	2	2	

<i>pH</i>	<i>Tiempo Retención</i>
1 = 6,5	1 = 10
2 = 7,1	2 = 20
-	3=30

*Fuente: Los Autores*

En lo que respecta a la elaboración de la solución inicial, los datos para las muestras madres de las pruebas son:

*Tabla (22): Tabla de los resultados de las muestras madre utilizadas en la experimentación.*

<i>Muestras Madre</i>		
<i>Nombre</i>	<i>Concentración de Cadmio (mg/l)</i>	<i>Muestras realizadas a partir de las muestras madre</i>
<i>Muestra Madre "1"</i>	139,568	1 - 9

<i>Muestra Madre</i> "2"	130,020	10 - 18
-----------------------------	---------	---------

*Fuente: Los Autores*

A continuación, se elaboró la relación entre la cantidad de cadmio en la solución inicial y en cada una de las muestras (rendimiento %):

*Tabla (23): Tabla de resultados logrados.*

<i>Nº</i>	<i>pH</i>	<i>Tiempo retención (min)</i>	<i>Muestra madre de Cd (mg/l)</i>	<i>Cadmio en (mg/l)</i>	<i>Capacidad de Adsorción (mg/g)</i>	<i>Rendimiento (%)</i>
1	6,5	10	139,568	123,75	18,27	11,33
2	6,5	20	139,568	122,43	19,79	12,27
3	6,5	30	139,568	120,12	22,46	13,93
4	6,5	10	139,568	97,262	48,87	30,21
5	6,5	20	139,568	96,283	50	31,01
6	6,5	30	139,568	95,59	50,8	31,51
7	6,5	10	139,568	96,58	49,65	30,8
8	6,5	20	139,568	98,285	47,68	29,57
9	6,5	30	139,568	101,629	43,82	27,18
10	7,1	10	130,02	99,022	35,8	23,84
11	7,1	20	130,02	90,717	45,4	30,22
12	7,1	30	130,02	86,812	49,91	33,23
13	7,1	10	130,02	83,919	53,25	35,45
14	7,1	20	130,02	80,905	56,73	37,77
15	7,1	30	130,02	79,662	58,17	38,73
16	7,1	10	130,02	79,002	58,93	39,23
17	7,1	20	130,02	76,725	61,56	40,98

18	7,1	30	130,02	76,747	61,54	40,97
----	-----	----	--------	--------	-------	-------

Fuente: Los Autores.

### 3.2.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA):

El análisis de varianza o ANOVA es usado para probar la hipótesis de medias poblacionales iguales, seleccionando entre las dos hipótesis siguientes:

- **Hipótesis Nula ( $H_0$ ):**  $\mu_A = \mu_B$
- **Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ):** Las medias no son todas iguales.

Este diseño se fijó mediante de un análisis de varianza ANOVA en donde se determinó la suma de cuadrados (SC), los grados de libertad (GL), el cuadrado medio (CM), la razón F ( $F_0$ ) y la significancia observada (P-value) para cada efecto, como se denota en la siguiente tabla.

Tabla (24): Tabla de resultados obtenidos.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F<sub>0</sub></i>	<i>P-value</i>
<b><i>EFFECTOS PRINCIPALES</i></b>					
<i>A: Tiempo Retención</i>	19,435	2	9,71752	0,14	0,8734
<i>B: pH (Bloque)</i>	584,934	1	584,934	8,24	<b>0,0141</b>
<b><i>INTERACCIONES</i></b>					
<i>AB</i>	17,5565	2	8,77824	0,12	0,8848
<i>RESIDUOS</i>	851,998	12	70,9998		
<b><i>TOTAL (CORREGIDO)</i></b>	1473,92	17			

Fuente: Los Autores.

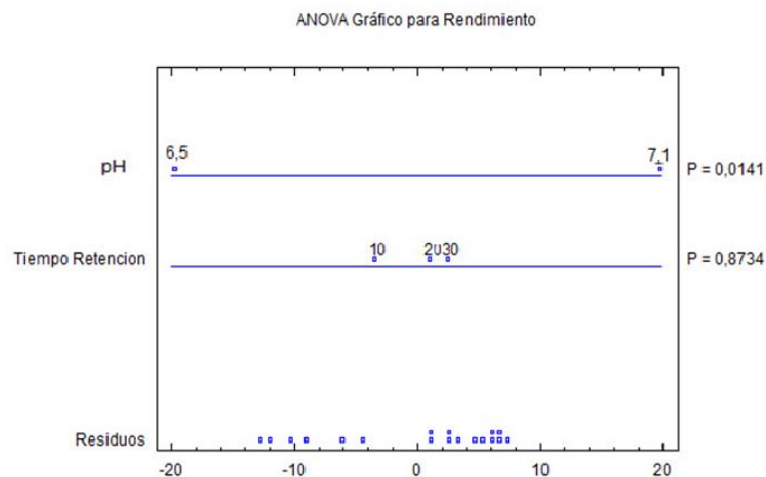
Con la ejecución de este análisis se estableció la relación de las variables implantadas en el proceso con el rendimiento del mismo, el análisis del ANOVA establece con el P-value, la significancia estadística de cada uno de los factores.

Como tenemos un valor altamente significativo de 0,0141 correspondiente al pH, así aceptamos la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ).

Ya que el P-value del pH es menor a 0,05 se establece que el efecto de este influye concisamente en la variabilidad del rendimiento, dando a este, ser el factor que define la capacidad de remoción del biosorbente.

Determinando también que el tiempo de retención posee un P-value de 0,8734, la interacción entre el pH y el tiempo de retención con 0,8848, no influyen en la variabilidad del rendimiento ya que sus P-value son altamente superiores a 0,05 y no son estadísticamente significativos, como se demuestra en la gráfica del ANOVA

**Ilustración (12):** Gráfico del análisis de varianza ANOVA.



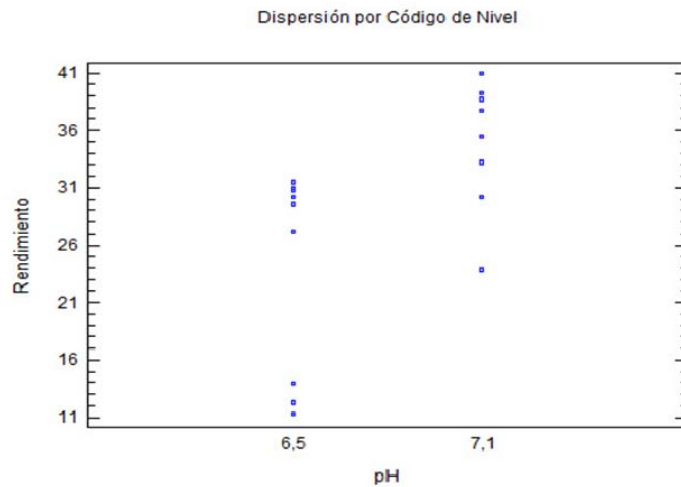
**Fuente:** Los Autores.

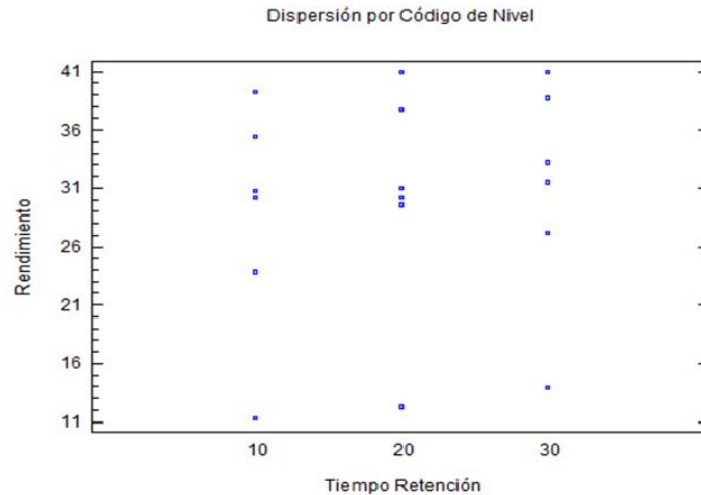
### 3.2.2. DISPERSIÓN:

Los diagramas de dispersión por código de nivel suministran información sobre la variabilidad de respuesta para cada punto experimental, además nos ayuda a detectar la presencia o existencia de puntos anómalos o atípicos que posteriormente pueden afectar a los resultados y conclusiones.

Existe variabilidad de respuesta para cada punto experimental. Para el grafico del pH los puntos están más unidos o cercanos determinado que el pH rige el comportamiento del modelo a diferencia del tiempo de retención, donde se puede observar que los puntos están mucho más alejados concluyendo que este factor no rige el comportamiento del modelo.

*Ilustración (13): Gráficos de dispersión.*





*Fuente: Los Autores.*

### 3.2.3. PRUEBAS DE RANGOS MÚLTIPLES:

Las pruebas realizadas sobre los rangos múltiples nos brindan la posibilidad de comparar las medias de los tratamientos y así constituir si hay discrepancia entre tratamientos, en este análisis se operó el método de la diferencia mínima significativa o también conocida como LSD (Fisher).

- **Rendimiento por pH:**

Prueba de los rangos múltiples, método LSD (Fisher), grupos homogéneos, factor pH.

*Tabla (25): Grupos homogéneos, prueba de rango múltiple LSD, factor pH.*

<i>pH</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6,5	9	24,2011	2,80871	X
7,1	9	35,6022	2,80871	X

*Fuente: Los Autores.*

Prueba de los rangos múltiples, método LSD (Fisher), diferencia significativa entre niveles, factor pH.

*Tabla (26): Diferencia significativa entre niveles, prueba de rango múltiple LSD, factor pH.*

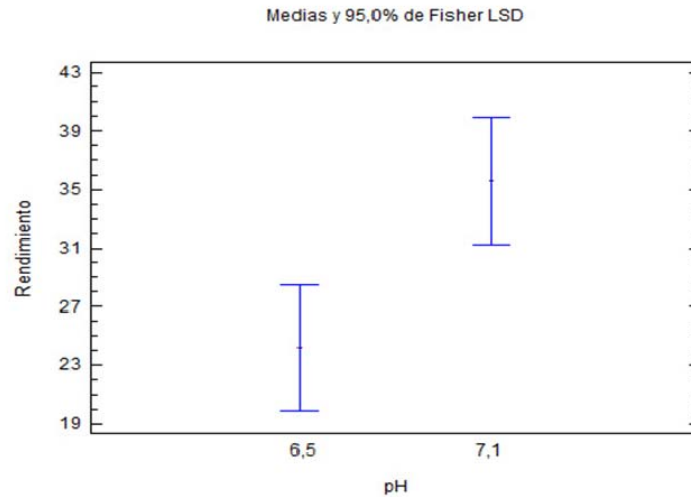
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+ / - Limites</i>
6,5 - 7,1	*	<b>-11,4011</b>	8,65453

*Fuente: Los Autores.*

Debido a la formación de las X's, constan dos grupos diferentes o heterogéneos que corresponde a los diferentes pH's 6,5 y 7,1.

La diferencia entre 6,5 – 7,1 es significativa.

**Ilustración (14):** Grafico de medias y 95% de Fisher LSD, factor pH.



*Fuente:* Los Autores.

Elaborando una comparación visual podemos observar que:

$$6,5 \neq 7,1$$

Con lo que podemos constituir que el mayor rendimiento de remoción se consigue con un pH de 7,1.

- **Rendimiento por Tiempo de Retención:**

Según la prueba de LSD (Fisher) para el factor tiempo de retención se evidenció que no hay diferencias significativas entre los diferentes niveles 10-20, 10-30, 20-30 por este motivo no se incluyó el estudio estadístico de este factor.

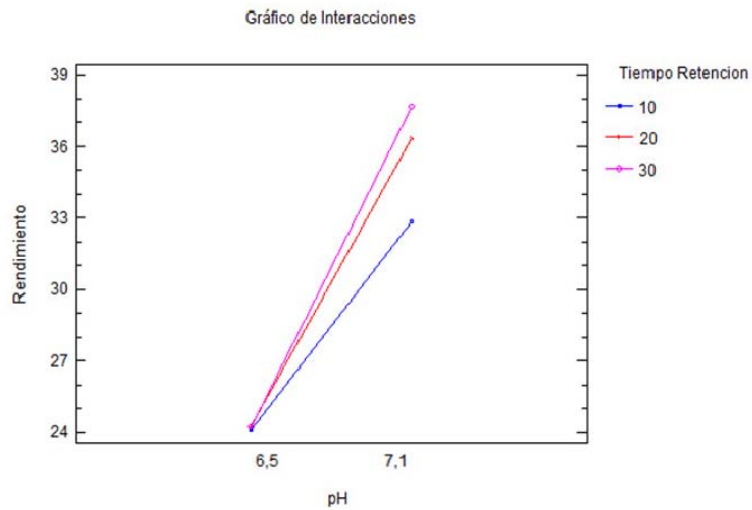
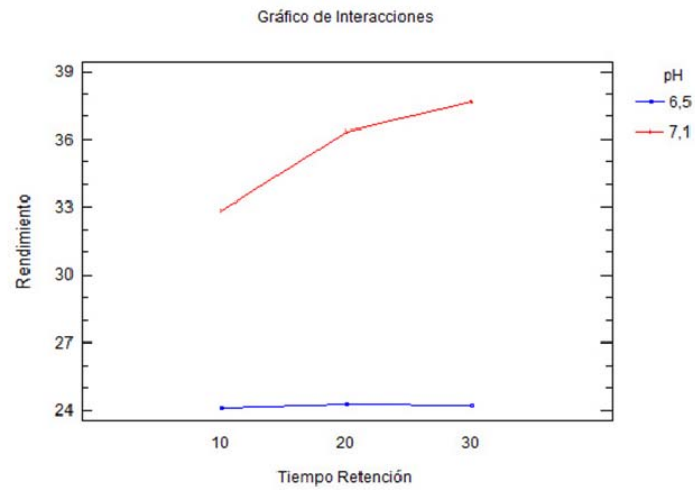
### 3.2.4. ANÁLISIS DE LOS GRÁFICOS DE INTERACCIÓN:

Las gráficas de interacción de los factores, es decir el cambio del pH sobre el tiempo de retención y viceversa.



Esta gráfica muestra que el máximo rendimiento de retención de cadmio es mayor cuando se utiliza un pH de 7,1 y un tiempo de retención de 30 minutos, por lo que se concluye que esta es la interacción que mayores beneficios o resultados se obtienen, como se puede apreciar en las siguientes dos gráficas.

**Ilustración (15):** Gráfico de interacciones



**Fuente:** Los Autores.

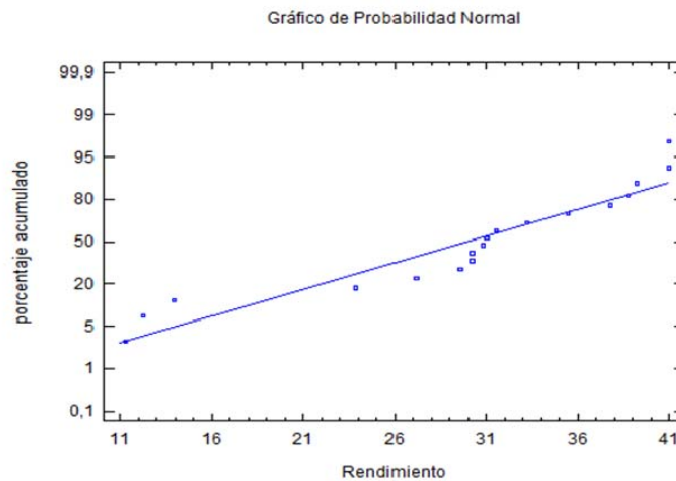
### 3.2.5. VERIFICACIÓN DE LOS SUPUESTOS DEL MODELO:

Para corroborar los resultados emanados del análisis del ANOVA es preciso que los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia del modelo se cumplan.

#### 3.2.5.1. SUPUESTO DE NORMALIDAD:

La normalidad es un método gráfico para determinar si los datos muestrales se ajustan a una distribución establecida, para que la distribución normal sea apropiada los datos o residuos se colocarán aproximadamente a lo largo de la línea recta, esto no debe ser a la perfección, si los puntos se desalinean de modo significativo de una línea recta, entonces el modelo no es el apropiado.

*Ilustración (16): Gráfico de probabilidad normal.*



*Fuente: Los Autores.*

Como observamos en el gráfico notamos que se cumple el supuesto de normalidad, a excepción de algunos puntos inusuales que se presentan en el gráfico, pero que no son significativos.

### 3.2.5.2. SUPUESTO DE VARIANZA CONSTANTE:

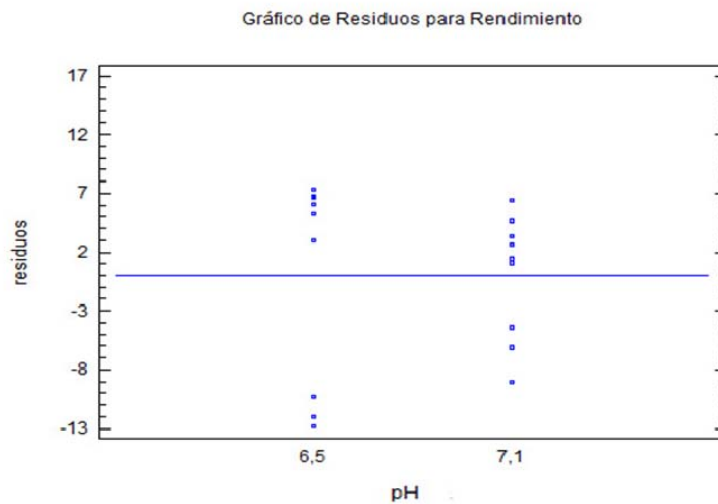
#### 3.2.5.2.1. RESIDUOS VS. NIVELES DE FACTOR:

Para analizar estos gráficos se deben establecer la presencia de los siguientes ítems:

Puntos Aberrantes: residuos atípicos, esto es, colocados a una distancia considerable de los demás residuos.

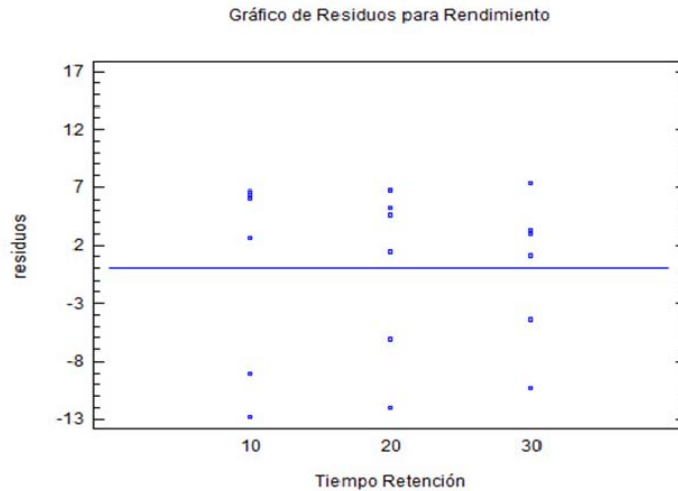
Heterocedasticidad: Cambios en la varianza, lo que se refleja en un aspecto de embudo sobre el gráfico: tiene que ser así deben realizarse cambios sobre las variables originales.

*Ilustración (17): Gráfico de residuos vs factor pH.*



*Fuente: Los Autores.*

**Ilustración (18):** Gráfico de residuos vs factor tiempo de retención.



*Fuente:* Los Autores.

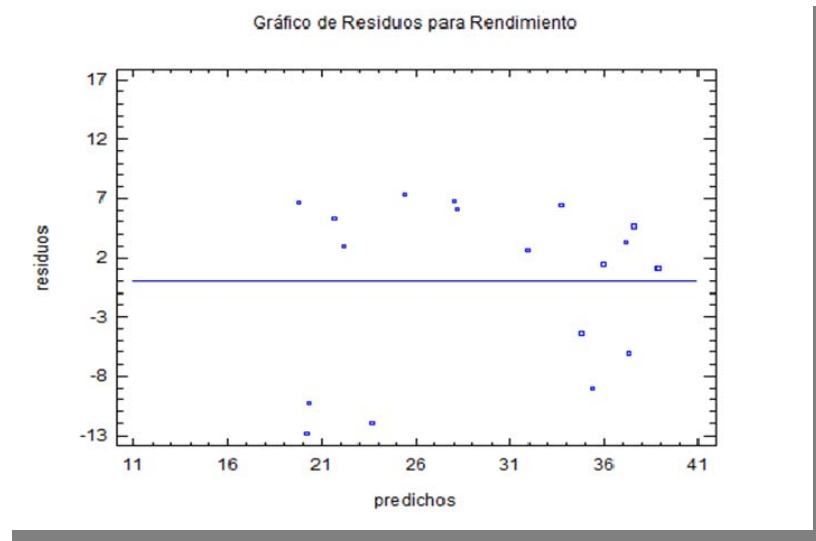
Como se observan en ambos gráficos, no se determinan valores atípicos o anómalos claros, o establecer algún cambio en la varianza (heterocedasticidad) ya que tampoco se acoge a un aspecto de embudo en los puntos. Asumiendo que se cumple el supuesto.

### 3.2.5.2.2. RESIDUOS VS. PREDICHOS:

Este gráfico revela si existe una correlación no lineal entre X - Y (hipótesis de linealidad) y también si la varianza de los residuos es constante (hipótesis de homoscedasticidad).

Lo correcto sería que la nube de puntos del gráfico estuviese con un conjunto de números aleatorios, es decir que no se observe ninguna tendencia en los puntos.

**Ilustración (19):** Gráfico de residuos vs predichos.



**Fuente:** Los Autores.

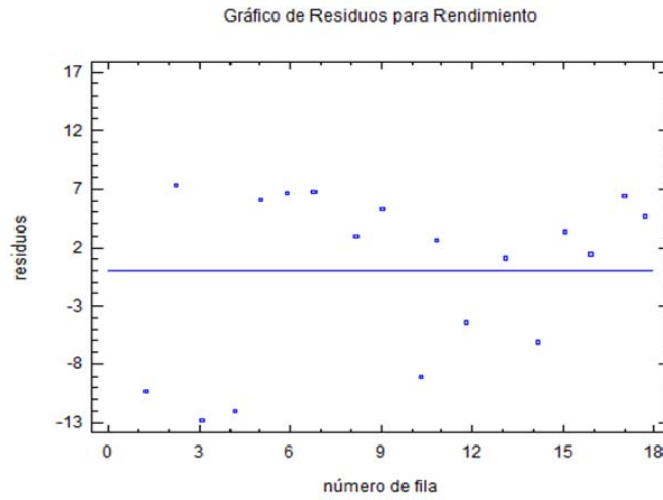
De acuerdo con esta gráfica, podemos observar que no existe una tendencia definida de puntos alrededor de la línea central del gráfico, por lo que concluimos que las varianzas son iguales para todos los tratamientos y los datos satisfacen las hipótesis de linealidad.

### 3.2.5.3. SUPUESTO DE INDEPENDENCIA:

La siguiente gráfica es de los residuos contra el número de fila de las observaciones de la variable dependiente en el fichero de datos. Este gráfico identifica la autorelación de los residuos.

Lo correcto (no autorelación) sería que la nube de puntos del gráfico fuese un conjunto de números aleatorios, es decir que no se observe ninguna tendencia en los puntos.

**Ilustración (20):** Gráfico de independencia



**Fuente:** Los Autores.

Según el gráfico los puntos no siguen tendencia alguna, esto quiere decir que forman un conjunto de números aleatorios, o sea que no existe autorelación de los residuos. Por lo que el supuesto se cumple.

#### **CAPÍTULO IV**

#### **4. CONCLUSIONES:**

- *Según los resultados logrados con el método de biosorción, los tallos de rosas tienen una capacidad de remoción máxima del 41% para Cd a un pH 7,1. Esta capacidad de adsorción es obtenida a los 20 minutos de retención a un caudal de 19,5 <sup>cc</sup>/<sub>s</sub>, con una granulometría entre 0,5 mm – 1 mm.*
- *Los modelos de Langmuir como el modelo de Freundlich se ajustan positivamente para describir las isotermas de biosorción del sistema (0,862 y 0,839 respectivamente). El modelo de Langmuir presenta mayor linealidad y obtenemos un valor de  $q_{max}$  ( $q_{max}= 55,55$  mg Cd/g), que es superior a otros valores de  $q_{max}$  de otras biomásas utilizadas como biosorbentes.*
- *El modelo estadístico empleado en esta investigación nos indica que el factor del pH influye directamente en la variabilidad del rendimiento, resultando este ser el factor que define la capacidad de remoción del biosorbente.*
- *El uso de los tallos de rosas como biosorbentes de metales pesados, nos brindan una alternativa práctica y efectiva ante las técnicas ya existentes para el tratamiento de metales pesados caracterizados por su alta toxicidad hacia el hombre y el medio, porque resultan de fácil implementación, ya que a la mayor cantidad de los tallos de flores se los rechaza y una mínima parte va a la fabricación de compost, además son abundantes en nuestro medio, de fácil preservación, transporte y utilización.*
- *Estos resultados nos estimulan a profundizar en investigaciones sobre el uso de tallos de flores como biosorbentes, ahondando la investigación en otros tipos de flores y analizar su capacidad de biosorción con otros metales.*

## **CAPÍTULO V**

### **5. RECOMENDACIONES:**

- *Recomendaríamos que se continúen analizando otros elementos como por ejemplo la granulometría de medio adsorbente.*
- *Al realizar el análisis de la capacidad de adsorción, se recomienda variar la cantidad de las concentraciones de las soluciones iniciales y no modificar la cantidad de masa, ya que este experimento se debe realizar en las mismas condiciones, al variar la masa se originan problemas en lo que concierne a la agitación de la solución con la biomasa.*
- *Al realizar el molido de los tallos secos, se recomienda utilizar un molino de cribas o martillos, ya que éstos ahorran tiempo y la peculiaridad del producto final es más homogénea.*
- *Cuando se proceda a realizar una investigación es importante conocer la instrumentación que se requiere para establecer los recursos económicos necesarios y no tener un desfase de los mismos.*
- *Cuando se esté trabajando este tipo de factores hay que considerar las características químicas de los elementos que tenemos en la solución, porque a ciertos pH's pueden crear alguna reacción química.*




## ***ANEXOS***

## ***ANEXO A***

### ***Resultados de los análisis de laboratorio realizado por ETAPA***

“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2012/06/12

INFORME N°: 297/12

**CLIENTE**

NOMBRE: SR. JORGE LUIS ORDOÑEZ  
 DIRECCIÓN: Ricaurte sector El Tablón, calle Florida

**MUESTRA**


CODIGO: 297/01/12  
 DESCRIPCIÓN: Agua de pruebas de laboratorio  
 PROCEDENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2012/06/05  
 ENTREGADAS POR: Sr. Jorge Luis Ordóñez

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	PRUEBAS DE LABORATORIO 297/01/12
CADMIO	PEE/LS/AI/02	2012/06/07	µg/l	400125

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA NACIONAL DE TALLERES Y SERVICIOS INDUSTRIALES, ELÉCTRICOS Y SANEAMIENTO</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2012/08/17

INFORME N°: 398/12

**CLIENTE**

NOMBRE: Sr. Jorge Luis Ordoñez  
 DIRECCIÓN: Ricaurte, sector el Tablón calle la Florida - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 398/01-03/12  
 DESCRIPCIÓN: Agua de laboratorio (experimento)  
 PROCEDENCIA: Laboratorio  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2012/08/01  
 ENTREGADAS POR: Sr. Jorge Luis Ordoñez

**RESULTADOS**

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Muestra madre 398/01/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	139568


PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Muestra madre 2 398/02/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	130020

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Muestra madre 3 398/03/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	119020

SM: STANDARD METHODS, Edición 22


PARÁMETRO	CADMIO
INCERTIDUMBRE	3.5 µg/l (95 % k= 1.96)

Atentamente,

  
 Dra. Rocío Tenorio Torres  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO (E)

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

“Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales”

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA MUNICIPAL DE SANEAMIENTO DE LA PROVINCIA DE CUENCA</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 2
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2012/08/17

INFORME N°: 397/12

**CLIENTE**

NOMBRE: Sr. Jorge Luis Ordoñez  
DIRECCIÓN: Ricaurte, sector el Tablón calle La Florida - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 397/01-27/12  
DESCRIPCIÓN: Agua de laboratorio (experimento)  
PROCEDECENCIA: Laboratorio  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2012/08/01  
ENTREGADAS POR: Sr. Jorge Luis Ordoñez

**RESULTADOS**

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/01/12	397/02/12	397/03/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	23.1	21.1	29.4
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	99022	90717	86812

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/04/12	397/05/12	397/06/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	26.5	24.4	30.1
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	83919	79662	76747

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/07/12	397/08/12	397/09/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	30	30.6	26.2
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	790002	76725	80905

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/10/12	397/11/12	397/12/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	21.7	18.1	19.6
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	122430	123750	120120

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/13/12	397/14/12	397/15/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	23.1	25.7	24.5
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	95590	97262	96283

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/16/12	397/17/12	397/18/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	30.2	28.5	27.1
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	96580	98285	101629

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

"Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales"

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA NACIONAL DE TRATAMIENTO Y CONTROL DE AGUAS RESIDUALES</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 2 de 2
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/19/12	397/20/12	397/21/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	32.6	30.8	30.2
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	52272	53988	47542

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/22/12	397/23/12	397/24/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	30.4	29.5	27.8
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	48686	48587	46376

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	397/25/12	397/26/12	397/27/12
TURBIEDAD	SM 2130 B	2012/08/01	NTU	26.9	27	27.8
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/08/07	µg/l	40040	41272	41030

SM: STANDARD METHODS, Edición 22


397/01/12: Muestra 1.1.1 tiempo de retención 10 min.  
 397/02/12: Muestra 2.1.1 tiempo de retención 20 min.  
 397/03/12: Muestra 3.1.1 tiempo de retención 30 min.  
 397/04/12: Muestra 1.1.2 tiempo de retención 10 min.  
 397/05/12: Muestra 2.1.2 tiempo de retención 20 min.  
 397/06/12: Muestra 3.1.3 tiempo de retención 30 min.  
 397/07/12: Muestra 1.1.3 tiempo de retención 10 min.  
 397/08/12: Muestra 2.1.3 tiempo de retención 20 min.  
 397/09/12: Muestra 3.1.2 tiempo de retención 30 min.  
 397/10/12: Muestra 1 tiempo de retención 10 min.  
 397/11/12: Muestra 2 tiempo de retención 20 min.  
 397/12/12: Muestra 3 tiempo de retención 30 min.  
 397/13/12: Muestra 3.1 tiempo de retención 30 min.  
 397/14/12: Muestra 1.1 tiempo de retención 10 min.  
 397/15/12: Muestra 2.1 tiempo de retención 20 min.  
 397/16/12: Muestra 1.2 tiempo de retención 10 min.  
 397/17/12: Muestra 2.2 tiempo de retención 20 min.  
 397/18/12: Muestra 3.2 tiempo de retención 30 min.  
 397/19/12: Muestra 1.3.1 tiempo de retención 10 min.  
 397/20/12: Muestra 2.3.1 tiempo de retención 20 min.  
 397/21/12: Muestra 3.3.1 tiempo de retención 30 min.  
 397/22/12: Muestra 1.3.2 tiempo de retención 10 min.  
 397/23/12: Muestra 2.3.2 tiempo de retención 20 min.  
 397/24/12: Muestra 3.3.2 tiempo de retención 30 min.  
 397/25/12: Muestra 1.3.3 tiempo de retención 10 min.  
 397/26/12: Muestra 2.3.3 tiempo de retención 20 min.  
 397/27/12: Muestra 3.3.3 tiempo de retención 30 min.

Atentamente,

  
 Dra. Rocio Tenorio Torres  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO (E)

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

"Estudio Del Aprovechamiento De Residuos Orgánicos De Cultivos De Flores (Tallos De Rosa)  
Como Biosorbente De Cadmio Para El Tratamiento De Aguas Residuales"

 <b>ETAPA</b> <small>ENTIDAD TERCER SECTOR DE LA CIUDAD DE CUENCA</small> <b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
---	----------------------------------	---------------

FECHA: 2012/11/28

INFORME Nº: 668/12

**CLIENTE**

NOMBRE: SR. JORGE ORDOÑEZ  
DIRECCIÓN: Ricaurte sector El Tablon - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 668/01-06/12  
DESCRIPCIÓN: Pruebas de laboratorio  
PROCEDENCIA: Universidad Politécnica  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2012/11/15  
ENTREGADAS POR: Sr. Jorge Ordóñez

RESULTADOS

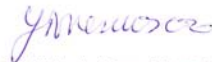
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	MUESTRA MADRE 668/01/12	MUESTRA 1 5 gr. 668/02/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/11/20	µg/l	905740	788590

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	MUESTRA 2 10 gr. 668/03/12	MUESTRA 3 15 gr. 668/04/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/11/20	µg/l	575300	438130

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	MUESTRA 4 20 gr. 668/05/12	MUESTRA 5 25 gr. 668/06/12
CADMIO	SM/3120/ICP	2012/11/20	µg/l	403040	334730

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



## **ANEXO B**

**Fotografía (1,0):** Tallos de rosas recolectados de las distintas florerías de la ciudad de Cuenca.



**Fuente:** Los autores.

**Fotografía (1,1):** Florerías del sector del Cementerio Municipal de la ciudad de Cuenca, donde se obtuvo la mayor cantidad de la biomasa utilizada.



**Fuente:** Los autores.



## **ANEXO C**

### ***Preparación de la biomasa (tallos de rosa).***

***Fotografía (1,2): Molido de los tallos de rosa***



***Fuente: Los autores.***

***Fotografía (1,3): Tamizado de los tallos de rosa, para obtener la granulometría deseada***



***Fuente: Los autores.***

***Fotografía (1,4):*** Secado de la biomasa, previo a la experimentación.



***Fuente:*** Los autores.

## ANEXO D

### Reactivos.

*Fotografía (1,5): Nitrato de cadmio, empleado para la preparación de la solución.*



*Fuente: Los autores.*

*Fotografía (1,6): Reactivos utilizados para regular el pH.*



*Fuente: Los autores.*

**Fotografía (1,7):** Solución de  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ .



**Fuente:** Los autores.

## ***ANEXO E***

### ***Equipos.***

***Fotografía (1,8): Tamices del equipo testingsteveshaker” modelo DTI68.***



***Fuente: Los autores.***

***Fotografía (1,9): Equipo testingsteveshaker” modelo DTI68.***



***Fuente: Los autores.***

**Fotografía (2,0):** Peachímetro utilizado.



**Fuente:** Los autores.

**Fotografía (2,1):** Tiras para medir el pH.



**Fuente:** Los autores.



**Fotografía (2,2): Balanza analítica.**



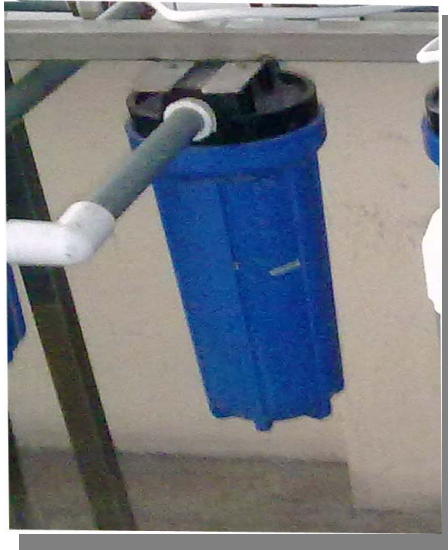
**Fuente: Los autores.**

**Fotografía (2,3): Balanza.**



**Fuente: Los autores.**

**Fotografía (2,2):** Columna de filtración.



*Fuente: Los autores.*

**Fotografía (2,4):** Filtros de malla metálica, adentro los forros de organza.



*Fuente: Los autores.*



**Fotografía (2,5):** Frascos estériles, vaso de precipitación, balón de aforo.



**Fuente:** Los autores.

## REFERENCIAS

- A. TOMAS-CAMPOCOSIO, S. E.-C.-I.-R. (2000). *Biosorción de Metales Pesados*. Mexico.D.F.: Univ. Autonoma Metropolitana-Iztapalapa, Depto. de Biotecnología.
- ALAMI, S. D. (2010). *Aprovechamiento de Hueso de Aceituna (Biosorción de Iones Metalicos)*.Universidad de Granada .
- AL-ASHEH S., D. Z. (1998). *Binary Metal Sorption by Pine Bark: Study of Equilibria and Mechanisms*. U.S.A.: Separation Science and Technology.
- Babel S., K. T. (2003). *Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review*. Journal of Hazardous Materials.
- BAILEY S. E., O. T. (1999). *A review of potentially low-cost sorbents*. En O. T. BAILEY S. E., *A review of potentially low-cost sorbents* Vol. 33(11) (págs. 2469-2479).
- BAILEY, S. (1999). *A Review of Potentially Low Cost Sorbents for Heavy Metals Water Reserch*. USA : Et Altri, VOL 33 .
- BAILEY, S. (1999). *A Review of Potentially Lowcost Sorbents for Heavy Metals*. En S. BAILEY, *A Review of Potentially Lowcost Sorbents for Heavy Metals* (págs. 2469-2479). USA: Water Research VOL. 33, No. 11.
- BENGUELLA B., B. H. (2003). *Cadmium removal from aqueous solutions by chitin: kinetic and equilibrium studies*.U.S.A: Water Research.Vol. 37.
- CASTILLO BOROPIO, S. (2004). *Reutilización de raspo procedente de la industria vinícola para la extracción de metales en efluentes líquidos*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- CAZÓN, J. P. (2012). *Remoción de Metales Pesados Empleando Algas Marinas*. La Plata: Universidad Nacional De La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química.
- CHRISTIAN LARENAS URÍA, A. D. (2010). *Estudio Isotérmico de Biosorción de Plomo en Aguas Utilizando Residuos Vegetales*. La Granja , 4-5.
- DAVIS T. A., V. B. (2003). *A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae*. Water Research Vol. 37.

EDNA Lilian , SÁNCHEZ T, M. T. (2008). *estudio cinético e isothermas de adsorción de ni (ii) y zn (ii) utilizado biomasa del alga chlorella sp. Inmovilizada*. Mexico: Ciencia Uanl/VOL.XI No. 2, Abril-Junio 2008.

ESCUSA, V. (2004 ). *Removal of Copper and Niquel Ions from Aqueous Solutions by Grape Stalks Wasteds. En Removal of Copper and Niquel Ions from Aqueous SOLUTIONS by Grape Stalks Wasteds*.(págs. 992-1002). USA .

FIOL N., V. I. (2001). *Adsorció de Cu(II) i Pb(II) de dissolucions aquoses amb*. Gerona.

FRÍAS-ESPERICUETA, M. O.-L.-F.-J. (2010). *Cadmio y Plomo en Organismos de Importancia Comercial de la Zona Costera de Sinaloa*. Mexico: Cicimar Oceanides.

GONZALES, M. (15 de noviembre de 2010). [quimica.laguia2000.com](http://quimica.laguia2000.com). Recuperado el 7 de diciembre de 2012, de <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/electrodialisis>

INDUSTRIALES-UVA, E. D. (2012). <http://www.eii.uva.es/>. Recuperado el 5 de diciembre de 2012, de <http://www.eii.uva.es/>: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pvc/obtencion.html>

M., F. (1989). *Cadmium chemicals*. New York: International Lead Zinc Research Organization, Inc.

MARTELLI A, E. R. (2006). *Cadmium Toxicity in Animal Cells by Interface Whittessential Metals Biochimie*.

MASKEW, F. G. (1993). *Purificacion de Aguas y Tratamiento y Remocion de Aguas Residuales*. Mexico: Limusa S.A. Mexico D.F. Novena Edicion Volumen III.

PERILLO, D. M. (2007). *Biofisica Quimica* . Cordoba, Argentina : Facultad de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales de la Universidad Nacional de Cordova.

REQUEIJO, D. y. (2002 ). *Quimica* .

SCHNOOR, P. S. (2003). *Phytoremediation- Transformation and Control of contaminants. En Phytoremediation- Transformation and Control of contaminants*. (pág. 987). New Jersey. USA : Dans Wiley-interscience, Inc.

STEVENEL, M. F. (2005). *Remocion de Metales Pesados en Aguas Residuales Industriales por la Tecnica De Precipitacion Alcalina*. Cholula, Puebla, Mexico: Universidad de Puebla .

TORRES, M. M. (2007). *Remocion de Metales Pesados en Aguas Residuales Utilizando la Macrofilia Acuatica (elegcharis acicularis muerta)*. Mexico: Universidad Autonoma de Queretaro .

TORRES, S. (2009). *Estudio del Aprovechamiento del Lechuguín Eichhornia Crassipes, del Embalse de la Represa Daniel Palacios como Biosorbente de Metales Pesados en el Tratamiento de Aguas Residuales*. Cuenca-Ecuador .

VEGLIO, F. B. (1997). *Removal of Metals by Biosorption a Review Hidrometallurgy* . U.S.A.

VILLANUEVA, C. (2007). *Biosorción de cobre (ii) por biomasa pretratada de cáscara de citrus sinensis (naranja, citrus limonium (limón) y opuntia ficus (palmeta de nopal)*.Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

VOLESK, B. (2001). *Destoxification of Metal Bearing Effluents Biosorption for the Next Centoy Hidrometallrgy*. En B. VOLESK, *Destoxification of Metal Bearing Effluents Biosorption for the Next Centoy Hidrometallrgy* (págs. 203-216). USA.

<http://es.wikipedia.org>.

<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2004/mcs2004.pdf>.

<http://www.atsdr.cdc.gov>.

<http://www.catarina.udlap.mx>.

<http://www.es.scribd.com>.

<http://www.lenntech.es>.