

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental**



**TESIS**

**CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN MEDIO  
ACUOSO USANDO LA BORRA DE CAFÉ**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por la bachiller:**

**MARIBEL SILVA GOICOCHEA**

**Asesor:**

**Ing. M Cs. LÓPEZ AYLAS ADOLFO MÁXIMO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2021**

COPYRIGHT © 2021 by  
**MARIBEL SILVA GOICOCHEA**  
Todos los derechos reservados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

"Norte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

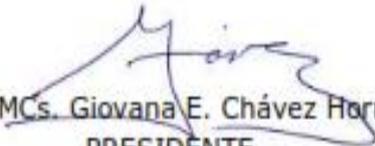
-----000-----

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

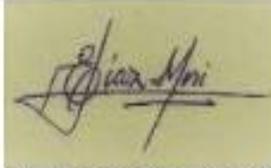
En la ciudad de Celendín, a los seis días del mes de julio del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 090-2021-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN MEDIO ACUOSO USANDO LA BORRA DEL CAFÉ**", ejecutado(a) por la Bachiller en Ciencias Ambientales, doña MARIBEL SILVA GOICOCHEA para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las veinte horas y cinco minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la Aprobación por unanimidad con el calificativo de Dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

A las veintiún horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

  
Ing. MCs. Giovana E. Chávez Horna  
PRESIDENTE

  
Ing. Jorge Lezama Bueno  
VOCAL

  
Ing. MCs. Edgar Darwin Díaz Mori  
SECRETARIO

  
Ing. MCs. Adolfo M. López Aylas  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo mi padre Alcides Silva, quién, aunque no se encuentra presente físicamente, siempre me brindo apoyo y confianza para seguir mis ideales.

A mi madre Elvia Goicochea quién con su amor, enseñanzas, hábitos, impulsos, valores y apoyo incondicional ha logrado que mejore como persona y pueda cumplir mis metas, incluso en los momentos más difíciles.

Dedico esta tesis a mis hermanos Manuel, Sonia y Salomé, por su cariño incondicional y motivación constante.

A mis tíos, docentes y amigos en general por su confianza brindada y soporte desde el inicio hasta la culminación del presente trabajo de investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres que me han apoyado desde los inicios de mi etapa estudiantil, hasta mi formación general.

Agradezco a mis hermanos, personas trabajadoras y luchadoras por la vida que en el día a día con su presencia, respaldo y cariño me impulsan para seguir adelante.

Agradezco al Ing. Lezama Bueno y al Ing. M.Cs. López Aylas quienes me guiaron desde un inicio y me dieron la oportunidad de concluir satisfactoriamente mi tesis; a mis docentes en general quienes han cumplido un papel fundamental en mi formación académica.

Agradezco también a mis tíos Marybel y Roger, por no rendirse e impulsarme en la realización de la presente investigación.

Asimismo, agradezco a la Sra, Margarita, el Sr. Nicolás y a sus hijos por brindarme su cariño y apoyo cada vez que lo he necesitado.

Agradezco a “Fran” por transitar conmigo durante todas las etapas de mi vida, por todos tus “the beginning is the end”.

Doy gracias a la señora María Moreno y a Renzo Hinojosa no solo por estar presente, sino por su amor y respaldo, por haber estado conmigo incluso en momentos turbulentos y siempre motivándome, los quiero.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.1.1. Formulación del problema .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.2.3. Hipótesis .....	3
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS .....	6
2.2.1. Biosorción.....	6
2.2.1.1. Biosorbentes.....	7
2.2.1.2. Mecanismos de biosorción.....	7
2.2.1.3. Factores que influyen en el proceso de biosorción .....	9
2.2.2. Cromo .....	11
2.2.2.1. El cromo y sus aplicaciones .....	14
2.2.2.2. Toxicidad del cromo .....	14
2.2.3. Borra de café.....	15
2.2.4. Cuantificación de cromo (VI) por espectrofotometría.....	16

2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	17
2.3.1.	Biosorción .....	17
2.3.2.	Borra de café .....	17
2.3.3.	Cromo .....	18
2.3.4.	Espectrofotometría de absorción ultravioleta .....	18
2.3.5.	Intercambio iónico .....	18
2.3.6.	Medio acuoso .....	18
2.3.7.	Potencial de hidrógeno (pH) .....	18
2.3.8.	Sorción .....	19
2.3.9.	Tamaño de partículas .....	19
	CAPÍTULO III.....	20
	MARCO METODOLÓGICO.....	20
3.1.	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
3.2.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.2.1.	Material experimental .....	22
3.2.2.	Variables .....	23
3.2.3.	Diseño de la investigación .....	23
3.2.4.	Procedimiento .....	25
3.2.5.	Tratamiento y análisis de datos.....	34
3.2.3.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.2.3.2.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos .....	35
3.2.6.	Matriz de consistencia .....	36
	CAPÍTULO IV .....	37
	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
4.1.	CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ .....	37
4.2.	EFICIENCIA DEL TIEMPO DE CONTACTO DE LA BORRA DE CAFÉ (EFECTO PRINCIPAL A) .....	40

4.3. EFICIENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE METAL (EFECTO PRINCIPAL B).....	42
4.4. EFICIENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE BORRA DE CAFÉ (EFECTO PRINCIPAL C) .....	45
CAPÍTULO V.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
5.1. CONCLUSIONES .....	47
5.2. RECOMENDACIONES.....	47
CAPÍTULO VI .....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
CAPÍTULO VII.....	54
ANEXOS .....	54
ANEXO 1. Características fisicoquímicas de la borra de café .....	55
ANEXO 2. Verificación de la longitud de onda.....	57
ANEXO 3. Curvas de calibración o soluciones de calibración .....	58
ANEXO 4. Parámetros de estandarización para el método espectrofotométrico .....	65
ANEXO 5. Panel Fotográfico .....	67
ANEXO 6. Ensayos de laboratorio .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del cromo .....	12
Tabla 2. Principales compuestos de cromo .....	12
Tabla 3. Principales constituyentes del grano de café (% en materia seca) .....	16
Tabla 4. Diseño experimental factorial.....	24
Tabla 5. Concentraciones para la curva de calibración de 10ppm y 50ppm .....	29
Tabla 6. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente (Cr VI) usando la borra de café .....	37
Tabla 7. Análisis de varianza.....	39
Tabla 8. Prueba de Duncan.....	40
Tabla 9. Remoción de cromo (VI) con relación al tiempo de contacto.....	42
Tabla 10. Remoción de cromo (VI) con relación a la concentración de metal .....	44
Tabla 11. Remoción de cromo (VI) con relación al tamaño de partícula.....	46
Tabla 12. Pendientes y coeficientes de correlación ( $r^2$ ) de las curvas de calibración ....	58
Tabla 13. Curva de calibración de 10 ppm – Primera repetición .....	59
Tabla 14. Curva de calibración de 50 ppm – Primera repetición .....	60
Tabla 15. Curva de calibración de 10 ppm – Segunda repetición .....	61
Tabla 16. Curva de calibración de 50 ppm – segunda repetición.....	62
Tabla 17. Curva de calibración de 10 ppm – tercera repetición .....	63
Tabla 18. Curva de calibración de 10 ppm – tercera repetición .....	64
Tabla 19. Límite de detección y cuantificación para las curvas de 10 ppm y 50 ppm...	65
Tabla 20. Absorbancias y análisis estadístico de la curva de calibración de 10 ppm ....	66
Tabla 21. Absorbancias y análisis estadístico de la curva de calibración de 50 ppm ....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fenómeno básico de la adsorción. ....	9
Figura 2. Especies de Cr VI dependiendo del pH.....	13
Figura 3. Relación de oxidación de difenilcarbazida. ....	16
Figura 4. Complejación de la difenilcarbazona con Cr <sup>3+</sup> .....	17
Figura 5. Ubicación del área de investigación.....	21
Figura 6. Croquis con la distribución de los tratamientos .....	25
Figura 7. Medición de pH para la borra de café .....	25
Figura 8. Determinación de humedad en la borra de café .....	26
Figura 9. Solución madre de Cromo VI .....	27
Figura 10. Reactivo de dicromato de potasio .....	27
Figura 11. Preparación de difenilcarbazida 5mg/L .....	28
Figura 12. Curva de calibración de 10 ppm.....	29
Figura 13. Curva de calibración de 50 ppm.....	29
Figura 14. Pretratamiento de la borra de café en baño María.....	30
Figura 15. Secado de la borra de café.....	31
Figura 16. Selección de los tamaños de partícula de borra de café .....	31
Figura 17. Mezcla del reactivo con la borra de café.....	32
Figura 18. Ajuste de pH.....	32
Figura 19. Filtrado de la solución.....	32
Figura 20. Medición de pH después del tratamiento .....	33
Figura 21. Lecturas de absorbancia a 540nm .....	33
Figura 22. Colocación de soluciones en celdas fotométricas .....	33
Figura 23. Etapas de la fase experimental de biosorción de cromo hexavalente (Cr VI)34	

Figura 24. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente (Cr VI).....	38
Figura 25. Orden de méritos de los tratamientos.....	40
Figura 26. Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cromo VI.....	41
Figura 27. Efecto del tiempo de contacto en el proceso de biosorción .....	42
Figura 28. Efecto de la concentración de metal en la remoción de cromo VI.....	43
Figura 29. Eficiencia de la concentración de metal en el proceso de biosorción .....	44
Figura 30. Efecto del número de Tamiz en la remoción de cromo VI .....	45
Figura 31. Eficiencia del tamaño de partícula de borra de café en el proceso de biosorción .....	46
Figura 32. Valores de humedad en la borra de café previo al proceso de biosorción ....	55
Figura 33. Valores de pH en muestras de borra de café previo al proceso de biosorción .....	55
Figura 34. Valores de pH en los tratamientos durante el proceso de biosorción .....	56
Figura 35. Barrido espectrofotométrico de 450nm a 750nm para curva de 10ppm .....	57
Figura 36. Barrido espectrofotométrico de 450nm a 750nm para curva de 50ppm .....	57
Figura 37. Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Primera repetición.....	59
Figura 38. Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Primera repetición.....	60
Figura 39. Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Segunda repetición.....	61
Figura 40. Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Segunda repetición.....	62
Figura 41. Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Tercera repetición .....	63
Figura 42. Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Tercera repetición .....	64
Figura 43. Regulación de pH.....	67
Figura 44. Preparación de reactivos .....	67
Figura 45. Secado de la borra de café.....	67
Figura 46. Determinación de Humedad.....	67
Figura 47. Preparación de Cr VI.....	67

Figura 48. Pesado de $K_2Cr_2O_7$ .....	67
Figura 49. Solución estándar de 10 ppm .....	68
Figura 50. Solución estándar de 50 ppm .....	68
Figura 51. Curva de calibración de 50 ppm.....	68
Figura 52. Curvas de calibración de 10 ppm .....	68
Figura 53. Filtrado de muestras .....	68
Figura 54. Soluciones para la medición de longitud de onda.....	68
Figura 55. Toma de alícuotas de Cr VI .....	69
Figura 56. Lecturas en espectrofotómetro a 540nm .....	69
Figura 57. Tamizado de borra de café .....	69
Figura 58. Trituración de borra de café .....	69
Figura 59. Filtrado de muestras .....	69
Figura 60. Filtrado de muestras .....	69

## RESUMEN

En la presente investigación se utilizó la borra de café con la finalidad de determinar la remoción de cromo hexavalente (Cr VI) en medio acuoso, utilizando como fuente de cromo al dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Para los ensayos se utilizó un arreglo factorial de 3 factores de 2 niveles por cada factor triplicado, los factores utilizados fueron el tiempo de contacto de 30 y 90 min, la concentración de metal de 10 y 50 ppm y el número de partícula a través de los tamices N° 10 y N° 100. Esta investigación se manejó bajo condiciones de pH ácido, agitación constante y utilizando 1g de borra de café. Se obtuvo como resultado un 97.79% de remoción, indicando que la borra de café es eficiente en el proceso de biosorción. Además, se pudo concluir que se requiere como mínimo 30 minutos de contacto para lograr un buen porcentaje de remoción de hasta 95%; se obtuvieron mejores resultados a concentraciones de 50 ppm con un porcentaje de remoción mayor al 90% y en cuanto al tamaño de partícula se observó el mismo nivel de eficiencia de remoción.

**Palabras clave:** Remoción, cromo hexavalente, borra de café, concentración, tiempo de contacto, tamiz.

## ABSTRACT

In the present investigation, coffee grounds were used to determine the removal of hexavalent chromium (Cr VI) in an aqueous medium, using potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ) as the chromium source. For the tests, a factorial arrangement of 3 factors of 2 levels for each triplicate factor was used, the factors used were the contact time of 30 and 90 min, the metal concentration of 10 and 50 ppm and the particle number through the N° 10 and N° 100 sieves. This research was carried out under acid pH conditions and constant agitation, using 1g of coffee grounds. As a result, a 97.79% removal rate was obtained, indicating that coffee grounds are efficient in the biosorption process. In addition, it was concluded that at least 30 minutes of contact is required to achieve a good percentage of removal of up to 95%; better results were obtained at concentrations of 50 ppm with a percentage of removal greater than 90%, and the same level of removal efficiency was observed for particle size.

**Key words:** removal, hexavalent chromium, coffee grounds, concentration, contact time, sieve.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas. Estos procesos de bioacumulación se deben, básicamente a la imposibilidad por parte del organismo afectado de mantener los niveles necesarios de eliminación del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior de este (Elinder 1994).

Entre estos metales, el cromo hexavalente es considerado un fuerte agente oxidante, fácilmente absorbido por la piel, los tejidos de plantas y animales; mostrando una fuerte capacidad para unirse a moléculas orgánicas, ocasionando daños en el cuerpo humano y en la cadena alimenticia (Armas y Guevara 2017).

Muchas metodologías han sido utilizadas como alternativas de tratamiento para la eliminación de metales pesados; investigaciones recientes se enfocan en la biosorción, considerada una tecnología limpia en la remoción de metales pesados, en especial de cromo hexavalente (Cr VI); sin embargo, resulta necesaria la realización de más investigaciones para lograr un mayor desarrollo y obtener procesos aplicables que sean económicamente viables (Jáuregui 2015).

Estos procesos de biosorción, utilizan biosorbentes que resultan no ser tóxicos y son biodegradables debido a que contienen polisacáridos, proteínas, lípidos y numerosos grupos funcionales capaces de remover metales pesados en soluciones acuosas. Además, tal como menciona Huallpa (2017), la biosorción resulta una tecnología de fácil acceso y bajo costo capaz de remover iones metálicos usando la materia biológica como: bacterias, algas, turba, lignina, residuos orgánicos, biomasa.

En ese sentido, es necesario realizar investigaciones para determinar la capacidad de biosorción de cromo hexavalente, haciendo uso de la borra de café, que en su mayoría es considerada como desecho o basura, conjuntamente se registraron las condiciones óptimas como pH, concentración de metal, tamaño de biosorbente, tiempo de contacto;

permitiendo analizar el potencial de dicha biosorción y generar información para futuros trabajos.

## **1.1. PROBLEMA**

La presencia de metales pesados debido al vertimiento en los ecosistemas, generan grandes daños, los cuales afectan la biota, calidad del suelo, aire y agua; constituyendo un problema grave de contaminación en especial por la presencia de estos en cuerpos acuáticos debido a la toxicidad intrínseca, bioacumulación y persistencia de dichos metales (Pabon y Rosas 2016).

Entre estos metales pesados se encuentra el cromo hexavalente, en su mayoría utilizado en procesos de galvanizado, curtido de pieles, producción de acero inoxidable, pinturas, fungicidas, entre otros. En este contexto nace la necesidad de emplear herramientas que permitan minimizar la concentración de cromo hexavalente (Cr VI) en el agua y generen un impacto ecológico mínimo, como en el caso de la biosorción (Sánchez 2008).

La biosorción viene a ser una metodología de bajo costo en dónde se utiliza y se pretende darles un segundo uso a los residuos, como en el caso de esta investigación a la borra de café para ser considerada como biosorbente de cromo hexavalente (Cr VI) en medio acuoso.

Por tal motivo, se pretende analizar a nivel de laboratorio la utilidad de la borra de café en el proceso de remoción de cromo hexavalente (Cr VI); con la finalidad de determinar mediante procesos experimentales la capacidad de biosorción de la borra de café como metodología alterna en la remoción de cromo.

### **1.1.1. Formulación del problema**

¿Cuál es la capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café a nivel de laboratorio.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del tiempo de contacto de la borra de café con el cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio.
- Analizar el efecto de la concentración del metal en el proceso de biosorción de cromo hexavalente usando borra de café en medio acuoso a nivel de laboratorio.
- Analizar el efecto del tamaño de grano de la borra de café en el proceso de biosorción de cromo en medio acuoso a nivel de laboratorio.

### **1.2.3. Hipótesis**

La borra de café tiene la capacidad de biosorber un 90% de cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Guerra y Meléndez (2009), evaluaron la adsorción de cromo hexavalente (Cr VI) en solución acuosa usando la broza de café mediante la espectrofotometría de absorción atómica, para ello utilizaron 5, 10 y 20 gramos de borra, el tiempo de contacto fue de 30 min y 120 min y el tamaño de partícula del tamiz N° 16 y N° 80. Como resultado obtuvieron que el mejor rendimiento de biosorción de Cr VI a concentración de 46.50 ppm se da a los 30 min, empleando una concentración de broza de 20 gramos y las partículas del Tamiz N° 16 con un porcentaje de remoción de 81.7%.

Angarita (2013), en su investigación evalúa la capacidad de la borra de café como biosorbente para la remoción de cromo trivalente (Cr III) en soluciones acuosas; para ello realizó ensayos a una temperatura constante de 20°C usando concentraciones de 20, 40, 60, 70, 80, 90 y 100 mg/L en un rango de pH de 2 a 4. Como conclusiones obtuvo un porcentaje de remoción entre el 68% y el 75%, dándose los mejores resultados a un pH de 2.84 y a concentraciones de 100 ppm de cromo.

Castro (2015), realizó estudios de la capacidad de biosorción de plomo divalente (Pb II) y cromo hexavalente (Cr VI) de aguas contaminadas con cáscara de banano deshidratado a través de espectrofotometría de infrarrojo; para ello hizo uso de dos parámetros: tamaño de partícula (845, 400 y 250µm) y cantidad de cáscara de banano (10, 15 y 20 mg/L), además durante el proceso evaluó el pH cada 8 horas. Finalmente obtuvo una remoción de hasta un 80% para plomo y 51.2% para cromo; siendo el rango de pH de 5.4 a 6.9. Además, determinó que el tamaño de partícula no influye en el proceso de biosorción.

Gálvez (2017), en su estudio de biosorción de cromo hexavalente (VI) usando cáscara de *Musa cavendishii* analiza la influencia de la temperatura (30, 40 y 60°C), el tiempo de residencia (30, 60 y 90 minutos) y la cantidad de cáscara deshidratada (4, 6, 8 g/L) mediante la técnica de volumetría. Como resultados obtuvo que la temperatura ideal es la de 60°C, en concentraciones de 8 g/L de sorbente y en un tiempo de 90 minutos; lográndose remover un 77% del cromo hexavalente (Cr VI).

Rodríguez (2017), en su investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de 3 variedades de cáscara de plátano (hartón, palillo e isla) para la remoción de cromo hexavalente (Cr VI) mediante espectrofotometría UV/VIS. Para ello empleó 5 gramos de biosorbente, un tamaño de partícula de 250 µm, en un periodo de 60 min, a una velocidad de agitación de 250 rpm y una concentración de 117 mg/L de Cr VI. Los resultados de remoción fueron de 50% para la cáscara de plátano isla, 54% para la variedad palillo y 62% para la variedad hartón, siendo este último el más eficiente.

Ramírez (2018), investigó la remoción de cromo hexavalente mediante el proceso de biosorción de inflorescencia de la quinua; para ello realizaron evaluaciones de concentración inicial (50, 100 y 150 ppm), tamaño de partícula, temperatura (20, 30 y 40°C), y pretratamiento ácido y básico; utilizando el método de espectrofotometría UV/VIS con difenilcarbazida. Finalmente obtuvo un porcentaje de remoción de 55.42% con un tamaño de partícula de 425-250 µm en un tiempo de 120 minutos, a una dosis de adsorbente de 0.5 gramos.

Araujo y Quispe (2018), realizaron la evaluación del proceso de adsorción de Cr (VI) haciendo uso de raspo de uva; mediante espectrofotometría UV/VIS. Las condiciones de experimentación se dieron a pH de 2 y 4, 0.5g y 1g de biosorbente y tamaño de partícula menor de 75-150 µm y mayor de 140-450 µm. Como conclusión obtuvo que las mejores condiciones de adsorción se dan a un pH de 2, con 1 gramo de raspo de uva y con un menor tamaño de partícula, obteniendo un 99.95% de adsorción.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Biosorción**

La bioadsorción o biosorción como es mejor conocida, se define como un proceso de concentración de sorbato, y donde el prefijo “bio” hace referencia a que el sorbente es de origen biológico. Este proceso está fundamentado en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta) a través de mecanismos fisicoquímicos; en el caso de metales pesados que se encuentran en disolución acuosa, consiste en la fijación de estos sobre la superficie de una determinada biomasa, esta interacción o unión puede ser adsorción física, química e intercambio de cationes, que se da entre los iones metálicos y los iones o protones de los grupos funcionales de la superficie de la biomasa (Cañizares 2000).

Según Angarita (2013), el proceso de biosorción involucra una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente el agua) que contiene el material que van a ser sorbido (sorbato, iones metálicos, compuestos orgánicos). Tal proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al sólido. La afinidad del sorbente por el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida.

La bioadsorción es un fenómeno físico mediante el cual, el sólido se adhiere a la superficie de materiales orgánicos inertes, este proceso se caracteriza, por la unión rápida y reversible de ciertos iones a la superficie del bioadsorbente. Es una tecnología alternativa, eficiente y de bajo costo para la remoción de metales pesados en afluentes acuosos, permitiendo la reutilización de residuos industriales o agrícolas (Miranda 2017).

Finalmente, Ramos (2010) menciona que el término biosorción, se ha empleado para describir el fenómeno de captación pasiva, de sustancias contaminantes, basado en la propiedad que ciertos tipos de biomazas inactivas o muertas poseen para enlazar y acumular diferentes tipos de contaminantes.

### **2.2.1.1. Biosorbentes**

Los biosorbentes o bioadsorbentes son materiales que solo o junto con un sustrato, son capaces de eliminar metales pesados presentes en aguas residuales a bajo costo debido a su gran abundancia en la naturaleza. Existen numerosos materiales naturales que pueden actuar como biosorbentes: microorganismos, algas, bacterias, hongos, desechos de las industrias agroalimentarias (Rosique 2013).

Los biosorbentes son materiales naturales disponibles en grandes cantidades, o ciertos productos residuales de operaciones industriales o agrícolas, que pueden ser utilizados con el fin de capturar contaminantes, debido a su bajo costo. Algunos de los sólidos que han sido empleados son: cortezas y hojas de coníferas, cáscaras de arroz, nuez, cacahuete, cáscara de naranja, cáscara de plátano, cáscaras de toronja, algas, hongos, nopal y huesos de aceituna (Salazar y Zea 2015).

### **2.2.1.2. Mecanismos de biosorción**

Los tratamientos para la remoción del cromo involucran transformaciones químicas (oxidación-reducción, adsorción y precipitación) y biológicas (reacciones de oxidación-reducción enzimáticas llevadas a cabo por microorganismos y fitorremediación) o procesos de remediación físicos. Estos últimos separan el Cr (VI) del medio contaminado usando resinas de intercambio iónico o carbón activado granular, y/o aislando la contaminación usando barreras físicas (Espinosa y Mera 2015).

En el caso de la biosorción, como un proceso fisicoquímico, se ve afectada por varios factores y por las combinaciones de diversos procesos que incluyen interacciones electroestáticas, complejación, intercambio iónico, enlaces covalentes, fuerzas de Van Der Waals, etc. Entre los principales mecanismos conocidos para la adsorción de metales en los biosorbentes tenemos la quelación, el intercambio iónico y la complejación con los grupos funcionales (Buitrón 2015).

Como se mencionaba, la remoción de cromo hexavalente de las aguas por biosorbentes consta de dos pasos principales: las especies de Cr (VI) se remueven por sorción sobre la superficie del sorbente y la forma hexavalente se reduce a la trivalente y se adsorbe en la superficie externa (Shafique, et al. 2011). La complejidad de la estructura de los materiales biosorbentes, implica que existen diferentes maneras por las cuales el metal puede ser capturado por los poros del sorbente.

Los mecanismos de biosorción son por tanto variados y dependen en cada caso del metal y del material sorbente. En todos los casos, los procesos de biosorción dependen de la naturaleza de la sustancia que se va a eliminar, de su estructura, características del sorbente y de condiciones experimentales (Angarita 2013). Entre los mecanismos, destacan:

- **Microprecipitación**

La microprecipitación de metales pesados tiene lugar cuando la solubilidad del metal alcanza su valor límite. La microprecipitación se puede producir también por una interacción entre el metal y la superficie celular a través de la formación de un complejo, seguida de su hidrolización y la precipitación del metal en forma de una especie hidrolizada en la pared celular. Los microprecipitados de metal, se depositarán sobre la superficie de la biomasa.

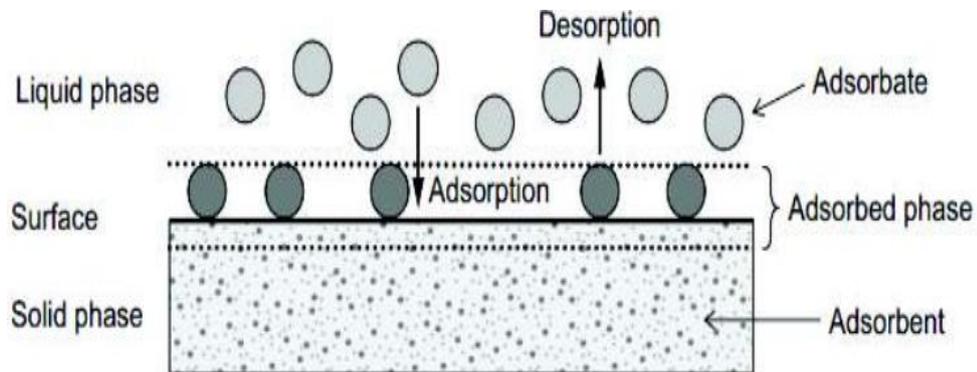
- **Complejación**

La retirada de metales de una disolución puede tener lugar a través de un mecanismo de formación de complejos en la pared celular, después de haberse llevado a cabo la interacción entre el metal y los centros activos. El metal se puede unir a estos centros a través de ligaduras simples o a través de quelación (Martín 2008).

- **Adsorción física**

La adsorción es un término amplio que contempla la unión de los iones a la superficie de la biomasa. Esta unión puede ser llevada a cabo a través de fenómenos físicos (no específicos), tales como atracción electrostática, o

químicos (específicos), tales como reacciones de complejación o quelación. Asimismo, en esta categoría se incluyen los fenómenos asociados (Martín 2008).



**Figura 1.** Fenómeno básico de la adsorción.

**Fuente:** Tomado de Rengel 2018.

En la Figura 1, Rengel (2018) hace mención de que en la fase sólida (sorbente) es aquella que brinda la superficie para fijar las partículas de la fase líquida (sorbato), siendo la fase sorbida la que se muestra sobre el sólido; además al modificar parámetros como tiempo de contacto, temperatura, pH, tamaño de partícula y concentración del sorbato.

- **Intercambio iónico**

Las paredes celulares de la biomasa en general se componen de polisacáridos como estructura básica de constitución. El intercambio iónico, es una reacción química reversible en la cual un ión de la disolución se intercambia por otro ión del mismo signo, que se encuentra unido a la superficie de la biomasa (Martín 2008).

### **2.2.1.3. Factores que influyen en el proceso de biosorción**

Lagos (2016), indica que existen factores tanto físicos como químicos que afectan el proceso de biosorción como el potencial de hidrógeno, la temperatura, la concentración inicial del metal pesado, la cantidad de biosorbente, tamaño de biosorbente.

- **Pretratamiento del biosorbente**

En muchos casos, se necesita algún tratamiento previo del biosorbente para incrementar la capacidad de bioadsorción. En general, se pueden realizar dos clases de pretratamiento: físico como lavado, molienda, tamizado o químico al hacer reaccionar el biosorbente con un agente químico, en este último es necesario un lavado posterior para retirar los restos del químico empleado. La presencia de determinados grupos en la superficie del biosorbente afecta su interacción con los metales o con otros compuestos, de esta forma, se puede aumentar el carácter hidrófilo adicionando grupos funcionales polares (Lagos 2016).

- **pH**

El valor de pH de la fase acuosa es otro de los factores más importante tanto en la biosorción de cationes y aniones, siendo el efecto distinto en ambos casos. Así, mientras que la biosorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4.5; la adsorción de aniones se favorece con valores de pH entre 1.5 y 4.0 (Jáuregui 2015).

Los metales son sustancias electropositivas y estas cargas son atraídas a la superficie del sorbente, el cual va aumentando el número de cargas positivas para realizar la adsorción, la retención de algunos metales es mayor cuando aumenta el pH; un pH óptimo es el que genera la retención máxima del metal, para un tiempo determinado, lo cual es más factible en soluciones ácidas, cuando el pH está o se induce por encima del valor óptimo, la eficacia de la biomasa disminuye (Allouche et al. 2011).

- **Temperatura**

La temperatura puede afectar directamente a la interacción entre soluto y adsorbente, sin embargo, en un rango limitado de temperaturas la adsorción puede mantenerse constante. Este hecho indica que, en parte, la eliminación de un compuesto puede estar gobernado por un mecanismo de intercambio iónico, ya que este proceso no se ve afectado por la temperatura (Carro 2012).

La temperatura en biosorción no se ve involucrada cuando esta se encuentra en el rango entre 20 y 35°C, usualmente mejora la remoción por biosorción al incrementar la actividad superficial y energía cinética del sorbato, pero un aumento elevado de temperatura puede dañar la estructura física del biosorbente (Volesky 2001).

- **Concentración de la biomasa**

Según Campos (2006), ha determinado que la concentración en el equilibrio, la biomasa retiene más iones metálicos a una densidad de células menor que a una mayor. A concentraciones elevadas de biomasa, se presenta un efecto de apantallamiento de los sitios de intercambio por lo denso de la capa celular.

- **Tiempo de contacto**

En todo estudio de biosorción es necesario conocer el tiempo de equilibrio entre el soluto y el material sorbente. Este tiempo en donde se completa el proceso de adsorción es determinante para desarrollar los demás estudios y optimizar el proceso, además del interés en sí mismo de la cinética del proceso de remoción (Carro 2012).

El tiempo de reacción también puede depender de otras condiciones experimentales, como la concentración del contaminante o la dosis de adsorbente. La reacción de biosorción de metales pesados normalmente se completa en un intervalo de tiempo reducido, alcanzándose el equilibrio en pocas horas (Izquierdo 2010).

### **2.2.2. Cromo**

Es un metal de transición duro, frágil, gris acerado, brillante y muy resistente frente a la corrosión. Se produce a partir de cromita y puede existir en los diversos componentes en tres estados de valencia:  $\text{Cr}^2$ ,  $\text{Cr}^3$  y  $\text{Cr}^6$ , siendo los dos últimos los más frecuentes. El cromo es ampliamente usado a nivel industrial, algunas aplicaciones son: aleaciones, procesos de electro galvanizado, análisis volumétricos, en fabricación de materiales refractarios, curtido de cuero, preservación de madera, cintas magnéticas y en fertilizantes (Tenorio 2006).

**Tabla 1.** Propiedades fisicoquímicas del cromo

<b>Propiedades</b>	
Densidad	7140 kg/m <sup>3</sup>
Dureza	8.5 Mohr
Conductividad eléctrica	7.74x10 <sup>6</sup> S/mol
Conductividad térmica	93.7 W
Calor específico	450 J/Kg.K
Punto de fusión	21.3°K
Entalpía de fusión	16.9 KJ/mol
Punto de ebullición	29.5°K
Entalpía de vaporización	344.3 KJ/mol
Presión de vapor	990 Pa a 2130°k
Velocidad de sonido	5940 M/S A 293.15 °K

**Fuente:** Elaborado con base en Prado y Chávez 2013.

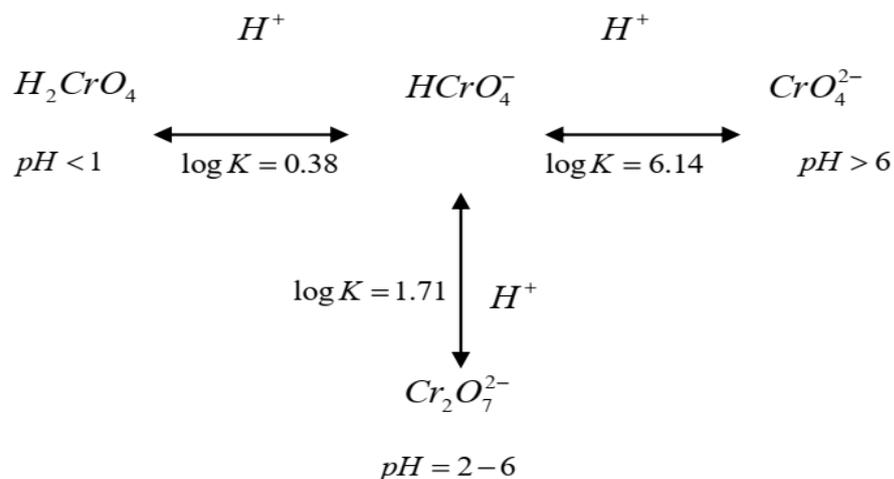
Asimismo, Prado y Chávez (2013) mencionan que el cromo presenta tres valencias: II, III y VI. El Cr II es inestable y pasa rápidamente a III; siendo el VI el de mayor importancia ya que la toxicidad es mayormente asociada a este estado; en la Tabla 2, se muestran los principales compuestos de cromo de los estados trivalentes y hexavalentes que son los estados de oxidación más importantes.

**Tabla 2.** Principales compuestos de cromo

<b>Principales estados de oxidación</b>	<b>Compuesto</b>
<b>Trivalente (III)</b>	Óxido crómico
	Sulfato crómico
	Sulfato básico de cromo
<b>Hexavalente (VI)</b>	Trióxido de cromo
	Dicromato sódico
	Dicromato potásico
	Cromato de plomo
	Cromato cálcico
	Cromato de zinc

**Fuente:** Elaborado con base en Prado y Chávez 2013.

Los compuestos de Cr VI son oxidantes fuertes y altamente solubles, con capacidad de atravesar fácilmente las membranas biológicas, mientras que los compuestos de Cr III tienden a formar precipitados relativamente inertes a pH cercanos a la neutralidad (Nuñez, 2007). Las especies de cromo hexavalente existen principalmente como ácido crómico ( $H_2CrO_4$ ) y sus sales ión hidrógeno cromato  $HCrO_4^-$ , ión cromato  $CrO_4^{2-}$ , dependiendo del pH. Las especies predominantes, como función del pH, son ácido crómico ( $H_2CrO_4$ ) a pHs menores que 1, ión hidrógeno cromato ( $HCrO_4^-$ ) a pHs entre 1 y 6 y, ión cromato  $CrO_4^{2-}$  a pHs sobre 6. El ión dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) es un dímero del ión hidrógeno cromato  $HCrO_4^-$ , que se forma cuando la concentración de cromo excede aproximadamente a  $1g.L^{-1}$ . Dependiendo de la concentración de cromo y el pH de la solución (Figura 2), el Cr VI puede existir principalmente como ión dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ), ión hidrógeno cromato ( $HCrO_4^-$ ) y ácido crómico ( $H_2CrO_4$ ) de acuerdo con la siguiente ecuación (Hossain et al. 2005).



**Figura 2.** Especies de Cr VI dependiendo del pH.

**Fuente:** Tomado de Hossain et al. 2005.

El cromo hexavalente es el más tóxico de todos los estados de oxidación del metal, ya que es un potente oxidante de materia orgánica. En soluciones acuosas el cromo hexavalente se puede encontrar en forma de distintas especies químicas dependiendo del pH de la solución; así, a pH mayores a 6 predomina el ion cromato

( $\text{CrO}_4^{-2}$ ), a valores de pH entre 2 y 6 se encuentra como hidrogenocromato ( $\text{HCrO}_4$ ) y dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ) y finalmente a valores de pH debajo de uno, es el ácido crómico ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ) el que predomina (Cotton y Wilkinson 1998).

### 2.2.2.1.El cromo y sus aplicaciones

Como mencionan Concha y García (2017), el cromo y sus compuestos por sus características químicas y por los beneficios que brindan en la elaboración de múltiples productos, son ampliamente utilizados en diversos procesos industriales como:

- **Curtiembres.** La industria de las curtiembres constituye una de las principales fuentes de emisión de cromo como contaminante, consumiendo cerca del 32% del cromo total mundial, que al ser vertido al ambiente suele acumularse en los sedimentos o transformarse en el ambiente. En general, las principales etapas o procesos involucrados en el proceso de curtición son el pretratamiento y almacenamiento, ribera, curtido y acabado.
- **Cromado.** El uso más común del cromo fuera de su aporte en aleaciones es como elemento principal en un proceso electroquímico llamado cromado, en el que este material se fija a distintas superficies que van desde metales hasta plásticos, para mejorarles su apariencia y otorgarles mayor resistencia y durabilidad. Dicho procedimiento se divide industrialmente en dos líneas: cromo decorativo que tiene como fin dar belleza a instrumentos musicales, accesorios decorativos y piezas de mobiliario. El cromo duro por su parte está orientado a piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste, que necesitan una protección eficiente contra la corrosión como los asientos de válvulas, cojinetes y ejes de pistones hidráulicos.

### 2.2.2.2.Toxicidad del cromo

El cromo tiene una estrecha relación con el cuerpo humano, siendo un oligoelemento en su forma trivalente (III) y como un elemento altamente cancerígeno en su forma hexavalente (VI). En su forma trivalente es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar

condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes. Pero la toma de mucho Cromo III puede causar efectos sobre la salud también, por ejemplo, erupciones cutáneas. Para la mayoría de la gente que come comida que contiene Cromo III es la mayor ruta de entrada, ya que el Cromo III se encuentra de manera natural en muchos vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. Varias maneras de preparación de la comida y almacenaje pueden alterar el contenido de Cromo en la comida, cuando la comida es almacenada en tanques de acero la concentración de Cromo puede aumentar (Concha y García 2017).

Gutiérrez y Cervantes (2008), indican que la toxicidad del Cr VI se debe a que, al igual que otros metales, produce estrés oxidativo. En este proceso dentro de las células se generan intermediarios reducidos de cromo que, en presencia de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) funcionan como catalizadores de una reacción tipo Fenton, llevando a la formación de Especies Reactivas de Oxígeno (ERO); conduciendo al consecuente daño oxidativo, produciendo peroxidación de lípidos, oxidación de proteínas y daños a los ácidos nucleicos.

### **2.2.3. Borra de café**

La borra de café es un subproducto derivado de la comercialización del grano tostado que se obtiene durante la preparación de la bebida, y en esta se puede llegar a obtener una concentración significativa de compuestos polifenólicos, como son los ácidos clorogénico y feruloilquínico, entre otros (Naranjo et al. 2011).

El café tipo arábica es Originario de Etiopia, crece en mesetas o en montañas dentro de las regiones situadas entre los 700 y 2,000 metros a una temperatura optima entre 17 y 23 grados °C. El café es particularmente sensible a las enfermedades (roya del café). Este tipo de café representa dos tercios de la producción mundial, entre los países productores de café arábica destacan: Brasil, Camerún, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Haití, Jamaica, Java, Kenia, México, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Salvador, Tanzania y Venezuela (Angarita 2013).

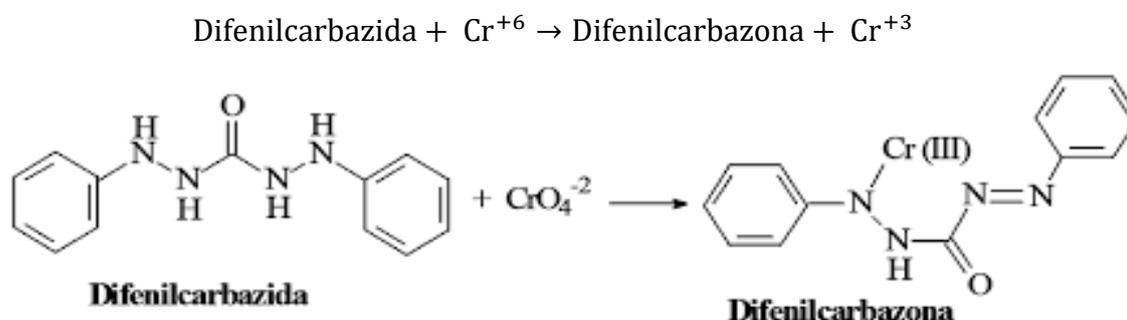
**Tabla 3.** Principales constituyentes del grano de café (% en materia seca)

CONSTITUYENTE	ARÁBIGO
Cafeína	1.2
Trigonelina	1.0
Aminoácidos totales	10.3
Ácidos alifáticos	1.7
Lípidos	16
Glucósidos	0.2
Minerales	4.2
Proteínas	10
Carbohidratos	39

Fuente: Elaborado con base en Calle 1977.

#### 2.2.4. Cuantificación de cromo (VI) por espectrofotometría

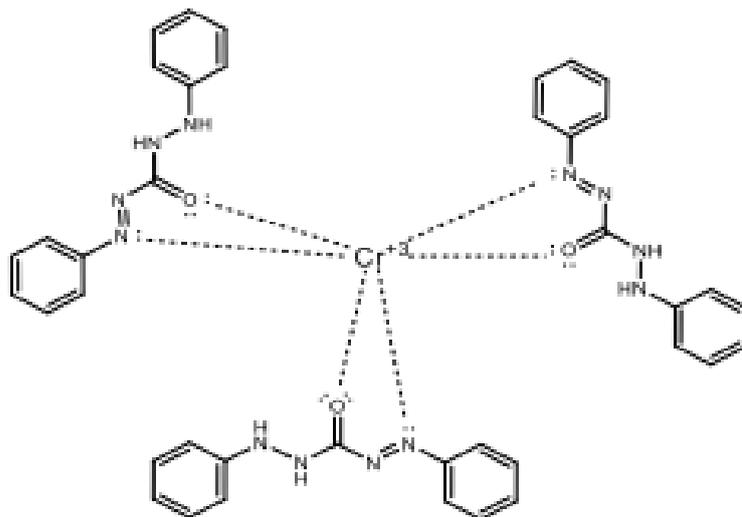
Como menciona Gil (2012), la espectrofotometría UV- VS es una técnica que se utiliza para determinar la concentración de un compuesto en solución. Su principio radica en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez la cantidad de luz absorbida depende de la forma lineal de la concentración. La cuantificación de la concentración de cromo (VI) se determina colorimétricamente por una reacción con difenilcarbazida en solución ácida. El cromo (VI) oxida la difenilcarbazida a difenilcarbazona reduciéndose a cromo (III). Estos iones cromo (III) se combinan con la carbazona formando el complejo coloreado intenso según la siguiente ecuación:



**Figura 3.** Relación de oxidación de difenilcarbazida.

Fuente: Tomado de Gil 2012.

Con motivo de lo expuesto, la difenilcarbazona forma un quelato con el cromo (III) en relación 3 a 1 respectivamente, así pues, en la Figura 4 se observa como 3 moléculas de difenilcarbazona se unen con enlaces covalentes coordinados a una molécula de Cr (III), cabe mencionar que podría encontrarse en forma de cloruro por la presencia de dicho anión en el proceso de formación de dicho quelato (Huanca 2019).



**Figura 4.** Complejación de la difenilcarbazona con  $\text{Cr}^{3+}$

**Fuente:** Tomado de Huanca 2019.

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### 2.3.1. Biosorción

Según Volesky (2003), la biosorción es el fenómeno de captación pasiva de iones metálicos o de otras sustancias. Está basada en el aprovechamiento de la propiedad que tienen algunos tipos de biomasa inactivas o muertas para enlazar y acumular a estos elementos mediante mecanismos de intercambio iónico, adsorción física y complejación.

### 2.3.2. Borra de café

La borra de café es un subproducto derivado del grano tostado que se obtiene durante la preparación de la bebida, y en esta se puede llegar a obtener una

concentración significativa de compuestos polifenólicos. Algunos de estos residuos han sido aprovechados para la producción de biodiesel (Klug et al. 2015).

### **2.3.3. Cromo**

El cromo es un metal de transición bastante duro y poco alterable, su símbolo químico es Cr y su número atómico es 24, se encuentra en forma de terrones, gránulos, polvo o cristales y es soluble en ácido sulfúrico (Algarra 2015).

### **2.3.4. Espectrofotometría de absorción ultravioleta**

La espectrofotometría UV-VIS es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con las que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (Hera 2008).

### **2.3.5. Intercambio iónico**

Este es el proceso donde hay una reacción entre los iones de fase líquida y de fase sólida. Esto pasa debido a que los iones que se encuentran en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas que se intercambian por otros iones de carga similar (García 2010).

### **2.3.6. Medio acuoso**

Se le denomina medio acuoso a una preparación líquida que contiene una o más sustancias químicas (metales) solubles disueltas en agua (Choquejahuá 2018).

### **2.3.7. Potencial de hidrógeno (pH)**

El potencial afecta a la bioadsorción tanto en la especiación del adsorbato como en la disponibilidad de los posibles puntos de enlace en el adsorbente. La acidez o basicidad de una solución depende de la cantidad de iones de hidrógeno o iones  $\text{OH}^-$  (Rudiger 1975).

El pH es un parámetro fisicoquímico que se utiliza para evaluar la acidez o alcalinidad de una sustancia, por lo general en estado líquido. Entendiéndose por acidez la capacidad de una sustancia de aportar iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) al medio,

mientras que la basicidad o la alcalinidad de una sustancia por su parte es la capacidad de aportar grupo hidroxilo al medio (Concha y García 2017).

### **2.3.8. Sorción**

La sorción es un término que describe la remoción de contaminantes de soluciones acuosas. Este término incluye la adsorción, absorción e intercambio iónico. Por otro lado, este mecanismo implica la transferencia de una sustancia de una fase líquida o gaseosa para acumularse en un sólido (Volesky 2003).

### **2.3.9. Tamaño de partículas**

El tamaño de partículas viene a ser un proceso de tamizado se puede definir como la técnica de clasificar partículas de una muestra a través de un orificio de dimensiones regulares. La técnica consiste en colocar la muestra en la parte superior de un juego de tamices, uno debajo del otro con una secuencia de reducción de tamaño (Quintana 2011).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se llevó cabo en el laboratorio de Química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental (E.A.P.I.A.C), de la Universidad Nacional de Cajamarca, en la ciudad de Celendín, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca. El laboratorio se encuentra ubicado geográficamente a una altitud de 2607 m.s.n.m; se ubica entre los 6°51'16.81" latitud sur y 78° 8'35.67" longitud oeste.

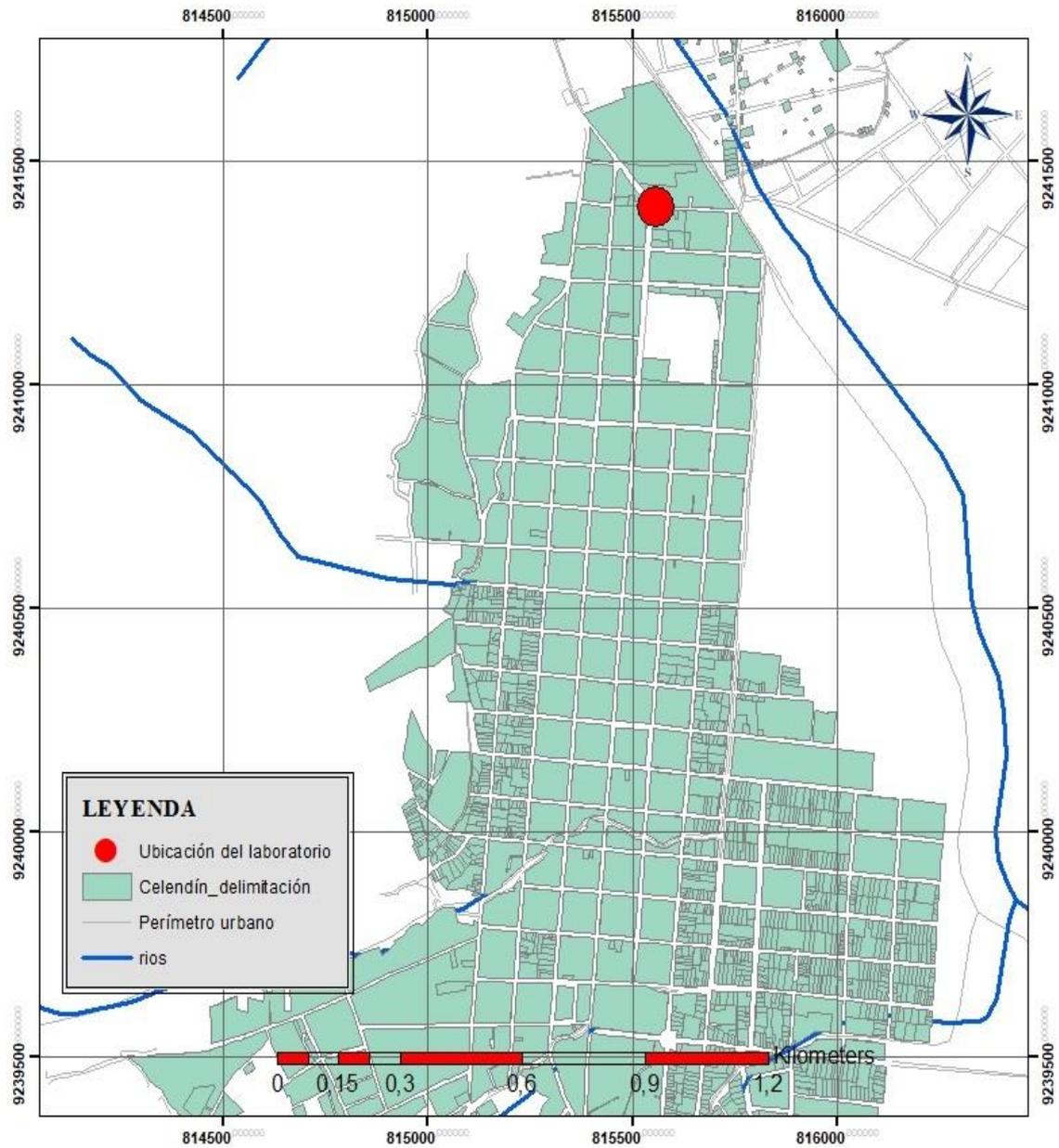


Figura 5. Ubicación del área de investigación

## **3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo experimental, debido a que una o más variables de la investigación fueron manipuladas intencionalmente para la interpretación de los efectos a nivel de laboratorio.

### **3.2.1. Material experimental**

#### **3.2.1.1. Material de escritorio**

- Libreta Artesco
- Calculadora Casio FX-991SPX II
- Formatos de registro
- Cinta adhesiva Pegafán
- Marcadores indelebles Artesco
- Papel bond Report Premium A4
- Lápices técnicos 2B Artesco
- Lapicero Pilot BPS -GP
- Borradores Artesco
- Tijera Artesco
- USB Kingston

#### **3.2.1.2. Material y equipo de laboratorio**

- Balanza analítica SARTORIUS Extend
- Beakers Pyrex
- pH-metro DELTA OHM – HD 98569
- Cámara fotográfica CANON Rebel T4
- Guantes de latex
- Fiolas Biohall de 50 ml, 100 ml, 250 ml
- Espectrofotómetro PHARO 300
- Pipetas graduadas Kasalab
- Pinzas
- Papel filtro whatman 125mm - N° 1440125
- Agua destilada

- Agua ultrapura
- Tamiz modelo Fisher N° 10 ASTM S/N 098316
- Tamiz modelo Fisher N° 100 ASTM S/N 013272
- Estufa Memmert
- Desecador

### **3.2.1.3.Reactivos**

- 1.5 difenilcarbazida
- Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)
- Hidróxido de sodio (NaOH)

## **3.2.2. Variables**

### **3.2.2.1.Variable independiente**

- Borra de café

### **3.2.2.2.Variable dependiente**

- Biosorción de cromo hexavalente

## **3.2.3. Diseño de la investigación**

- Se realizó un arreglo factorial de 3 factores de 2 niveles por cada factor triplicado, siguiendo las recomendaciones de Gálvez (2017); es decir, se realizaron 3 repeticiones con 8 tratamientos por cada repetición con un diseño completamente aleatorio tal como se observa en la Figura 6.

$$2^k = 2^3 = 8 \text{ combinaciones por } 3 = 24 \text{ unidades experimentales}$$

Dónde:

k: número de factores (tiempo, tamaño de biosorbente, concentración de metal)

- Las condiciones de experimentación fueron las siguientes: concentración de borra de café 1g, pH de reacción 2 y velocidad de agitación de 150 rpm.

- La siguiente tabla muestra las combinaciones de cada tratamiento y a su vez el procedimiento o aplicación de cada combinación para la presente investigación.

**Tabla 4.** Diseño experimental factorial

<b>Tratamientos</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Procedimiento</b>
T1	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	30 minutos * 10 ppm * tamiz N° 10
T2	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	30 minutos * 10 ppm * tamiz N° 100
T3	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	30 minutos * 50 ppm * tamiz N° 10
T4	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	30 minutos * 50 ppm * tamiz N° 100
T5	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	90 minutos * 10 ppm * tamiz N° 10
T6	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	90 minutos * 10 ppm * tamiz N° 100
T7	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	90 minutos * 50 ppm * tamiz N° 10
T8	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	90 minutos * 50 ppm * tamiz N° 100

Siendo:

**A:** Tiempo de contacto del biosorbente con el metal

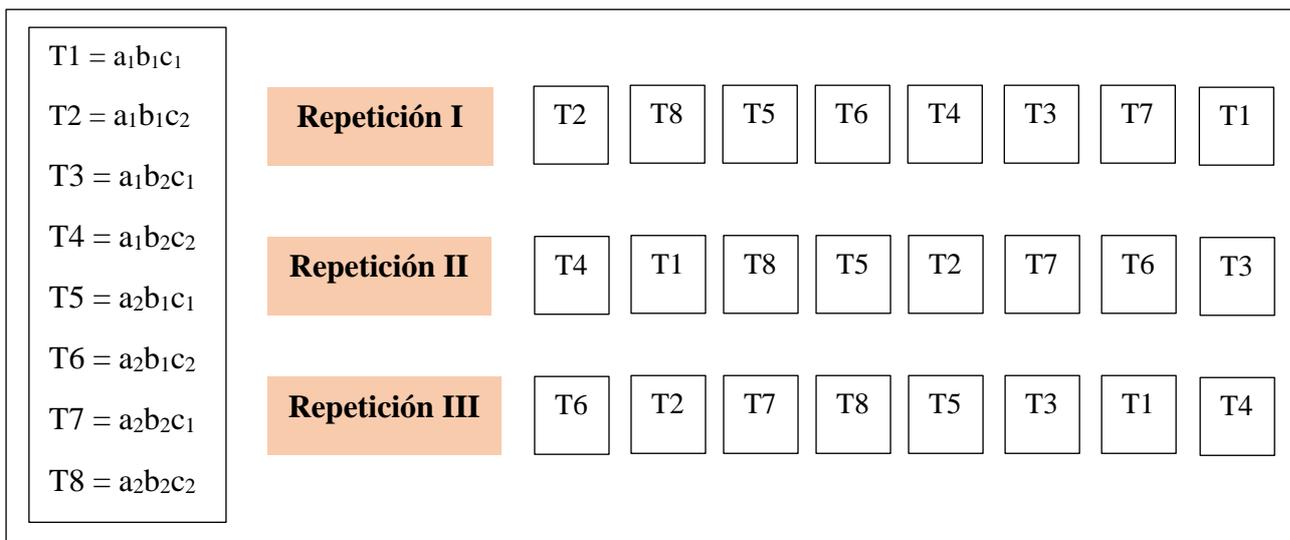
**a<sub>1</sub>:** 30 minutos y **a<sub>2</sub>:** 90 minutos

**B:** Concentración del metal

**b<sub>1</sub>:** 10 ppm y **b<sub>2</sub>:** 50 ppm

**C:** Número del tamiz

**c<sub>1</sub>:** tamiz número 10 y **c<sub>2</sub>:** tamiz número 100



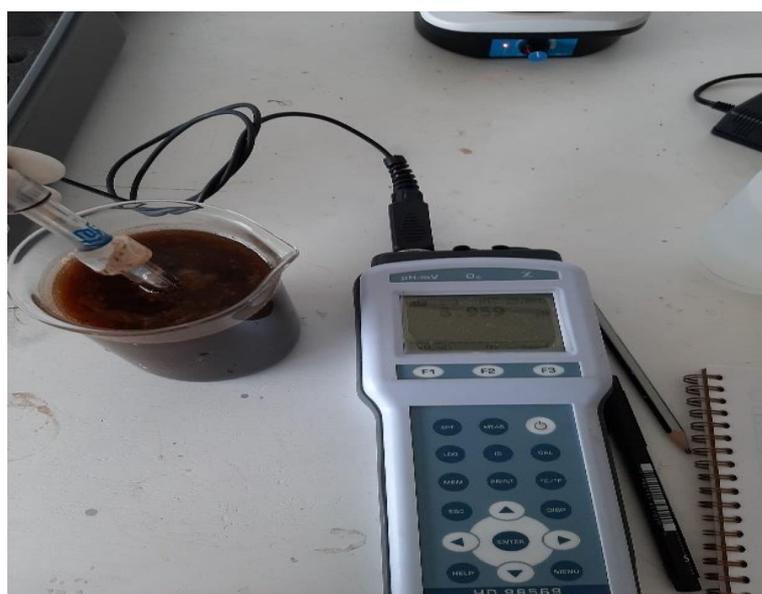
**Figura 6.** Croquis con la distribución de los tratamientos

### 3.2.4. Procedimiento

#### 3.2.4.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

- **Potencial de hidrógeno (pH) de la borra de café**

Para determinar el pH de la borra de café, se pesaron 10g en un vaso de precipitados, se adicionó 250 ml de agua destilada y se agitó por 10 minutos. Finalmente se introdujo el multiparámetro en la muestra y se procedió a realizar las lecturas de pH.



**Figura 7.** Medición de pH para la borra de café

- **Porcentaje de humedad del biosorbente**

Para determinar la cantidad de humedad en la borra de café, primero se colocaron en 3 placas Petri previamente pesadas 100g de borra de café húmeda; se llevó a la estufa a 105°C hasta obtener peso constante. Finalmente se determinó el porcentaje de humedad con la fórmula presentada a continuación (Lagos 2016).

$$\% \text{ Humedad} = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100$$

Donde:

$m_i$  = la masa inicial absorbente antes de ingresar a la estufa y

$m_f$  = la masa luego de dejar enfriar la muestra en el desecador.



**Figura 8.** Determinación de humedad en la borra de café

### **3.2.4.2. Preparación de la curva de calibración**

Para la construcción de la calibración se prepararon las siguientes soluciones:

- **Solución madre de cromo VI de concentración de 500 ppm**

Se preparó una solución madre de cromo (VI) a una concentración de 500 mg/L (ppm) a partir de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Para ello se pesó 1g del reactivo, el cual, se secó a 105 °C por 1 hora para eliminar la humedad

presente, finalmente, luego del secado se pesó 141.4mg de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) disolviéndolo con agua destilada en una fiola de 100ml (Sánchez 2008).



**Figura 10.** Reactivo de dicromato de potasio **Figura 9.** Solución madre de Cromo VI

- **Disolución estándar 10 ppm**

Una alícuota de 2ml de la solución Madre de cromo (VI) fue diluida con agua destilada en una fiola de 100 ml.

- **Disolución estándar 50 ppm**

Una alícuota de 10 ml de la solución Madre de cromo (VI) fue diluida con agua destilada en una fiola de 100 ml.

- **Solución de difenilcarbazida a una concentración de 5 mg/L**

Se pesó 0.25g de difenilcarbazida, y disolver en 50 ml de acetona o etanol. Almacenar en frascos color ámbar y en refrigeración a 4°C



**Figura 11.** Preparación de difenilcarbazona 5mg/L

- **Solución ácido sulfúrico 0.2 N para calibración de pH**

Adicionar 0.6 ml de  $H_2SO_4$  en un matraz de 100 ml que contenga 50 ml de agua destilada y dejar enfriar a temperatura ambiente. Aforar con agua destilada.

- **Soluciones para la curva de calibración de 10 ppm y 50 ppm**

A partir de la solución estándar de 10 ppm y 50 ppm, se prepararon 2 curvas de calibración con concentraciones de 0, 0.25, 0.50, 1, 1.50 y 2 mg/L, dichas soluciones fueron preparadas en fioles de 50 ml; el pH fue modificado a haciendo uso de  $H_2SO_4$  y finalmente se agregó 1ml de difenilcarbazona dejándose en reposo durante 10 minutos antes de realizar las lecturas en el espectrofotómetro a 540nm.

**Tabla 5.** Concentraciones para la curva de calibración de 10ppm y 50ppm

Concentraciones mg/L	Cr (VI) 10 ppm (ml)	Cr (VI) 50 ppm (ml)
0	0	0
0.25	1.25	0.25
0.50	2.50	0.50
1.00	5	1
1.50	7.50	1.50
2	10	2



**Figura 12.** Curva de calibración de 10 ppm



**Figura 13.** Curva de calibración de 50 ppm

### 3.2.4.3. Pretratamiento del biosorbente

- La borra de café se obtuvo a través de la prensa de café o cafetera, en la cual se introdujo el café (*Coffea arabica*). Para esta investigación se utilizó la marca comercial cafetal el cual pertenece al café tipo arábigo, resultando conveniente para la experimentación.
- Se realizó un pretratamiento de la materia prima para hidrolizar los grupos funcionales superficiales. Para esto se tomó una muestra de la borra de café seca y se realizaron cinco lavados con una solución de NaOH 0.01M bajo agitación a una temperatura de 30°C mediante baño María. Luego se procedió a lavar con agua ultrapura hasta no observar coloración (Lagos 2016).



**Figura 14.** Pretratamiento de la borra de café en baño María

- Posteriormente, la borra de café se sometió a secado en una estufa a una temperatura de 105°C hasta obtener peso constante (Ramos 2010).



**Figura 15.** Secado de la borra de café

- Después del secado, se procedió a triturar la borra de café con un mortero, para de esta manera realizar un análisis granulométrico, haciendo uso de 2 diferentes tamices N° 10 y 100; siendo las fracciones de tamaño a usar (Ramírez 2018).



**Figura 16.** Selección de los tamaños de partícula de borra de café

#### 3.2.4.4. Biosorción de cromo hexavalente

- Se colocaron 4 matraces con 200ml de solución de cromo de 10 ppm, donde se agregó a dos matraces 1g de biosorbente del tamiz N° 10 y a los otros dos matraces 1g del tamiz N° 100; se ajustó el pH con  $H_2SO_4$  hasta 2 y se llevó a agitación de 150 rpm, en tiempos de 30 y 90 minutos.



Figura 18. Ajuste de pH



Figura 17. Mezcla del reactivo con la borra de café

- Una vez transcurrido el tiempo de operación, se filtró cada muestra haciendo uso de papel filtro, con la finalidad de evitar turbidez en la muestra para su posterior medición.



Figura 19. Filtrado de la solución

- Posteriormente a cada solución se agregará 1ml de solución de difenilcarbazida y se dejará reposar 10 minutos hasta observar coloración. El procedimiento anterior se repitió para una solución de 50ppm (Gálvez 2017).



**Figura 20.** Medición de pH después del tratamiento

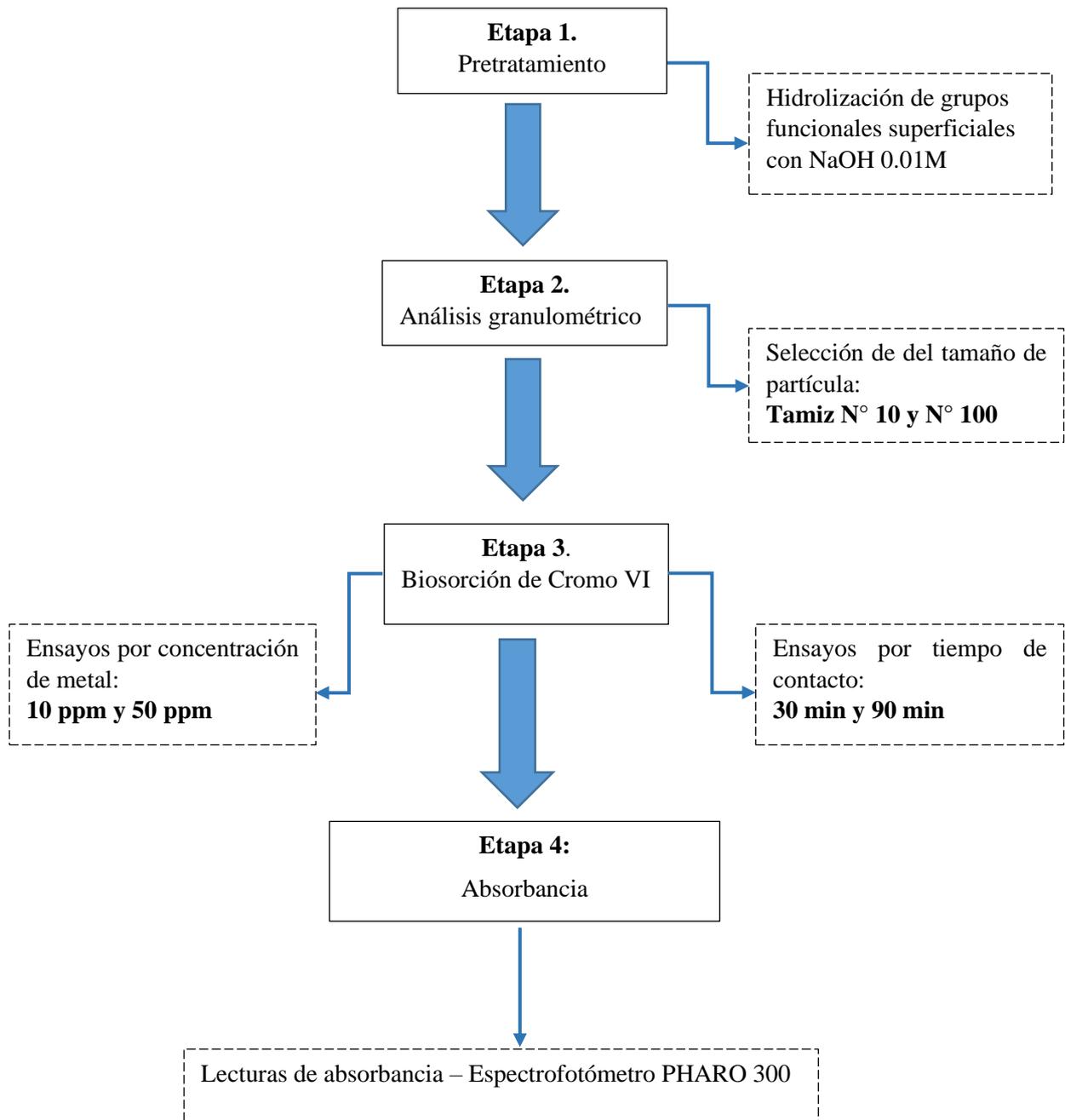
- Finalmente, se determinó la absorbancia a 540nm en el espectrofotómetro PHARO UV/VIS 300.



**Figura 22.** Colocación de soluciones en celdas fotométricas



**Figura 21.** Lecturas de absorbancia a 540nm



**Figura 23.** Etapas de la fase experimental de biosorción de cromo hexavalente (Cr VI)

### 3.2.5. Tratamiento y análisis de datos

En esta etapa se registraron los datos obtenidos en la etapa laboratorio para su respectivo análisis estadístico.

#### 3.2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la determinación de biosorción de cromo hexavalente por medio de la borra de café, se utilizó la técnica observacional; los datos obtenidos fueron

registrados en formatos previamente elaborados, los cuales fueron posteriormente procesados.

### **3.2.3.2. Técnicas de análisis y procesamiento de datos**

Los resultados obtenidos se procesaron haciendo uso del programa Excel, donde se elaboraron tablas y gráficos; así se realizó el análisis estadístico para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos realizados.

Finalizado el proceso, se determinó la concentración final de cromo hexavalente; y se calculó el porcentaje de remoción de cromo por la borra de café; utilizando la expresión matemática indicada mediante la siguiente fórmula descrita por Machado (2017).

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_e}{C_i} * 100$$

Donde:

$C_i$  = Concentración inicial de la especie metálica (mg/L)

$C_e$  = Concentración final de la especie metálica (mg/L)

### 3.2.6. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Sub variable	Indicadores
<p><b>Pregunta General:</b> ¿Cuál es la capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar la capacidad de biosorción de cromo hexavalente en medio acuoso usando la borra de café a nivel de laboratorio.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> La borra de café tiene la capacidad de biosorber un 90% de cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio</p>	<p><b>Variable dependiente:</b> Biosorción de Cromo hexavalente (Cr VI)</p>	<p>Concentración inicial: ppm Concentración final: ppm</p>	<p>% remoción</p>
<p><b>Problemas específicos:</b></p>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p>	<p><b>Variables independientes:</b></p>		
<p>¿Cuál es el efecto del tamaño de partícula en el proceso de biosorción de Cr VI en medio acuoso usando la borra de café?</p>	<p>Analizar el efecto del tamaño de grano de la borra de café en el proceso de biosorción de cromo en medio acuoso a nivel de laboratorio.</p>	<p>La borra de café a diferentes tamaños de partícula es capaz de biosorber cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio</p>		<p>Tamaño de partícula</p>	<p>N° de tamices: Tamiz N° 10 Tamiz N° 100</p>
<p>¿Cuál es el efecto del tiempo de contacto en el proceso de biosorción de Cr VI en medio acuoso usando la borra de café?</p>	<p>Determinar el efecto del tiempo de contacto de la borra de café con el cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio.</p>	<p>La borra de café a dos tiempos de contacto (30 min y 90 min) es capaz de biosorber cromo hexavalente en medio acuoso a nivel de laboratorio</p>	<p>Borra de café</p>	<p>Tiempo de contacto</p>	<p>30 minutos 90 minutos</p>
<p>¿Cuál es el efecto de la concentración de metal en el proceso de biosorción de Cr VI usando la borra de café en medio acuoso?</p>	<p>Analizar el efecto de la concentración del metal en el proceso de biosorción de cromo hexavalente usando borra de café en medio acuoso a nivel de laboratorio.</p>	<p>La borra de café es capaz de biosorber cromo hexavalente tanto de 10 ppm como de 50 ppm en medio acuoso a nivel de laboratorio</p>		<p>Concentración de metal</p>	<p>10 ppm 50 ppm</p>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

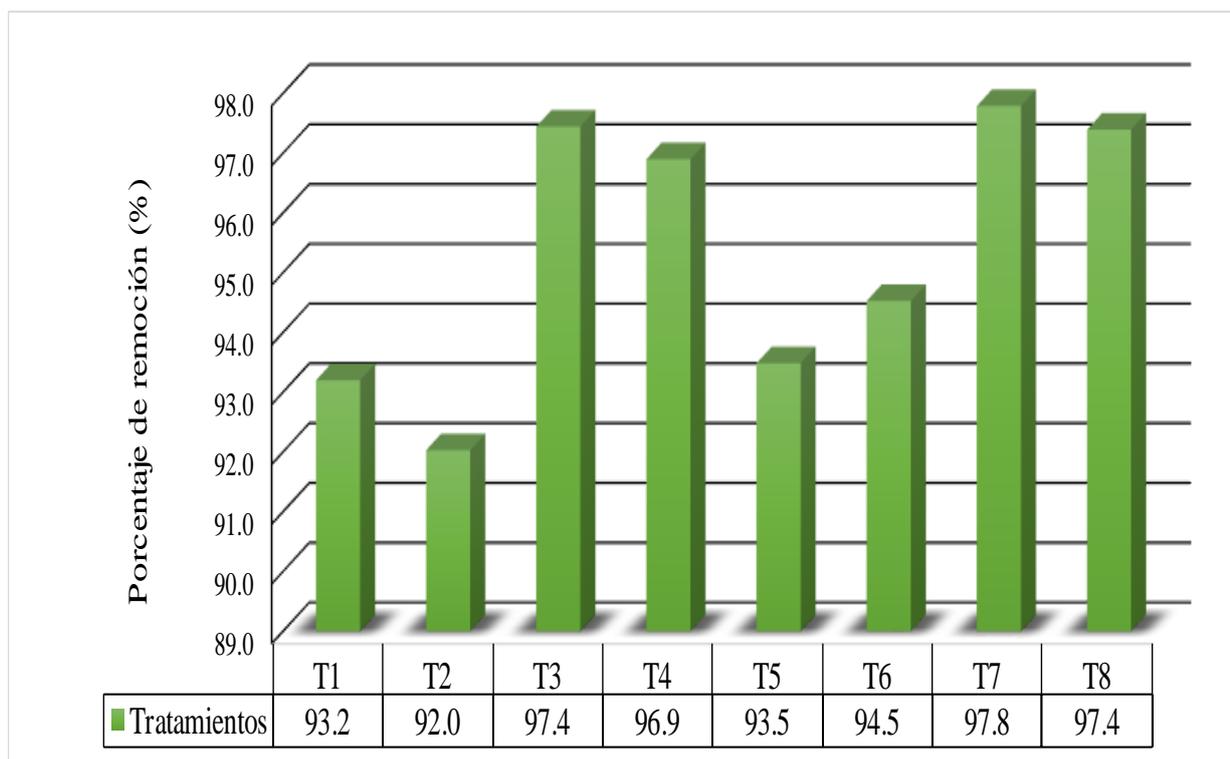
En el trabajo de investigación se ha utilizado la borra de café para determinar la capacidad de biosorción de cromo hexavalente (Cr VI). Los resultados obtenidos en los tratamientos se presentan a continuación a través de tablas y figuras.

#### 4.1. CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ

En la Tabla 6, se muestran los datos de remoción obtenidos de los 8 tratamientos en las 3 repeticiones realizadas, además de sus respectivos promedios; en la Figura 24, observamos que entre los 8 tratamientos realizados el mejor resultado se obtuvo en el tratamiento 7, con un promedio de 97.79% de remoción de cromo a 50 ppm, durante 90 minutos de contacto y con borra de café del tamiz N° 10.

**Tabla 6.** Porcentaje de remoción de cromo hexavalente (Cr VI) usando la borra de café

TRATAMIENTO	% DE CROMO VI REMOVIDO			Promedio (%)
	I Repetición (%)	II Repetición (%)	III Repetición (%)	
T1	93.11	93.20	93.29	93.20
T2	93.94	90.24	91.91	92.03
T3	97.47	97.42	97.45	97.45
T4	96.64	96.88	97.18	96.90
T5	93.65	93.27	93.54	93.49
T6	94.60	94.06	94.92	94.53
T7	97.66	97.91	97.80	97.79
T8	97.28	97.39	97.51	97.39



**Figura 24.** Porcentaje de remoción de cromo hexavalente (Cr VI)

#### 4.1.1. ANÁLISIS DE VARIANZA

Para ratificar los resultados obtenidos del porcentaje de remoción en el proceso de biosorción, y con la finalidad de poder determinar si existe diferencia significativa entre los efectos del experimento se aplicó la prueba estadística ANOVA, cuyos resultados se muestran a continuación:

En la Tabla 7, se observa que existe diferencia significativa de las medias de los tratamientos a un nivel de confianza del 95% como se ha mostrado en la Figura 24; por lo tanto, se ratifica como mejor tratamiento a T7.

**Tabla 7.** Análisis de varianza

<b>FUENTES</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>FT</b>	<b>SIG.</b>
<b>Tratamiento</b>	110.17	7	15.74	33.38	2.66	**
A (Tiempo)	4.91	1	4.91	10.42	4.49	*
B (Concentración)	99.47	1	99.47	211.00	4.49	**
C (N° de tamiz)	0.43	1	0.43	0.92	4.49	
AB	1.42	1	1.42	3.01	4.49	
AC	2.09	1	2.09	4.43	4.49	
BC	0.25	1	0.25	0.53	4.49	
ABC	1.59	1	1.59	3.38	4.49	
E.E.	7.54	16	0.47			
<b>TOTAL</b>	<b>117.71</b>	<b>23</b>				

\* Existe significación

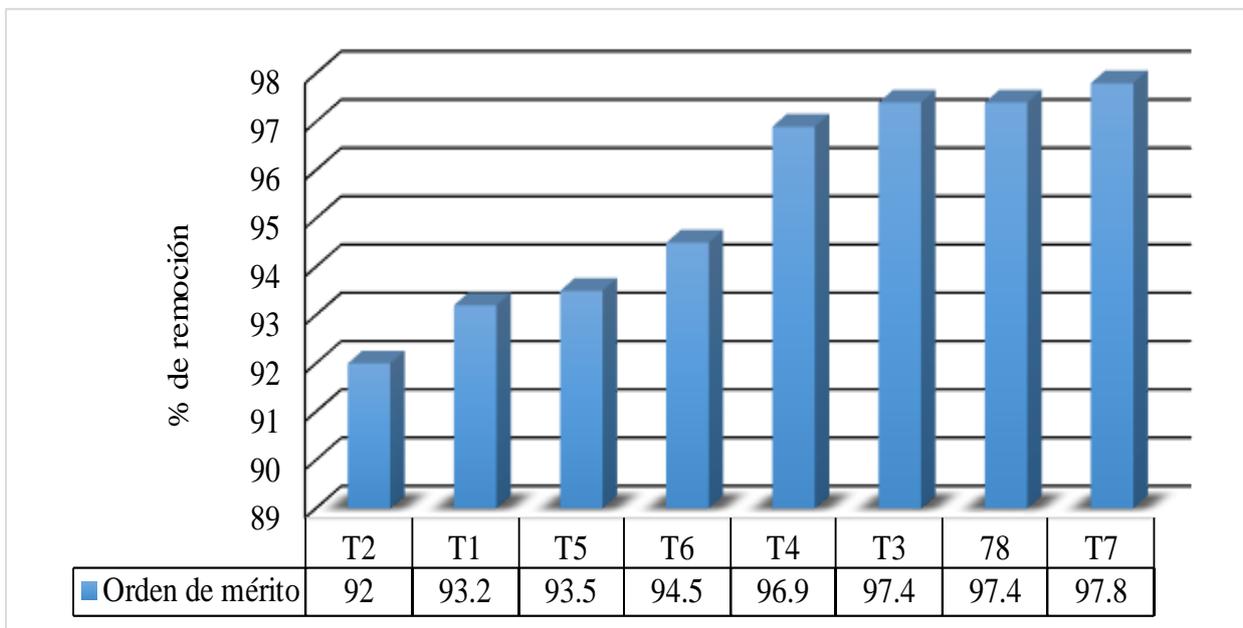
\*\* Existe alta significación

$$CV = 0.72\%$$

La Tabla 8 muestra la prueba Duncan realizada a los datos de porcentaje de remoción de Cr VI. Los resultados de los tratamientos se han ordenado de forma ascendente para fines comparativos entre los diversos tratamientos. Observamos que T7 no tiene diferencia significativa con T8, T3 y T4, pero si los tiene con T6, T5, T1 y T2. Luego observamos que T8 no tiene diferencia significativa con T3 y T4, pero si los tiene con T6, T5, T1 y T2. Asimismo, T3 no tiene diferencia significativa con T4, pero si los tiene con T6, T5, T1 y T2; a partir de T4 no hay diferencia significativa entre los demás tratamientos. A partir de ello se elaboró la Figura 25 donde se presenta el orden de méritos de los tratamientos, siendo el tratamiento T7 (90 minutos\*50 ppm\*tamiz N°10) el que presenta mayor porcentaje de remoción.

**Tabla 8.** Prueba de Duncan

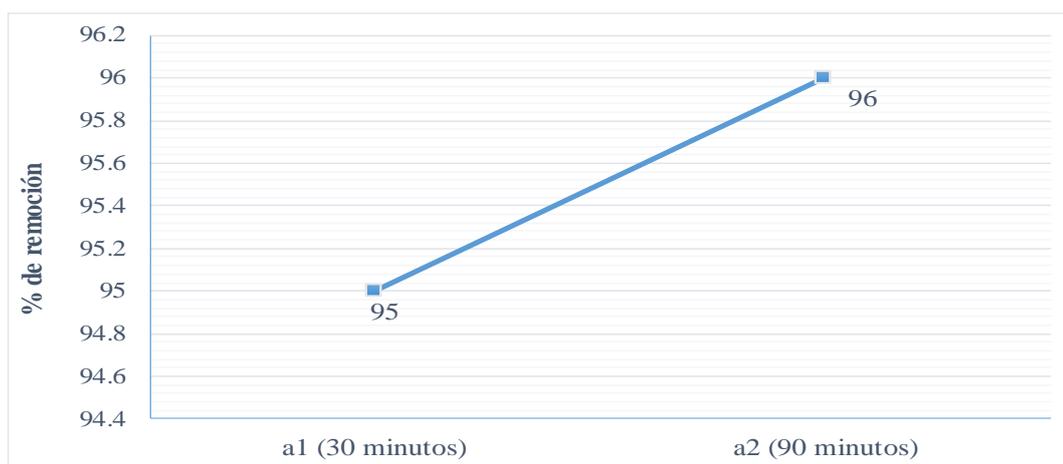
TRATAMIENTO	T2	T1	T5	T6	T4	T3	T8	T7
PROMEDIOS	92	93.2	93.5	94.5	96.9	97.4	97.4	97.8



**Figura 25.** Orden de méritos de los tratamientos

#### 4.2. EFICIENCIA DEL TIEMPO DE CONTACTO DE LA BORRA DE CAFÉ (EFECTO PRINCIPAL A)

De acuerdo con el ANVA presentado anteriormente, observamos que existe significación del efecto principal “A” que corresponde al tiempo de contacto de remoción de Cr VI. En la Figura 26 se muestra que un cambio en los tiempos de contacto de 30 a 90 minutos provoca un leve incremento de la remoción promedio de Cr VI de 95 a 96%.



**Figura 26.** Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cromo VI

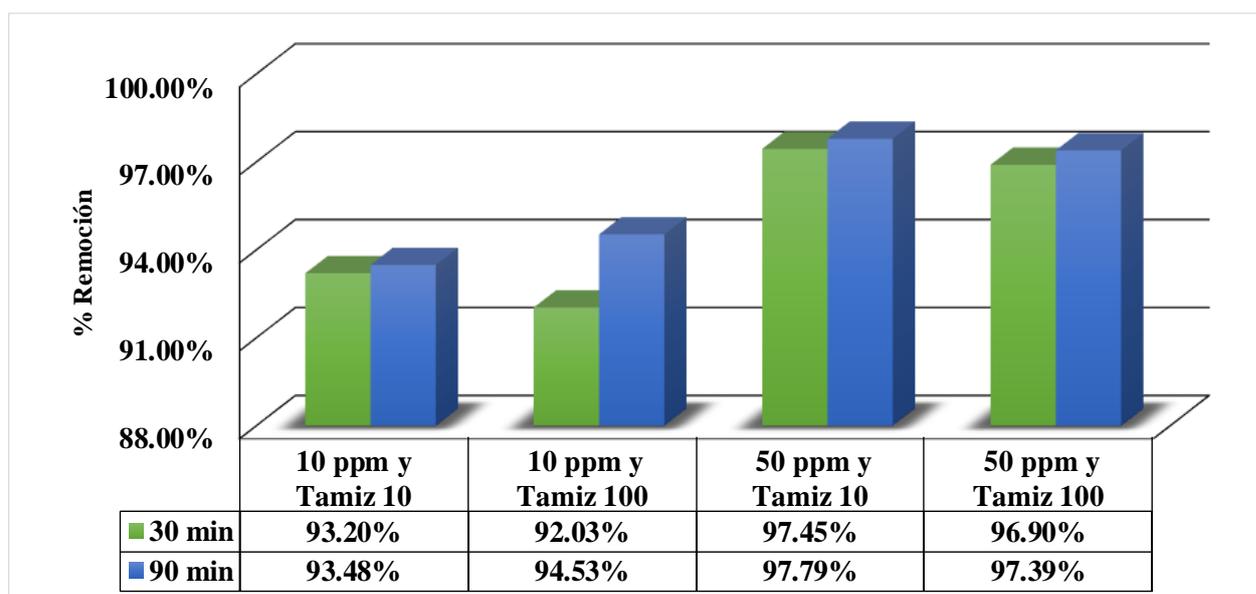
En la Figura 27, se observa que el mayor porcentaje de remoción de Cr VI se da a un tiempo de contacto de 90 min con un 97.79% de remoción; sin embargo, podemos observar que más de un 90% de remoción se realiza a los 30 min de contacto y que pasado ese tiempo hay un aumento de 1% al 2% al llegar a los 90 min.

Al comparar dos tiempos de contacto diferentes (30min y 90 min), se demuestra que por lo menos un 90% de remoción de cromo hexavalente se da a un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos, mostrando una eliminación de iones de cromo rápida en los primeros periodos de tiempo del experimento; deduciendo que el tiempo y las condiciones iniciales son fundamentales para el proceso de biosorción.

Según Miranda (2017), quién realizó experimentación con tiempos similares coincide en que el tiempo es un factor importante en el proceso de biosorción y que la cumbre de retención de Cr (VI) se da a los 30 minutos de contacto y que a partir de este valor los demás tiempos mantienen aumentos mínimamente significativos.

**Tabla 9.** Remoción de cromo (VI) con relación al tiempo de contacto

Tiempo de contacto (min)	Lecturas a 540 nm				% Removido
	I Repetición	II Repetición	III Repetición	Promedio	
30	0.689	0.680	0.671	0.680	93.20%
	0.606	0.976	0.809	0.797	92.03%
	1.266	1.291	1.275	1.277	97.45%
	1.678	1.562	1.408	1.549	96.90%
90	0.635	0.673	0.646	0.652	93.48%
	0.540	0.594	0.508	0.547	94.53%
	1.169	1.047	1.099	1.105	97.79%
	1.360	1.303	1.247	1.303	97.39%



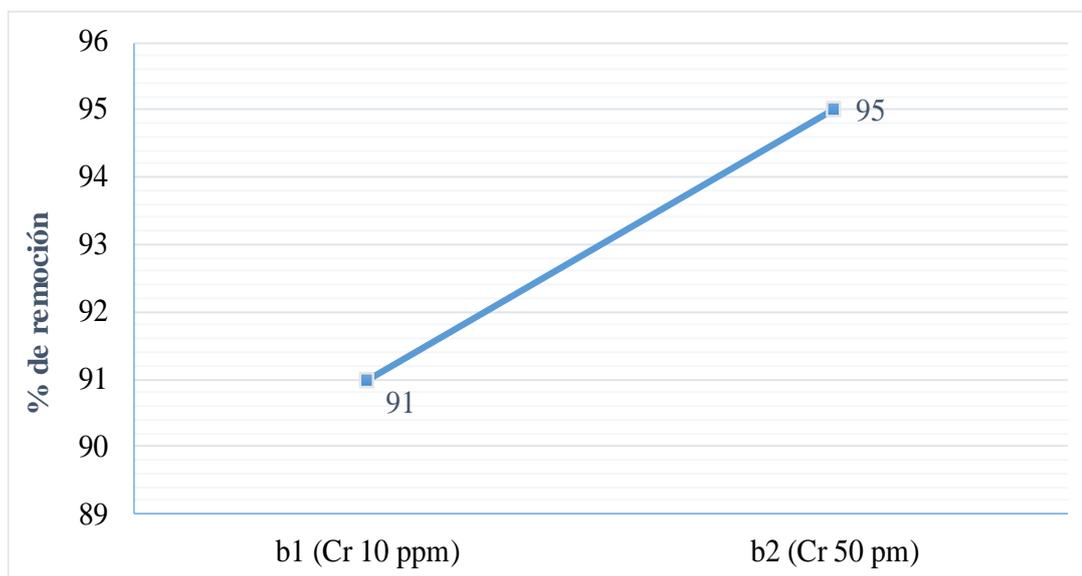
**Figura 27.** Efecto del tiempo de contacto en el proceso de biosorción

#### 4.3. EFICIENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE METAL (EFECTO PRINCIPAL B)

De acuerdo con el ANVA mostrado anteriormente, observamos que existe una alta significación del efecto principal B que está relacionado a la eficiencia de la

concentración del metal en la remoción de Cr VI. En la Figura 28 podemos observar que un cambio en las concentraciones de metal de 10 a 50 ppm provoca un mayor porcentaje de remoción promedio de Cr VI de 91% a 95%; por lo tanto, la borra de café es capaz de remover o biosorber cromo VI a mayores concentraciones.

Zapién (2013) indica que, al aumentarse la concentración de metal la capacidad de reducción de Cr (VI) se ve afectada, mientras que la capacidad de biosorción se mantiene estable, reaccionando de manera autónoma en función al tiempo de contacto.



**Figura 28.** Efecto de la concentración de metal en la remoción de cromo VI

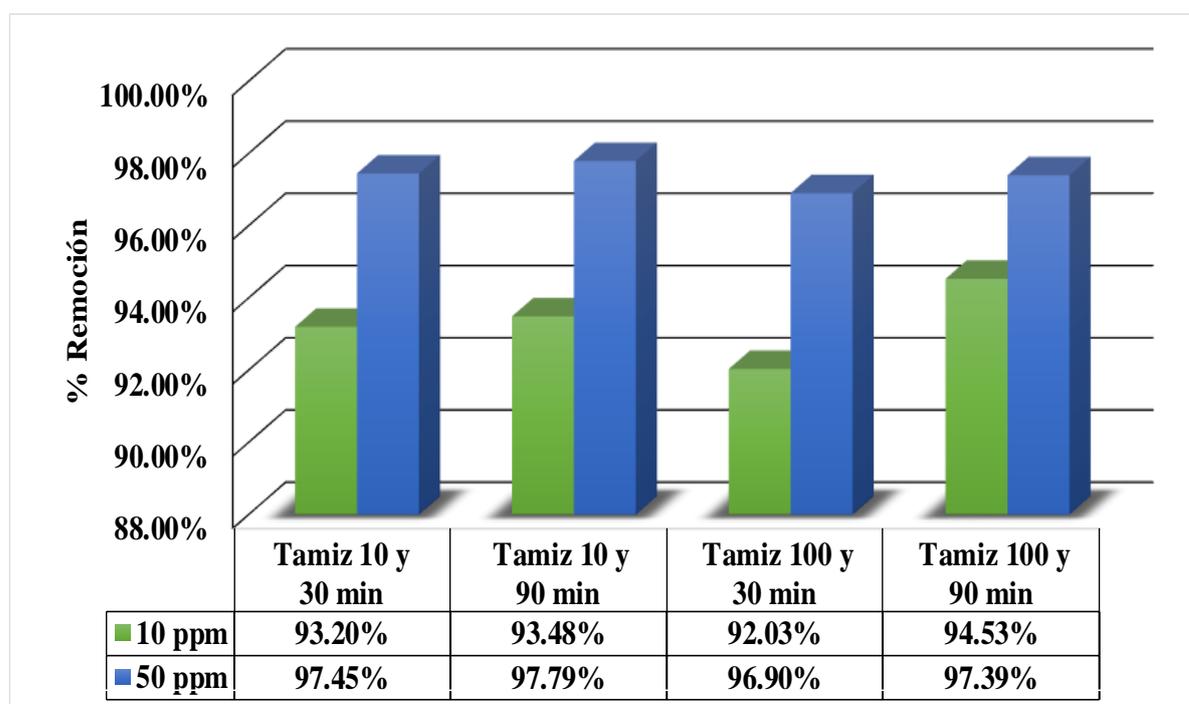
En la Figura 29 observamos los porcentajes de remoción frente a la variación de concentraciones de metal (10 ppm y 50 ppm); los resultados obtenidos demuestran que 1g de la borra de café es capaz de biosorber o remover con mejores resultados concentraciones de cromo hexavalente de hasta 50 ppm.

Machado (2017), menciona que la determinación de efectividad del material sorbente se basa en la cantidad de metal que puede adsorber; es decir que la superficie del biosorbente se satura dependiendo de la concentración inicial de iones metálicos. Sin embargo, Milovanovic (2011) indica que la concentración del metal

afecta significativamente el proceso de remoción de cromo hexavalente (Cr VI), tal como se observa en la Figura 29 el rendimiento de extracción es superior al 90% usando solamente 1g de biosorbente, y por lo tanto la concentración de metal es un factor importante en el proceso de biosorción.

**Tabla 10.** Remoción de cromo (VI) con relación a la concentración de metal

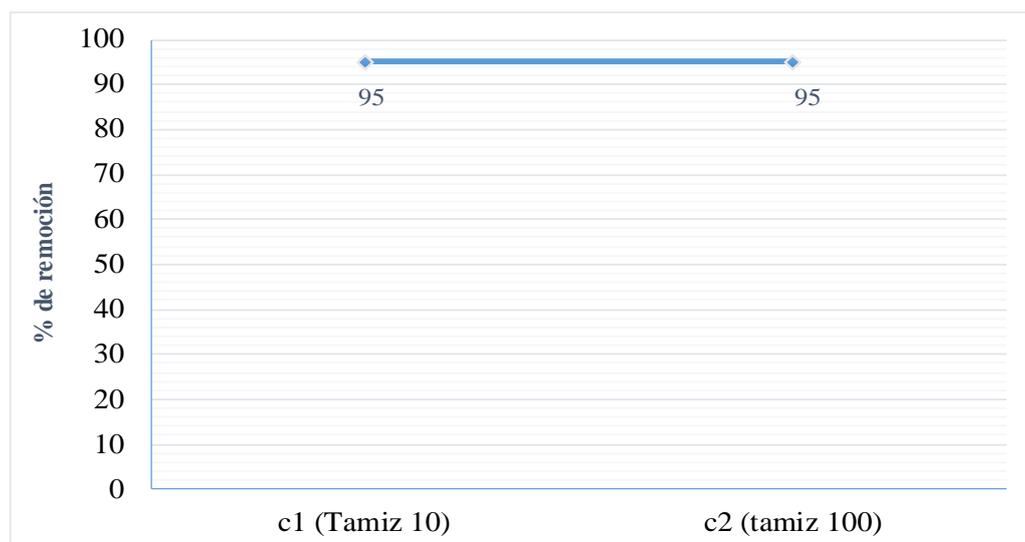
Concentración (ppm)	Lecturas a 540 nm				% Removido
	I Repetición	II Repetición	III Repetición	Promedio	
10	0.689	0.680	0.671	0.680	93.20%
	0.635	0.673	0.646	0.652	93.48%
	0.606	0.976	0.809	0.797	92.03%
	0.540	0.594	0.508	0.547	94.53%
50	1.266	1.291	1.275	1.277	97.45%
	1.169	1.047	1.099	1.105	97.79%
	1.678	1.562	1.408	1.549	96.90%
	1.360	1.303	1.247	1.303	97.39%



**Figura 29.** Eficiencia de la concentración de metal en el proceso de biosorción

#### 4.4. EFICIENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE BORRA DE CAFÉ (EFECTO PRINCIPAL C)

De acuerdo con el ANVA mostrado anteriormente, observamos que no existe significación del efecto principal C que está relacionado a la eficiencia del tamaño de partícula de borra de café en la remoción de Cr VI. En la Figura 30 podemos observar que, al realizar un cambio en el tamaño de partícula de borra de café que atraviesa el tamiz del N° 10 al N° 100 no provoca ningún cambio en el promedio del porcentaje de remoción. Concordando con los datos estadísticos y con Guerra y Meléndez (2009) quienes, en una investigación similar a dos tamaños de partícula, registraron un leve aumento en el porcentaje de remoción, siendo no significativo entre las medias de las variables a un 95%.



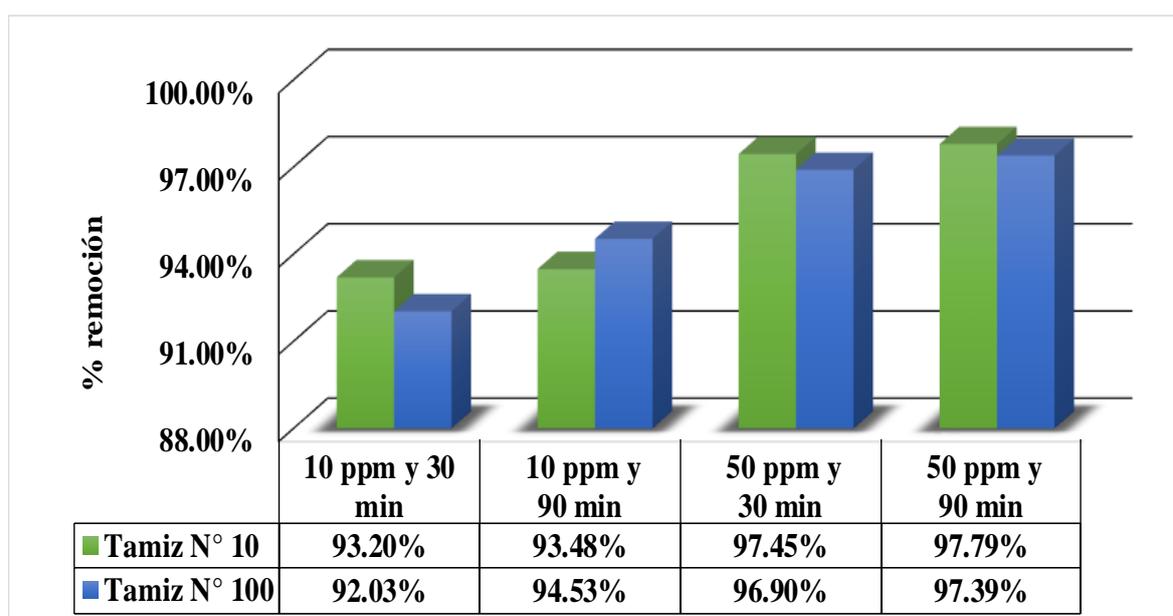
**Figura 30.** Efecto del número de Tamiz en la remoción de cromo VI

En la Figura 31, observamos que el porcentaje de remoción teniendo en cuenta el tamaño de partícula varía entre 93.20% al 97.79% para el tamiz N° 10 y del 92.03% al 97.39% para el tamiz N° 100. En este caso, se expone que existe un mínimo aumento de remoción de cromo hexavalente (Cr VI) en relación con el tamaño de partículas de borra de café, por lo tanto, para obtener resultados favorables en el proceso de biosorción de cromo hexavalente (Cr VI) no resulta indispensable realizar la trituración previa de la borra de café.

Lagos (2016), realizó ensayos con distintos tamaños de grano de borra de café y no encontró diferencia significativa en cuanto a la capacidad de biosorción, encontrando valores similares entre los distintos tamaños de grano; coincidiendo además con Zapién (2013), quien obtuvo remoción de Cr VI por arriba del 93% afirmando que el tamaño de partículas no afecta la cantidad de sitios activos que pueden ser ocupados por cromo.

**Tabla 11.** Remoción de cromo (VI) con relación al tamaño de partícula

Tamaño de partícula (N° tamiz)	Lecturas a 540 nm			Promedio	% Removido
	I Repetición	II Repetición	III Repetición		
10	0.689	0.680	0.671	0.680	93.20%
	0.635	0.673	0.646	0.652	93.48%
	1.266	1.291	1.275	1.277	97.45%
	1.169	1.047	1.099	1.105	97.79%
100	1.678	1.562	1.408	1.549	96.90%
	1.360	1.303	1.247	1.303	97.39%
	0.606	0.976	0.809	0.797	92.03%
	0.540	0.594	0.508	0.547	94.53%



**Figura 31.** Eficiencia del tamaño de partícula de borra de café en el proceso de biosorción

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

En esta investigación, se determinó que la borra de café es eficiente en el proceso de biosorción, con un máximo de remoción de 97.79%, afirmando que la borra de café además de ser un residuo orgánico de bajo costo, disponibilidad y almacenamiento es idónea como biosorbente en el proceso de eliminación de Cr VI en medio acuoso.

El efecto del tiempo de contacto demuestra que, para lograr una mayor remoción de cromo hexavalente se requiere como mínimo 30 minutos de contacto (más de 90% de remoción); indicando que, bajo condiciones de pH ácido y agitación constante, la borra de café es eficiente en el proceso de biosorción de Cr VI a cortos tiempos de contacto.

Con respecto a la concentración de metal, se demostró que 1 gramo de borra de café es capaz de remover hasta 50 ppm de cromo hexavalente en el proceso de biosorción.

Con respecto al efecto del tamaño de partícula, se concluye que para lograr una eficiente remoción de cromo hexavalente no es necesario triturar y/o moler la borra de café para obtener mayor eficiencia en el proceso de biosorción, siendo el Tamiz N° 10 a diferencia del Tamiz N° 100 el que presenta mayor porcentaje de remoción.

#### **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda aplicar el procedimiento presentado en efluentes contaminados con cromo hexavalente (Cr VI), y comprobar los resultados de campo con los resultados obtenidos en esta investigación.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algarra, J.S. 2015. Evaluación de un filtro con biomasa de cáscara *Citrus limonia* para remoción de cromo III en solución acuosa. Tesis Ing. Ambiental. Bogotá, Colombia, Universidad Libre de Colombia. 14, 33 p.
- Allouche, F.N.; Mameri, N y Guibal, E. 2011. Biosorción de Pb (II) en la biomasa de *Posidonia oceanica*. Revista de Ingeniería Química. 43 p.
- Angarita, F.A. 2013. Borra de café como material adsorbente para la remoción de cromo III. Tesis Ing. Ambiental. Bogotá, Colombia, Universidad Libre Sede Bogotá. 30, 55p.
- Armas, E.S y Guevara, A.G. 2017. Biosorción de cromo total en soluciones ideales utilizando una matriz de microalgas nativas inmovilizadas en alginato cálcico. Tesis Ing. Ambiental. Trujillo. Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 13p.
- Araujo, C.N. y Quispe, T. 2018. Evaluación Del Proceso De Adsorción De Cr (VI) En Raspo De Uva En Medios Acuoso. Tesis Quim. Farm. Arequipa, Perú, Universidad Autónoma del Sur. 24 p.
- Buitrón, DE. 2015. Biosorción de cromo y níquel en aguas contaminadas usando quitosano. Tesis Ing. Química. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador. 17 p.
- Carro, L. 2012. Eliminación de mercurio de efluentes acuoso con materiales de bajo coste: proceso combinado de bioadsorción - reducción. Coruña, España, Universidad de Coruña. 75, 416 p.
- Castro, B. 2015. uso de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) maduro deshidratado (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo

- y cromo en aguas contaminadas. Mg. Impactos Ambientales. Guayaquil, Ecuador, Universidad De Guayaquil. 94 p.
- Campos, M. 2006. Remoción de cromo (VI) y difenilcarbazida presentes en solución acuosa, provenientes de la cuantificación de cromo hexavalente, por métodos electroquímicos y sorción. 28 p.
- Cañizares, RO. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiología. Zacatecas, México, Instituto Politecnico Nacional. 132 p.
- Choquejahuá, Y. 2018. Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomásas de granos de cebada (*Hordeum vulgare L.*) y avena (*Avena sativa L.*) bajo condiciones altoandinas-Puno. Tesis Ing. Ambiental. Juliaca, Puno, Universidad Peruana Unión. 55p.
- Concha, CC y García, TL. 2017. Análisis de la concentración de cromo hexavalente (VI) con relación al pH en las aguas superficiales de la ciénaga de las quintas en la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis Ing. procesos. Cartagena de Indias, Colombia.
- Cotton, F. A. y Wilkinson, G. 1998. Química inorgánica. 1° Ed. Limusa México. 851 p.
- Elinder, C.G. 1994. Biological monitoring of metals. Geneva: World Health Organization. 78 p.
- García, A. 2010. Procesos Batch: Modelado y simulación de la sección de cristalización de una azucarera. Centro de Tecnología Azucarera. 18 p.
- Gálvez, JE. 2017. Influencia de temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *Musa cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente. Tesis Ing. Ambiental. Trujillo, Perú, Universidad Cesar Vallejo. 24 p.

- Gil, J.C. 2012. Tratamiento electroquímico para la remoción de metales pesados en residuos líquidos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad del Cauca. Maestría en Ingeniería. Santiago de Cali, Colombia, Universidad del Cauca. 10, 17p.
- Glorias, F. 2014. Remoción de cromo hexavalente utilizando un sistema de filtración con  $\alpha$ -alúmina. Tesis Maestría Ciencias Ambientales. Toluca, México. 96 p.
- Guerra, I.M. y Meléndez, H.P. 2019. Evaluación de adsorción de cromo en solución acuosa de flujo no continuo utilizando broza de café. Lic. Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador, Universidad De El Salvador. 90 p.
- Gutiérrez F. y Cervantes, C. 2008. Interacciones microbianas con el cromo: mecanismos y potencial biotecnológico. Ideas CONCYTEG. Año 3, Volumen. 37. 26, 31 p.
- Hera, J. 2008. Estudio de transporte eléctrico y magnético dopada con  $Al_2O_3$  para 10, 20y 30% en peso. Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 12, 66 p.
- Huallpa, W.M. 2017. Biosorción con panca de maíz (*Zea mays*) para la remoción de Arsénico en aguas contaminadas a nivel de laboratorio, 2017. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Cesar Vallejo. 34 p.
- Hossain M, Kumita M, Michigami Y, y Mori, S (2005); Optimization of Parameters for Cr (VI) Adsorption on used black tea leaves; Adsorption 11. 561 p.
- Huanca Luque, M. 2019. Validación de un método analítico para la determinación de cromo hexavalente por espectrofotometría en aguas residuales provenientes de curtiembres, Arequipa-2018. Tesis Quím. Farmacéutico. Arequipa, Perú, Universidad Privada Autónoma. 37 p.
- Izquierdo, M. 2010. Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. evaluación de materiales y modelación del proceso. Universidad de Valencia. 52p.

- Jáuregui, JR. 2015. Adsorción y desorción de iones de plata sobre quitina y quitosano de *Litopenaeus vannamei*. Tesis Mg. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú. 11, 22 p.
- Lagos, K. 2016. Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Católica del Perú. 20 p.
- Klug, M.; Gamboa, N.; Lorber, K. 2015. Fluidized bed pyrolysis with coffee grounds – Overview and first results of the research for generation of renewable energy in Perú. European International Journal of Science and Technology. Lima. 114p.
- Martín, MA. 2008. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. Tesis Doctoral. Universidad de Granada Facultad de Ciencias. Recuperado de <http://hera.ugr.es/tesisugr/17514629.pdf>
- Machado, SX. 2017. Análisis del proceso de biosorción de cobre presente en efluentes líquidos utilizando bagazo de caña de azúcar y cáscara de cacao. Tesis ing. Cuenca, Ecuador, Universidad de Cuenca. 14 p.
- Milovanovic, J. 2011. Desarrollo y optimización de un método para la determinación de Cr<sup>6+</sup> en matrices complejas. San Vicente de Raspeig, España, Universidad de Alicante. 10 p.
- Miranda, NS. 2017. Biosorción de cromo Cr (VI) de soluciones acuosas por la biomasa residual de hojas de eucalipto (*Globulus labill*). Dr. en Ciencia, Tecnología y Ambiente. Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. 29 p.
- Naranjo M, Vélez T, Rojano BA. 2011. Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. Revista Cubana Plantas Medicas. 164 p
- Núñez, RA. 2007. Técnicas in vitro para la biorremediación de cromo y plomo. Tesis Ing. en Biotecnología. Cartago, Costa Rica. 38 p.

- Pabon, JC y Rosas, WA. 2016. Determinación de la eficiencia de adsorción de la cáscara de café y cáscara de papa en la remoción de Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de una curtiembre de Pandiaco. Tesis Ing, Químico. San Juan de Basto. 9 p.
- Prado, DG. y Chávez, F. 2013. Factibilidad de biosorción de cromo (III y VI) en aguas residuales industriales - ARI's contaminadas utilizando microflora nativa aislada y caracterizada en su hábitat proveniente del Parque Industrial Rio Seco- PIRS Arequipa, Perú. Tesis Ing. Biotecnólogo, Arequipa, Perú, Universidad Católica Santa María. 34, 48 p.
- Quintana, R. 2011. Análisis Granulométrico. Centro de Investigaciones de Soldadura. Universidad Central de Las Villas. 2p.
- Ramírez, AG. 2018. Evaluación del proceso de biosorción de la inflorescencia del *Chenopodium quinoa* (quinua) para la remoción de cromo (VI). Tesis Ing. Biotecnólogo. Arequipa, Perú, Universidad Católica de Santa María. 61 p.
- Ramos, JM. 2010. Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra (cuncho) de café. Tesis Mg, Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 22, 34p.
- Rengel, MM. 2018. Evaluación de la capacidad de adsorción de la suspirrosa (*lantana cámara*) en la remoción de cromo de aguas residuales en la industria de la curtiembre. Tesis Ing Ambiental. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional. 23 p.
- Rodríguez, KJ. 2017. Eficiencia de tres variedades de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) para la remoción de cromo hexavalente de aguas contaminadas a nivel laboratorio, SJL – 2017. Tesis Ing. Ambiental, Universidad Cesar Vallejo. 38p.
- Rosique Hueso, M. 2013. Bioadsorción de cadmio por biomasa de opuntia. Tesis Ing. Industrial. Cartagena, Colombia, Universidad Politécnica de Cartagena. 37 p.

- Rudiger, A. 1975. Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia. Chile, Universidad Austral de Chile. 3p.
- Shafique, U., Anwar, J. & Anzano, J. (2011). Treatment of chromium polluted water through biosorption, and environment friendly approach. Chapter 9. Chromium: Environmental, Medical and Materials Studies. Editorial Margaret P. Salden. Nova Science Publishers, Inc. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzQzOTU5O9fQU41?sid=20f15589-2a84-421abaf549a4ce637ddb@sessionmgr4004&vid=4&format=EB&rid=10>
- Salazar, BM. y Zea, GV. 2015. Estudio del proceso de biosorción del endocarpio de aceituna "*Olea europaea*" para la remoción de plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas. Tesis Ing. Biotecnología. Arequipa, Perú, Universidad Católica de Santa María. 20 p.
- Sánchez, D. 2008. Reducción de cromo VI y biosorción de cromo por materiales biológicos inactivos. Tesis Ing. Quimicobiológico. México, Universidad Politécnica Nacional. 35 p.
- Tenorio Rivas, G. 2006. Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. Tesis Doc. Granada, España, Universidad de Granada. 28 p.
- Volesky, B. 2003. Biosorption process simulation tools, Hydrometallurgy. 190 p.
- Volesky B. (2001) Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. Hydrometallurgy. 59 p.
- Zapién, L. 2013. Biosorción de Cr (VI) en solución acuosa utilizando cáscara de membrillo, en un sistema por lotes. Mg. Ing. Ambiental. Michoacán, México. 87p.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

ANEXO 1. Características fisicoquímicas de la borra de café

ANEXO 2. Verificación de la longitud de onda

ANEXO 3. Curvas de calibración

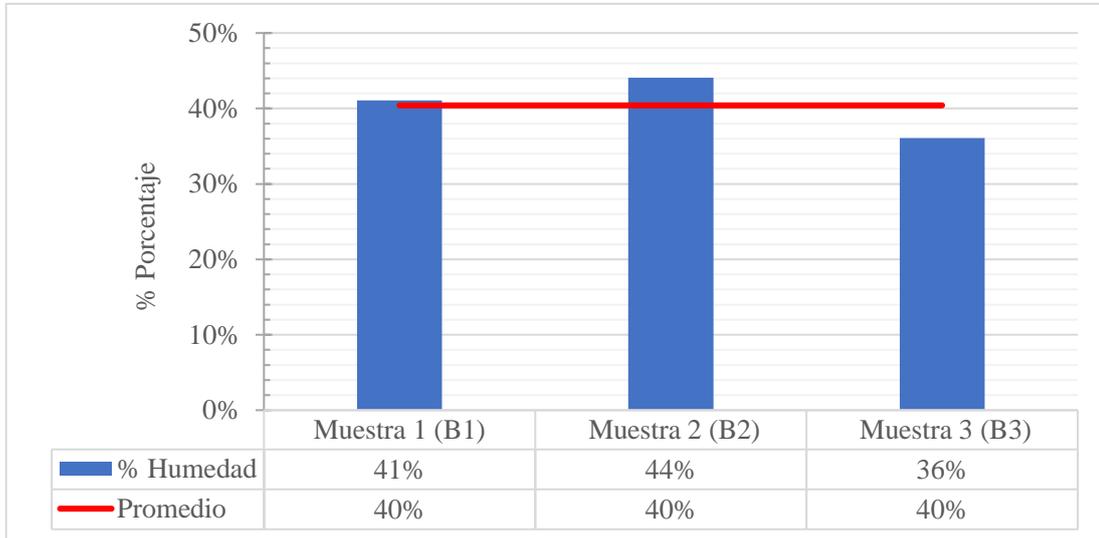
ANEXO 4. Parámetros de estandarización para el método espectrofotométrico

ANEXO 5. Panel Fotográfico

ANEXO 6. Ensayos de laboratorio

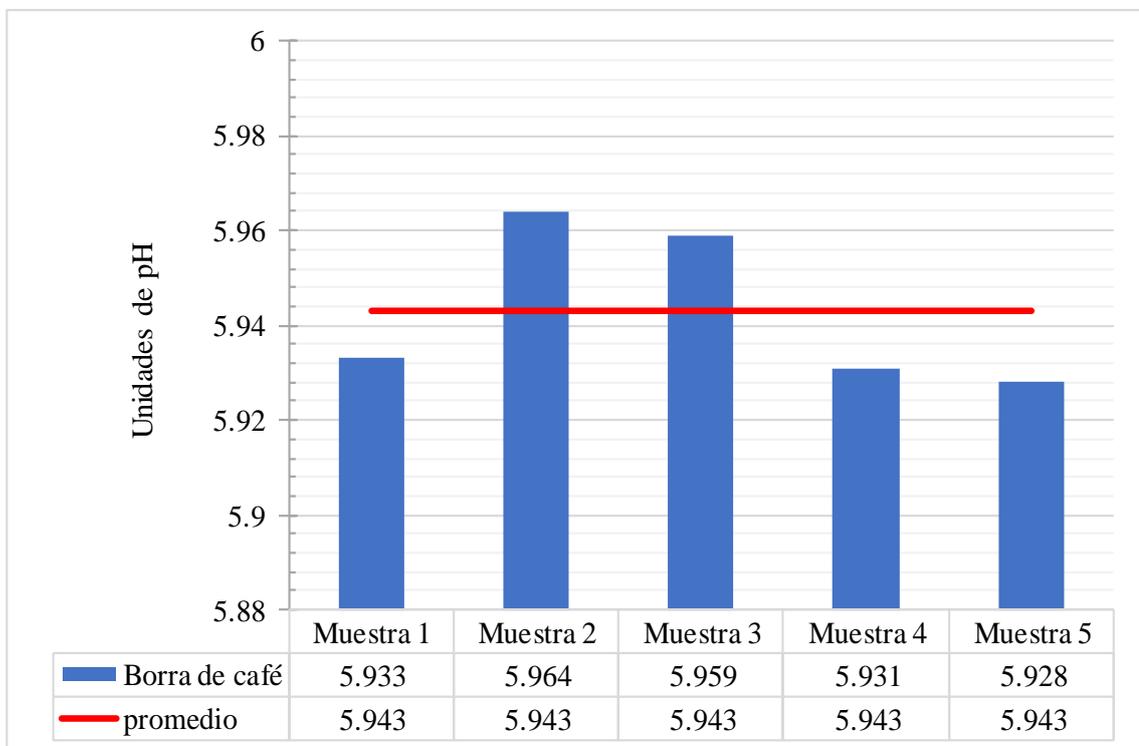
## ANEXO 1. Características fisicoquímicas de la borra de café

### 1.1.Humedad

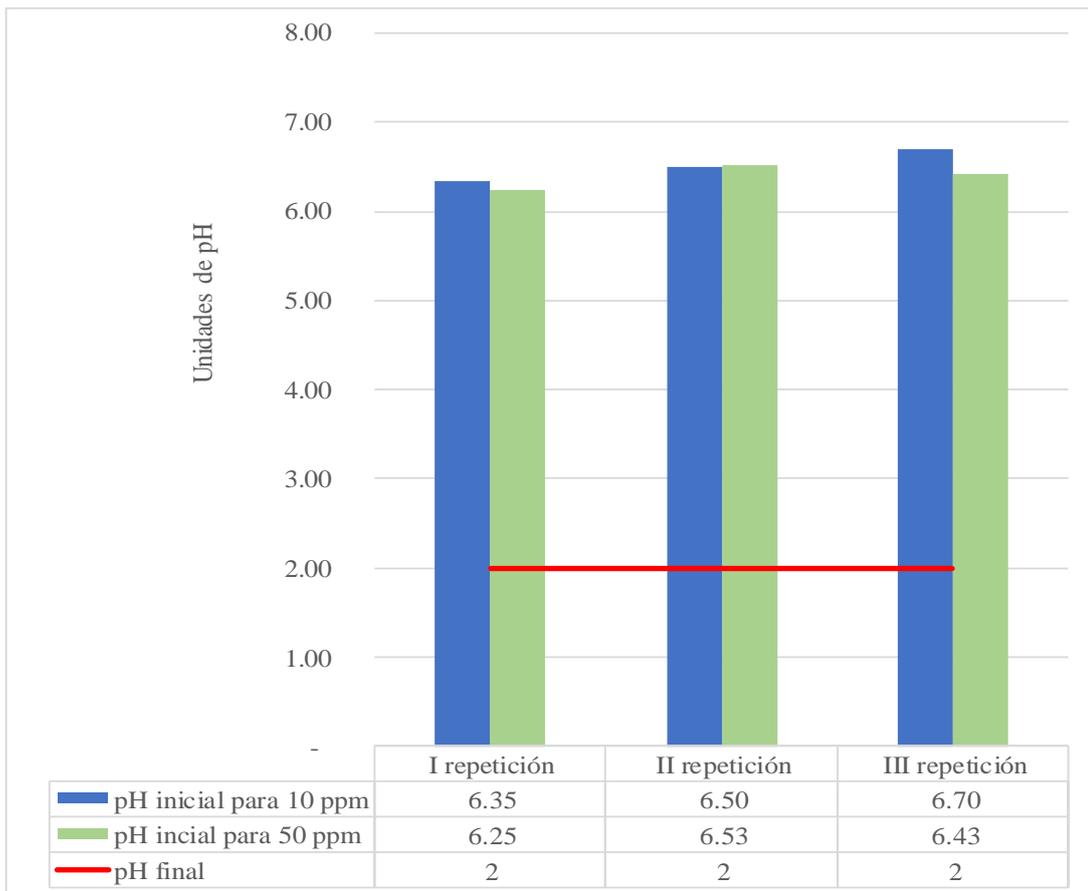


**Figura 32.** Valores de humedad en la borra de café previo al proceso de biosorción

### 1.2.pH



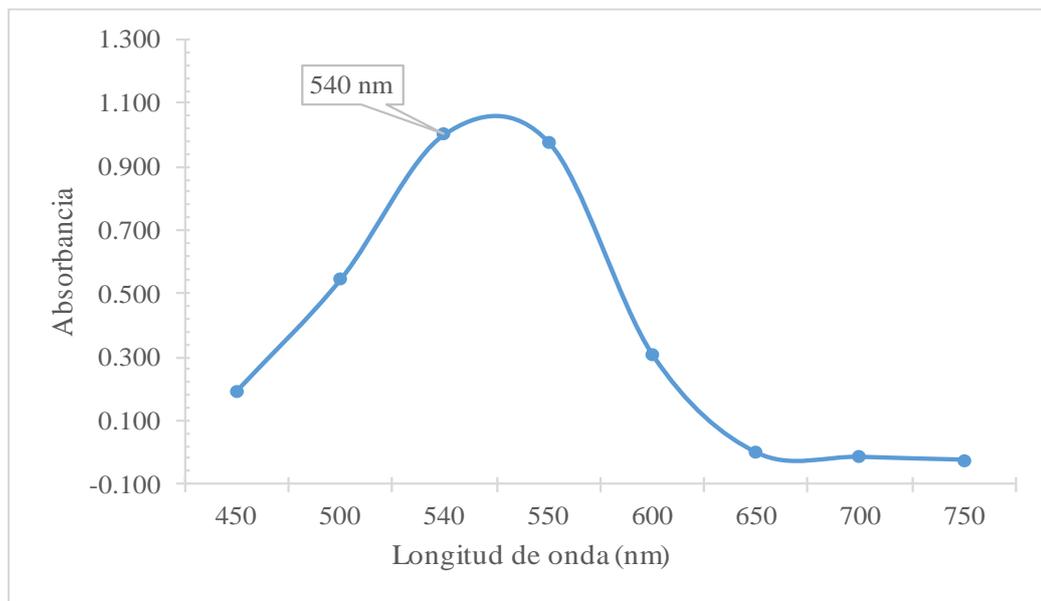
**Figura 33.** Valores de pH en muestras de borra de café previo al proceso de biosorción



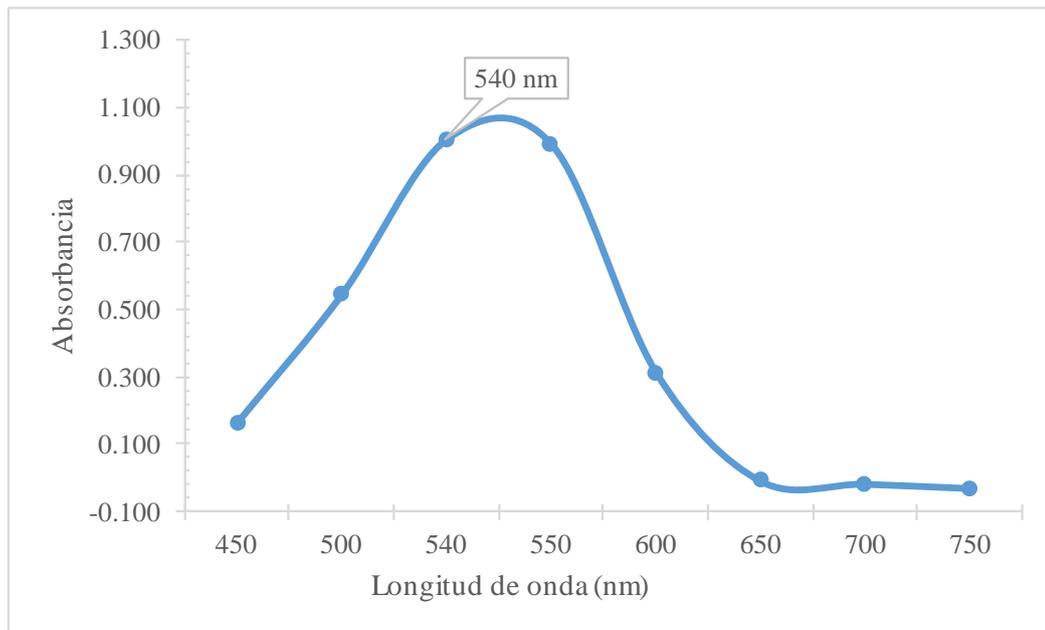
**Figura 34.** Valores de pH en los tratamientos durante el proceso de biosorción

## ANEXO 2. Verificación de la longitud de onda

Para la verificación de la longitud de onda se realizó un barrido espectrofotométrico de 450 nm a 750 nm en el “Espectrofotómetro UV/VIS PHARO 300” usando una solución de Cromo hexavalente (Cr VI) de 2 mg/L.



**Figura 35.** Barrido espectrofotométrico de 450nm a 750nm para curva de 10ppm



**Figura 36.** Barrido espectrofotométrico de 450nm a 750nm para curva de 50ppm

### ANEXO 3. Curvas de calibración o soluciones de calibración

En la Tabla 12, se muestran las pendientes de las curvas de calibración obtenidas y su respectivo coeficiente de correlación.

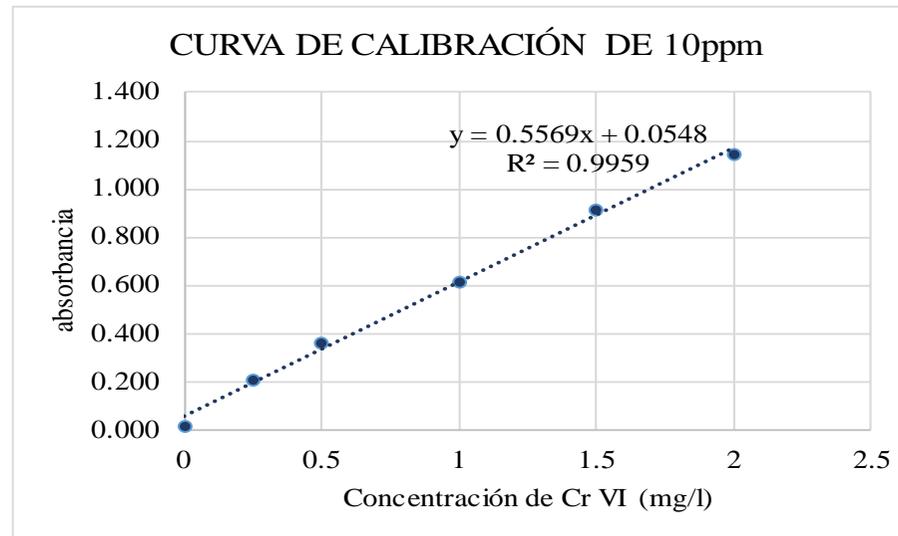
**Tabla 12.** Pendientes y coeficientes de correlación ( $r^2$ ) de las curvas de calibración

<b>Pendiente de la curva</b>	<b>Repetición I</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>Repetición II</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>Repetición III</b>	<b><math>r^2</math></b>
<b>10 ppm</b>	0.6244	0.9973	0.6402	0.9992	0.6321	0.9986
<b>50 ppm</b>	0.645	0.9995	0.6387	0.9991	0.6241	0.9993

De la tabla anterior podemos decir que para los valores de pendientes las variaciones son mínimas entre las repeticiones y las correlaciones ( $r^2$ ) muestran la linealidad al estar cercanas a 1.

**Tabla 13.** Curva de calibración de 10 ppm – Primera repetición

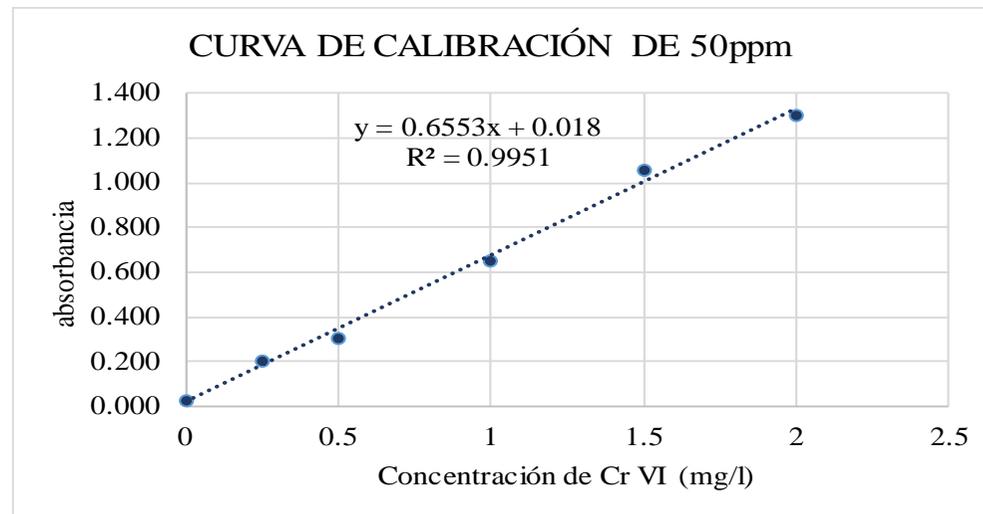
Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540nm)			Abs. Prom.	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
0	9	2	0.006	0.005	0.008	0.006	0.002	0.241	0.007	0.024
0.25	4.2	2	0.170	0.172	0.172	0.165	0.001	0.007	0.006	0.018
0.5	4.3	2	0.378	0.377	0.375	0.370	0.002	0.004	0.007	0.024
1	4	2	0.628	0.628	0.626	0.621	0.001	0.002	0.006	0.018
1.5	4	2	0.936	0.938	0.935	0.930	0.002	0.002	0.007	0.024
2	4	2	1.288	1.288	1.289	1.282	0.001	0.000	0.003	0.009



**Figura 37.** Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Primera repetición

**Tabla 14.** Curva de calibración de 50 ppm – Primera repetición

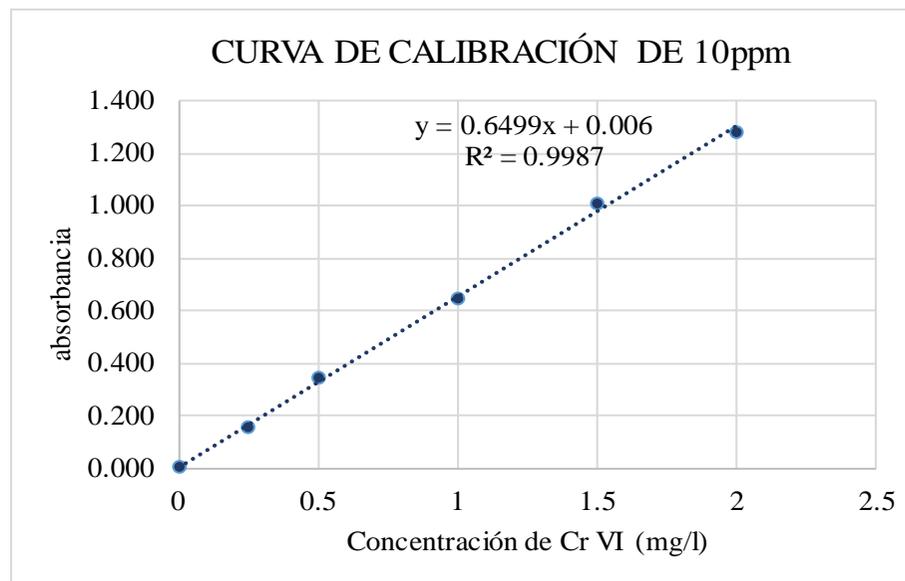
Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540 nm)			Abs. Prom	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
0	6.9	2	0.008	0.009	0.008	0.008	0.001	0.069	0.003	0.009
0.25	4.2	2	0.198	0.199	0.196	0.189	0.002	0.008	0.007	0.024
0.5	4.2	2	0.337	0.335	0.340	0.329	0.003	0.008	0.012	0.039
1	4.1	2	0.661	0.668	0.667	0.657	0.004	0.006	0.018	0.059
1.5	4.1	2	1.015	1.011	0.995	0.999	0.011	0.011	0.049	0.164
2	4.1	2	1.308	1.303	1.301	1.296	0.004	0.003	0.017	0.056



**Figura 38.** Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Primera repetición

**Tabla 15.** Curva de calibración de 10 ppm – Segunda repetición

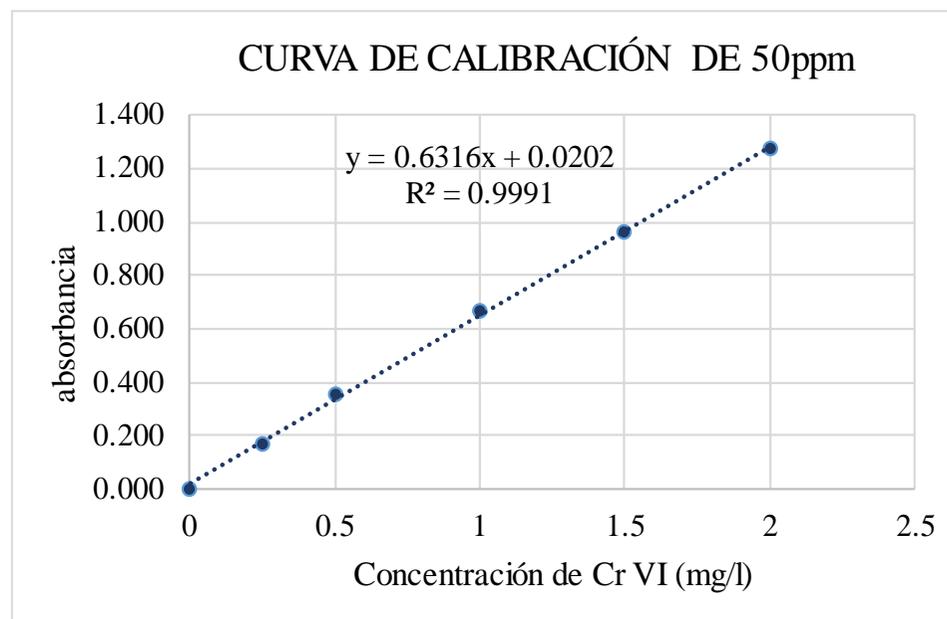
Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540 nm)			Abs. prom	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
0	9.3	2	0.004	0.005	0.002	0.004	0.002	0.417	0.007	0.024
0.25	4.3	2	0.157	0.157	0.155	0.156	0.001	0.007	0.005	0.018
0.5	4.2	2	0.344	0.344	0.346	0.345	0.001	0.003	0.005	0.018
1	4.1	2	0.635	0.638	0.637	0.637	0.002	0.002	0.007	0.024
1.5	4.2	2	0.951	0.948	0.947	0.949	0.002	0.002	0.010	0.033
2	4.2	2	1.298	1.295	1.296	1.296	0.002	0.001	0.007	0.024



**Figura 39.** Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Segunda repetición

**Tabla 16.** Curva de calibración de 50 ppm – segunda repetición

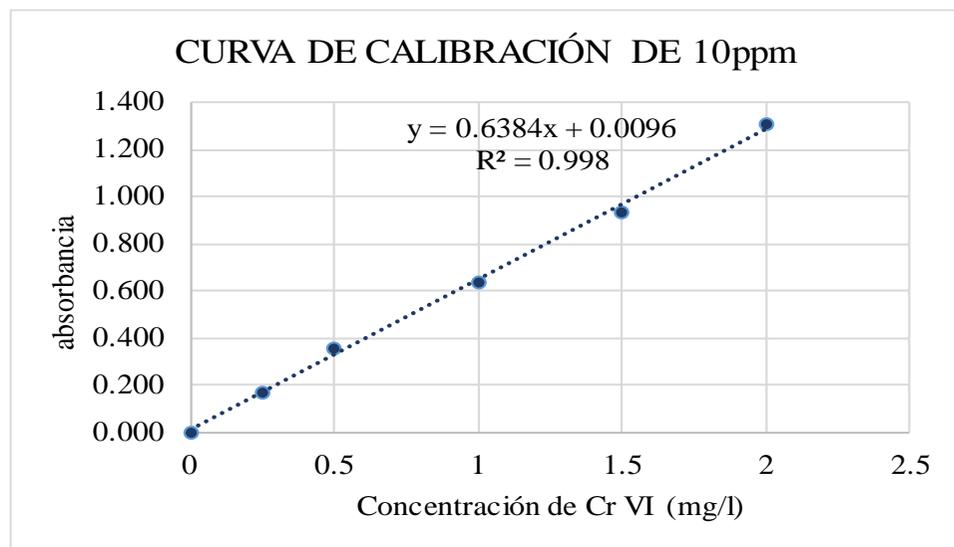
Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540 nm)			Abs. Prom.	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
0	6.9	2	0.004	0.003	0.004	0.004	0.001	0.157	0.003	0.009
0.25	4.1	2	0.174	0.174	0.172	0.173	0.001	0.007	0.005	0.018
0.5	4.1	2	0.348	0.350	0.345	0.348	0.003	0.007	0.012	0.039
1	4.2	2	0.671	0.675	0.677	0.674	0.003	0.005	0.014	0.048
1.5	4.2	2	0.986	0.987	0.986	0.986	0.001	0.001	0.003	0.009
2	4.1	2	1.277	1.276	1.280	1.278	0.002	0.002	0.010	0.033



**Figura 40.** Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Segunda repetición

**Tabla 17.** Curva de calibración de 10 ppm – tercera repetición

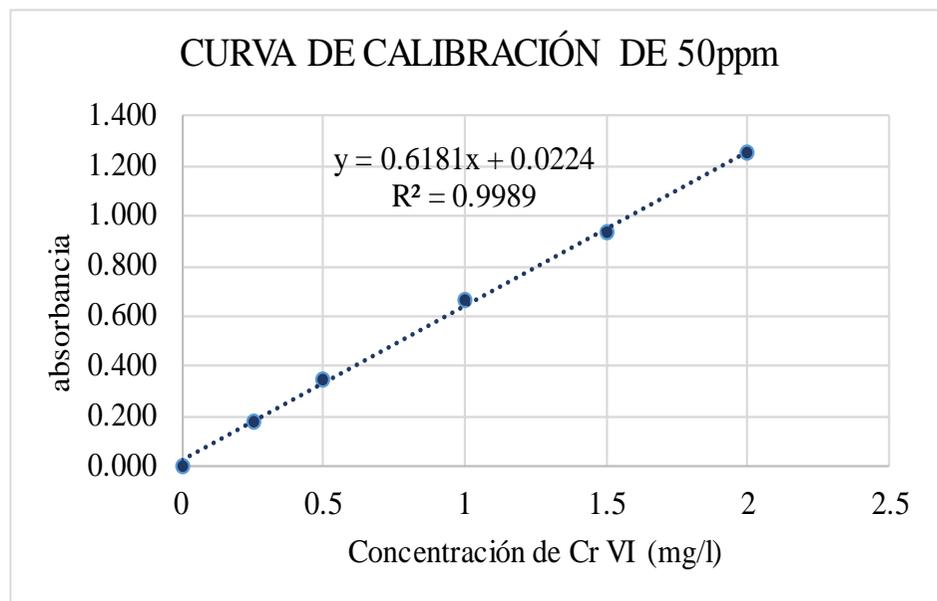
Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540 nm)			Abs. prom.	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
<b>0</b>	8.6	2	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.346	0.003	0.009
<b>0.25</b>	4.1	2	0.172	0.174	0.172	0.173	0.001	0.007	0.005	0.018
<b>0.5</b>	4.2	2	0.354	0.355	0.354	0.354	0.002	0.005	0.008	0.027
<b>1</b>	4.2	2	0.633	0.630	0.633	0.632	0.002	0.003	0.010	0.033
<b>1.5</b>	4.1	2	0.937	0.936	0.940	0.938	0.002	0.002	0.010	0.033
<b>2</b>	4.1	2	1.292	1.295	1.290	1.292	0.003	0.002	0.012	0.040



**Figura 41.** Gráfico de la curva de calibración de 10 ppm – Tercera repetición

**Tabla 18.** Curva de calibración de 10 ppm – tercera repetición

Concentraciones mg/L	pH inicial	pH final	Absorbancia (540 nm)			ABS. Prom.	Desviación estándar (S)	Coeficiente de variación (CV %)	Límite de detección (LDD) (3*S/m)	Límite de cuantificación (LDC) (10*S/m)
			abs.1	abs.2	abs.3					
0	6.8	2	0.009	0.011	0.008	0.009	0.002	0.164	0.007	0.024
0.25	4.1	2	0.171	0.172	0.170	0.171	0.001	0.006	0.005	0.016
0.5	4.2	2	0.338	0.334	0.339	0.337	0.003	0.008	0.013	0.042
1	4.2	2	0.655	0.656	0.657	0.656	0.001	0.002	0.005	0.016
1.5	4.1	2	0.972	0.970	0.966	0.969	0.003	0.003	0.015	0.049
2	4.1	2	1.252	1.252	1.246	1.250	0.003	0.003	0.017	0.056



**Figura 42.** Gráfico de la curva de calibración de 50 ppm – Tercera repetición

## ANEXO 4. Parámetros de estandarización para el método espectrofotométrico

### Límite de detección y límite de cuantificación

A partir cada curva de calibración de 10 ppm se determinó el límite de detección y el límite de cuantificación (Tabla 19).

**Tabla 19.** Límite de detección y cuantificación para las curvas de 10 ppm y 50 ppm

PARÁMETRO	Curva de 10 ppm			Curva de 50 ppm		
	Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 1	Curva 2	Curva 3
Desviación estándar del intercepto (s)	0.001	0.001	0.001	0.008	0.001	0.001
Pendiente (m)	0.624	0.6402	0.6321	0.645	0.6387	0.6241
Límite de detección (LDD)	0.006	0.005	0.005	0.007	0.005	0.005
Límite de cuantificación (LDC)	0.018	0.018	0.018	0.024	0.018	0.016

De la anterior tabla, se analiza que el límite de detección para las curvas de 10 ppm se encuentra entre 0.05 mg/L a 0.006 mg/L, mientras que para las curvas de 50 ppm es de 0.005 mg/L a 0.07 mg/L y el límite de cuantificación para las curvas de 10 ppm es de 0.018 mg/L; y para las curvas de 50 ppm es de 0.016 a 0.024 mg/L, indicando que el método usado es confiable para lecturas a bajas concentraciones.

### Linealidad

Un método puede ser considerado lineal solo si, el coeficiente de correlación o regresión lineal es mayor a 0.995 (Araujo y Quispe 2018). En la Tabla 19 anteriormente presentada, se observa que el coeficiente de correlación ( $r^2$ ) es cercano a 1, por lo tanto, la correlación es lineal.

## Precisión

**Tabla 20.** Absorbancias y análisis estadístico de la curva de calibración de 10 ppm

Concentraciones mg/L	Primera repetición		Segunda repetición		Tercera repetición	
	Abs. Prom.	coeficiente de variación (CV %)	Abs. Prom.	coeficiente de variación (CV %)	Abs. Prom.	coeficiente de variación (CV %)
<b>0</b>	0.006	0.241	0.004	0.417	0.002	0.346
<b>0.25</b>	0.165	0.007	0.156	0.007	0.173	0.007
<b>0.5</b>	0.37	0.004	0.345	0.003	0.354	0.005
<b>1</b>	0.621	0.002	0.637	0.002	0.632	0.003
<b>1.5</b>	0.93	0.002	0.949	0.002	0.938	0.002
<b>2</b>	1.282	0	1.296	0.001	1.292	0.002

En las Tablas 20 y 21, se puede observar el coeficiente de variación de la media de las absorbancias para la curva de 10 y 50 ppm a determinadas concentraciones, donde los resultados muestran un coeficiente de variación menor a 3%; según Gil (2012) un coeficiente de variación menor al 3% indica precisión en cuanto a la técnica instrumental establecida; por lo tanto, se puede considerar el método seleccionado para determinar cromo hexavalente como preciso.

**Tabla 21.** Absorbancias y análisis estadístico de la curva de calibración de 50 ppm

Concentraciones mg/L	Primera repetición		Segunda repetición		Tercera repetición	
	Abs. Prom.	Coficiente de variación (CV %)	Abs. Prom.	Coficiente de variación (CV %)	Abs. Prom.	Coficiente de variación (CV %)
<b>0</b>	0.008	0.069	0.004	0.157	0.009	0.164
<b>0.25</b>	0.189	0.008	0.173	0.007	0.171	0.006
<b>0.5</b>	0.329	0.008	0.348	0.007	0.337	0.008
<b>1</b>	0.657	0.006	0.674	0.005	0.656	0.002
<b>1.5</b>	0.999	0.011	0.986	0.001	0.969	0.003
<b>2</b>	1.296	0.003	1.278	0.002	1.25	0.003

## ANEXO 5. Panel Fotográfico



**Figura 44.** Preparación de reactivos



**Figura 43.** Regulación de pH



**Figura 46.** Determinación de Humedad



**Figura 45.** Secado de la borra de café



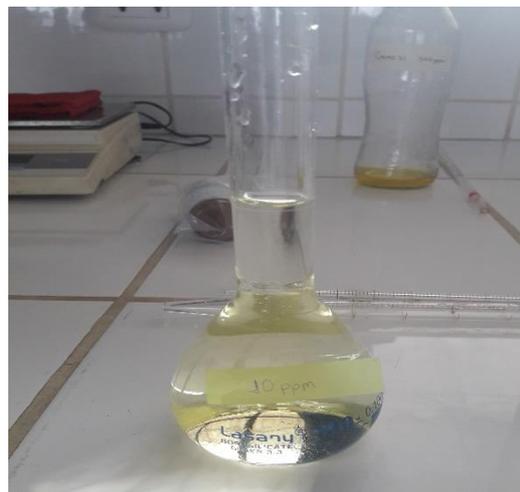
**Figura 47.** Preparación de Cr VI



**Figura 48.** Pesado de  $K_2Cr_2O_7$



**Figura 50.** Solución estándar de 50 ppm



**Figura 49.** Solución estándar de 10 ppm



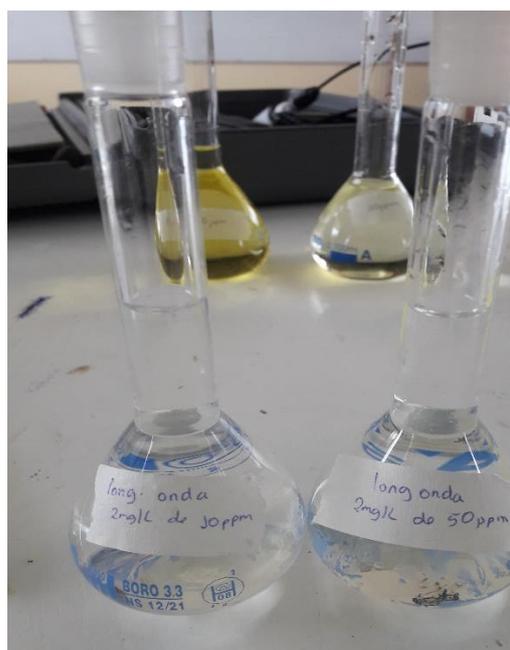
**Figura 52.** Curvas de calibración de 10 ppm



**Figura 51.** Curva de calibración de 50 ppm



**Figura 53.** Filtrado de muestras



**Figura 54.** Soluciones para la medición de longitud de onda



**Figura 60.** Filtrado de muestras



**Figura 59.** Filtrado de muestras



**Figura 58.** Trituración de borra de café



**Figura 57.** Tamizado de borra de café



**Figura 56.** Lecturas en espectrofotómetro a 540nm



**Figura 55.** Toma de alícuotas de Cr VI

## ANEXO 6. Ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL – SEDE CELENDÍN  
“AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD”



### INFORME DE ENSAYO

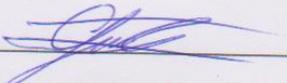
Fecha de análisis:	12/09/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
TIPO DE ENSAYO :BARRIDO ESPECTOFOTOMÉTRICO DE 450 nm A 750 nm – ELECCIÓN DE LONGITUD DE ONDA

LONGITUD DE ONDA (nm)	ABSORBANCIAS				OBSERVACIONES
	ABS.1	ABS.2	ABS.3	PROMEDIO ABS.	
450	0.166	0.167	0.166	0.166	
500	0.547	0.546	0.546	0.546	
540	1.004	1.005	1.005	1.005	
550	0.991	0.993	0.988	0.991	
600	0.315	0.315	0.314	0.315	
650	-0.009	-0.008	-0.008	-0.008	
700	-0.017	-0.018	-0.018	-0.018	
750	-0.031	-0.03	-0.03	-0.030	

Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



  
Segundo Guevara Camacho  
Técnico de laboratorio - UNC

  
Ing. Jorge Lezama Bueno  
Jefe de laboratorio - EAPIAC



  
Msc. Manuel Roncal Rabanal  
Director - EAPIAC



### INFORME DE ENSAYO

Fecha de análisis:	12/09/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
 TIPO DE ENSAYO :BARRIDO ESPECTOFOTOMÉTRICO DE 450 nm A 750 nm – ELECCIÓN DE LONGITUD DE ONDA

BARRIDO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE 450 nm A 750 nm PARA UNA SOLUCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE (Cr VI) DE 2mg/L DE 10 ppm

LONGITUD DE ONDA (nm)	ABSORBANCIAS				OBSERVACIONES
	ABS.1	ABS.2	ABS.3	PROMEDIO ABS.	
450	0.191	0.194	0.194	0.193	
500	0.544	0.546	0.548	0.546	
540	1.007	1.002	1.005	1.005	
550	0.977	0.981	0.98	0.979	
600	0.313	0.309	0.3	0.307	
650	-0.001	-0.001	-0.003	-0.002	
700	-0.011	-0.018	-0.017	-0.015	
750	-0.027	-0.026	-0.02	-0.024	

Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



Segundo Guevara Camacho  
Técnico de laboratorio - UNC

Ing. Jorge Lezama Bueno  
Jefe de laboratorio - EAPIAC



Msc. Manuel Roncal Rabanal  
Director - EAPIAC



## INFORME DE ENSAYO

Fecha de análisis:	12/09/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
TIPO DE ENSAYO :DETERMINACIÓN DEL pH DE LA BORRA DE CAFÉ

N° DE REPETICIONES	TIPO DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADOS	OBSERVACIONES
01	BORRA DE CAFÉ	pH	5.933	
02	BORRA DE CAFÉ	pH	5.964	
03	BORRA DE CAFÉ	pH	5.959	
04	BORRA DE CAFÉ	pH	5.931	
05	BORRA DE CAFÉ	pH	5.928	
PROMEDIO			5.943	

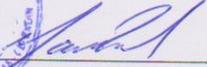
Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



  
Segundo Guevara Camacho  
Técnico de laboratorio - UNC

  
Ing. Jorge Lezama Bueno  
Jefe de laboratorio - EAPIAC



  
Msc. Manuel Roncal Rabanal  
Director - EAPIAC



### INFORME DE ENSAYO

Fecha de análisis:	21/10/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
 TIPO DE ENSAYO :DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA BORRA DE CAFÉ

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	PESO DE LA PLACA (g)	PESO HÚMEDO (g)	OBSERVACIONES
01	B1	BORRA DE CAFÉ	60.6876	100	MUESTRA HÚMEDA
02	B2	BORRA DE CAFÉ	47.6241	100	MUESTRA HÚMEDA
03	B3	BORRA DE CAFÉ	39.5178	100	MUESTRA HÚMEDA

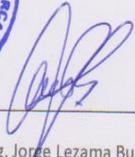
#### RESULTADOS DE MUESTRAS

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	PESO SECO (g)	PARÁMETRO	% HUMEDAD	OBSERVACIONES
01	B1	100	HUMEDAD	41%	
02	B2	100	HUMEDAD	44%	
03	B3	100	HUMEDAD	36%	

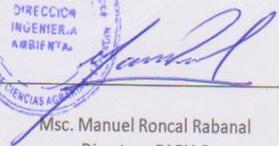
Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



  
 Segundo Guevara Camacho  
 Técnico de laboratorio - UNC

  
 Ing. Jorge Lezama Bueno  
 Jefe de laboratorio - EAPIAC



  
 Msc. Manuel Roncal Rabanal  
 Director - EAPIAC



**INFORME DE ENSAYO**

Fecha de análisis:	21/10/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
 TIPO DE ENSAYO :DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA BORRA DE CAFÉ

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	PESO DE LA PLACA (g)	PESO HÚMEDO (g)	OBSERVACIONES
01	B1	BORRA DE CAFÉ	60.6876	100	MUESTRA HÚMEDA
02	B2	BORRA DE CAFÉ	47.6241	100	MUESTRA HÚMEDA
03	B3	BORRA DE CAFÉ	39.5178	100	MUESTRA HÚMEDA

**RESULTADOS DE MUESTRAS**

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	PESO SECO (g)	PARÁMETRO	% HUMEDAD	OBSERVACIONES
01	B1	100	HUMEDAD	41%	
02	B2	100	HUMEDAD	44%	
03	B3	100	HUMEDAD	36%	

Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



Segundo Guevara Camacho  
 Técnico de laboratorio - UNC

Ing. Jorge Lezama Bueno  
 Jefe de laboratorio - EAPIAC



Msc. Manuel Roncal Rabanal  
 Director - EAPIAC



### INFORME DE ENSAYO

Fecha de análisis:	18/10/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
 TIPO DE ENSAYO : DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE CROMO  
 HEXAVALENTE (Cr VI) EN MEDIO ACUOSO USANDO LA BORRA DE CAFÉ

#### ANÁLISIS DE CROMO HEXAVALENTE (Cr VI) - TERCERA REPETICIÓN

Código del tratamiento	Condiciones experimentales					Resultados obtenidos			
	Concentración de borra (g)	pH	N° de tamiz	Tiempo de contacto	Concentración inicial de Cr VI (ppm)	Concentración final de Cr VI (ppm)	Cantidad adsorbida de Cr VI (ppm)	% de Cr VI removido	
T1 T1R3	1	2	10	30	10	0.671	9.329	93.29%	
T2 T1R3	1	2	100	30	10	0.809	9.191	91.91%	
T3 T1R3	1	2	10	30	50	1.275	48.725	97.45%	
T4 T1R3	1	2	100	30	50	1.408	48.592	97.18%	
T5 T1R3	1	2	10	90	10	0.646	9.354	93.54%	
T6 T1R3	1	2	100	90	10	0.508	9.492	94.92%	
T7 T1R3	1	2	10	90	50	1.099	48.901	97.80%	
T8 T1R3	1	2	100	90	50	1.247	48.753	97.51%	

OBSERVACIONES:.....  
 .....

Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.

  
 Segundo Guevara Camacho  
 Técnico de laboratorio - UNC



  
 Ing. Jorge Lezama Bueno  
 Jefe de laboratorio - EAPIAC



  
 Msc. Manuel Roncal Rabanal  
 Director - EAPIAC



**INFORME DE ENSAYO**

Fecha de análisis:	03/10/2019
Fecha de reporte:	24/10/2019

SOLICITANTE :MARIBEL SILVA GOICOCHEA  
 TIPO DE ENSAYO : DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE CROMO  
 HEXAVALENTE (Cr VI) EN MEDIO ACUOSO USANDO LA BORRA DE CAFÉ

ANÁLISIS DE CROMO HEXAVALENTE (Cr VI) – SEGUNDA REPETICIÓN

Código del tratamiento	Condiciones experimentales				Resultados obtenidos			
	Conc. de borra (g)	pH	N° de tamiz	Tiempo de contacto	Conc. inicial de Cr VI (ppm)	Conc. final de Cr VI (ppm)	Cant. adsorbida de Cr VI (ppm)	% de Cr VI removido
T1 T1R2	1	2	10	30	10	0.68	9.32	93.20%
T2 T1R2	1	2	100	30	10	0.976	9.024	90.24%
T3 T1R2	1	2	10	30	50	1.291	48.709	97.42%
T4 T1R2	1	2	100	30	50	1.562	48.438	96.88%
T5 T1R2	1	2	10	90	10	0.673	9.327	93.27%
T6 T1R2	1	2	100	90	10	0.594	9.406	94.06%
T7 T1R2	1	2	10	90	50	1.047	48.953	97.91%
T8 T1R2	1	2	100	90	50	1.303	48.697	97.39%

OBSERVACIONES:.....  
 .....

Se expide el presente informe a solicitud de la parte interesada.



Segundo Guevara Camacho  
 Técnico de laboratorio - UNC

Ing. Jorge Lezama Bueno  
 Jefe de laboratorio - EAPIAC



Msc. Manuel Roncal Rabanal  
 Director - EAPIAC