

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Br. Lucia Maribel Bravo Zapata

Asesor:

Mg. Daniela Milagros Landa Acuña

Lima - Perú

2020



ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor **DANIELA MILAGROS LANDA ACUÑA**, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- **Bravo Zapata, Lucia Maribel**

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Ambiental por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Daniela Milagros Landa Acuña
Asesora

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados Han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante Bravo Zapata, Lucia Maribel para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing. /Lic. /Dr. /Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing. /Lic. /Dr. /Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing. /Lic. /Dr. /Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

A Dios, a mis abuelos, a mis padres,
a mis hermanos e hija.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento:

A mi asesora, Daniela Landa Acuña, por la sabia dirección, apoyo y dedicación.

A mi compañera de estudios, Ing. Gaby Campos, por el apoyo incondicional, gracias por
compartir tus conocimientos conmigo.

A la Ing. Natalia Del Pilar Díaz Díaz, por las facilidades que me brindo para el acceso a equipos
y laboratorios de la Universidad Privada del Norte- Trujillo.

De nuevo a mi Familia y a mis amigos, por meter presión y apoyar en la realización de esta
investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	ii
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Bases Teóricas.....	20
1.2.2. Efectos del cromo sobre los seres vivos.....	21
1.2.4. Métodos	21
1.2.4.2. Micro algas.....	22
1.2.4.3. Biopolímeros	22
1.2.4.4. Hidrogeles	23
1.2.4.5. Adsorbentes de Bajo Costo	23
1.2.5.1. Bioadsorción de metales pesados en aguas residuales.....	24
1.2.5.2. Parámetros que influyen en la capacidad de bioadsorción	25
1.2.5.3. Influencia del tipo de bioadsorbente.....	25
1.2.5.4. Influencia del pH.....	25
1.3. Formulación del problema.....	27
1.4. Justificación.....	27
1.5. Objetivos	28
1.6. Hipótesis	28
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	29
2.1. Tipo de investigación	29
2.2. Materiales, instrumentos y métodos.....	29
2.3. Procedimiento.....	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS	40
3.1. Obtención del bioadsorbente	40
3.2. Preparación del bioadsorbente	40
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	48
5.1. Discusión.....	48
5.2. Conclusiones.....	50

REFERENCIAS.....	51
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	36
Tabla 2.....	40
Tabla 3.....	41
Tabla 4.....	41
Tabla 5.....	42
Tabla 6.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del pH en la adsorción de Cr (VI) en concentración de cromo 10 mg/L	45
Figura 2. Efecto del pH en la adsorción de Cr (VI) en concentración de cromo 20 mg/L	47

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo principal determinar el efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas. Se aplicó un diseño experimental conformado por 10 tratamientos divididos en dos grupos con concentraciones de 10 mg/L y 20 mg/L de sulfato básico de cromo, respectivamente. La pectina fue extraída por hidrólisis ácida y vertida en una cantidad de 0.5 gr por tratamiento, con una variación de pH de 2 a 6. Seguido, se realizó la determinación de cromo residual por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) y en base a estas, se calculó el porcentaje de remoción de cromo (IV) con el uso de ecuación de la pendiente. Se determinó que en la concentración inicial de 10 mg/L, el porcentaje de remoción fue de 78 % y 80% a un pH 4 y 5 respectivamente. Mientras que en los tratamientos con concentración inicial de 20mg/L, el porcentaje de remoción fue de 88% a un pH 3 y 6. Estos datos sugieren que el pH es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción y la pectina de *Citrus reticulata* es un bioadsorbente óptimo en la remoción de cromo hexavalente.

Palabras clave: *Citrus reticulata*, adsorción, pectina

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La toxicidad del cromo (Cr) es una de las principales causas de contaminación ambiental que emana de los efluentes de la curtiduría. Este metal se utiliza en el curtido de cueros y pieles, la fabricación de acero inoxidable, galvanoplastia, tintura textil y como biosida en las aguas de refrigeración de las centrales nucleares (Acosta, Cárdenas, Moctezuma, y Martínez, 2013). En consecuencia, estas industrias descargaron efluentes que contenían cromo (VI) que son importantes para el medio ambiente. Cr existe en nueve estados de valencia que van de -2 a +6. De estos, solo el hexavalente [Cr (VI)] y el cromo trivalente [Cr (III)] tienen un significado ambiental primario ya que son las formas oxidadas más estables en el medio ambiente (Baca, 2018).

Ambos se encuentran en varios cuerpos de agua y aguas residuales. El Cr (VI) generalmente existe en una de estas dos formas: cromato (CrO_4^{2-}) o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), depende del pH de la solución. Estos dos oxianiones divalentes son muy solubles en agua y mal adsorbido por el suelo y la materia orgánica, haciéndolos móviles en el agua subterránea (Chauhan y Sankararamakrishnan ,2010). Ambos aniones de cromato representan riesgos agudos y crónicos para los animales y la salud humana, ya que son extremadamente tóxicos, mutagénicos, cancerígenos y teratogénicos (Rangel, Isarain y Maldonado, 2015).

A diferencia de las formas de Cr (VI), las especies de Cr (III) son predominantemente hidróxidos, óxidos y sulfatos, menos solubles en agua, menos móviles, 100 veces menos tóxicos y 1,000 veces menos muta génico (Verdugo,2017). Las principales técnicas para recuperar o eliminar Cr (VI) de las aguas residuales son: reducción química y precipitación, adsorción en carbón activado, intercambio iónico y ósmosis inversa (Acosta et al., 2013). Sin embargo, estos métodos tienen ciertos inconvenientes, a saber, alto costo, baja eficiencia, generación de lodos tóxicos u otros desechos que requieren eliminación e implican complejidad operativa (Chauhan y Sankararamakrishnan ,2010). En este contexto, se ha centrado una atención considerable en los últimos años en el campo de la biosorción para la eliminación de iones de metales pesados de los efluentes acuosos.

El proceso de eliminación de metales pesados por materiales biológicos se conoce como biosorción. La viabilidad de la biomasa no afecta la adsorción de metal. Por lo tanto,

cualquier proceso de adsorción metabólica activa se considera actualmente una parte insignificante de la biosorción. Se han probado varios bioadsorbentes, que incluyen algas, mohos, levaduras, bacterias, cáscaras de cangrejo, productos agrícolas (Campos, 2019) Por su parte, la mandarina (*Citrus reticulata*) tiene un gran consumo dentro del país y su cáscara es un residuo considerado como desecho o basura, por lo que se pretende restaurar este concepto dándole una valorización al utilizarla de bioadsorbente para remediar aguas contaminadas con plomo y cromo (Vergara, 2017). Los residuos como la cáscara de mandarina están conformados por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina; son los principales responsables de la adsorción (Muñoz, 2007). Por lo tanto, la presente investigación plantea determinar el efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas, con la finalidad de estudiar posibles alternativas de solución ecológicas al problema de contaminación que presenta nuestro recurso hídrico.

Para dar lugar al estudio planteado, fue necesario realizar una revisión teórica para fundamentar el tema, y se tienen investigaciones anteriores relacionadas, de las cuales resaltaron:

Inicialmente, Acosta et al. (2013). “Eliminación de Cromo Hexavalente de Soluciones y Sitios Contaminados por Diferentes Biomásas Naturales”. Enfocaron su estudio en el uso de diferentes biomásas naturales para la biosorción y reducción de cromo (VI) en solución acuosa, y su eliminación de sitios contaminados. Para obtener la biomasa natural, la cáscara de las conchas se lavó con agua trideionizada 72 h bajo agitación constante, con cambios de agua cada 12 h. Posteriormente, se hirvió durante 1 h para eliminar los restos de la fruta y se secó a 80 ° C, durante 12 h en el horno, se trituró en la licuadora y se almacenó en viales de color ámbar hasta su uso. Las biomásas naturales mostraron una capacidad completa de biosorción y concentraciones de reducción de 1.0 g / L Cr (VI) en solución después de diferentes tiempos de incubación, y las conchas de *L. chinensis* Sonn, *C reticulata* y *M. americana* fueron las más eficientes, a los 28 ° C, 100 rpm con 1 g de biomasa, y después de 10 semanas la biomasa natural de *M. americana*, eliminó el 83% del metal en el suelo contaminado (100 kg), con 345 mg de Cr (VI) / g de suelo. Estos resultados sugieren la

aplicabilidad potencial de estas biomásas para la remediación de Cr (VI) de suelos y aguas contaminadas en los campos, y estas biomásas son naturales, se pueden obtener en grandes cantidades, más baratas y podrían eliminar selectivamente metales pesados de medios acuáticos.

Además, Arias (2019) estudió la capacidad de remoción de Cr (VI) en agua sintética mediante el empleo de una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente. Para conseguir la cáscara de naranja tratada se lavó con agua tibia, agua fría y etanol; seguido de esto se realizó un proceso de desmetoxilación mediante el uso de NaOH por dos horas con el fin de eliminar compuesto como azúcares y ácido cítrico. Después se secaron las cáscaras en una estufa a 105°C, se trituraron y luego se sumergieron en una solución de CaCl₂ por 24 horas en agitador shaker; pasado el tiempo se filtró el material y se secó nuevamente para finalmente ser tamizado. En el caso de la cáscara de banano su tratamiento consistió en lavarlas en una solución de NaClO por 5 minutos, luego eliminar los residuos de fruta, posteriormente secar las cáscaras por 2 horas y media y finalmente triturarlas en un molino pulverizador. Una vez listo el material bioadsorbente se procedió a preparar agua sintética de una concentración de 52,46 ppm. Como resultados se obtuvo que la cáscara de banano tiene una mejor capacidad de remoción a pH 5 y la cáscara de naranja a pH 3; los porcentajes de remoción se encontraron entre 82% y 97% siendo la máxima remoción de 97%. Además, se observó que la cantidad de bioadsorbente que permitió la mayor remoción fue de 10 g (25% naranja - 75% banano) en 100 ml de solución; evidenciándose que la mezcla de estos dos materiales orgánicos aumentó el porcentaje de remoción de Cr y la DQO y COT arrojaron que la cáscara de naranja genera un gran aporte de carga orgánica.

Asimismo, Baca (2018) “Influencia del pH y granulometría de la cáscara de *Citrus sinensis* (naranja) en la bioadsorción de cromo en efluente de etapa de curtido, curtiembre ecológica del norte” propuso determinar la influencia del pH y granulometría de la cáscara de *Citrus sinensis* (naranja) en la bioadsorción de cromo del efluente de la etapa de curtido de la curtiembre Ecológica del Norte, para obtener un resultado óptimo de bioadsorción de 2,830 ppm representando un 45.35%, con un pH 4 y granulometría 0,250 mm. Para la

granulometría 0,500 mm se logró resultado óptimo a pH 5 con una bioadsorción de 2,750 representado un 44.07%. Se concluye que si existe influencia del pH y granulometría.

También, Verdugo (2017) “bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (*Citrus reticulata* var. Clementina)”. Analizó la capacidad de bioadsorción de plomo y cromo mediante la cáscara de la mandarina (*Citrus reticulata* var. Clementina). El estudio consistió en la preparación de soluciones con los metales con una concentración de 5 ppm, con una agitación de dos horas se determinó que el pH ideal para la eliminación de plomo y cromo es de 4,0; teniendo resultados de eficiencia del 71,9% y 54,4% respectivamente. Los resultados obtenidos fueron a temperatura ambiente, se concluyó que el bioadsorbente tiene excelente capacidad de bioadsorción de plomo mientras que para el cromo es un poco menos eficiente.

Por su parte, Garcés y Coavas (2012) “Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de mandarina (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales”. Enfocaron su investigación en la adsorción de cromo hexavalente con cáscara de naranja y cáscara de naranja modificada con quitosano. El estudio se realizó colocando en contacto la biomasa con una solución, que contenía 100 ppm de Cr (VI); los ensayos se llevaron a cabo en un proceso discontinuo, con el fin de determinar los factores que afectan la adsorción de Cr (VI), los cuales fueron: el tamaño de partícula, la concentración de la biomasa y el pH. Los resultados arrojaron que la cáscara de mandarina presenta una mayor capacidad de adsorción en comparación con la cáscara de mandarina modificada con quitosano; la cáscara de mandarina presentó un máximo porcentaje de remoción de 66.8%, mientras que la cáscara de mandarina modificada con quitosano obtuvo un porcentaje de remoción de 61.24%. La concentración de adsorbente, el pH y la relación (g/L) de solución juegan un papel fundamental para el proceso de adsorción, se encontró además que a pH más bajos, relación g/L superiores y concentración de sorbente mayor, la adsorción por parte de estas dos biomásas tiene mayor efectividad.

Conviene mencionar que Ito y Madariaga (2019) “Tratamiento por bioadsorción con *Petroselinum crispum* (perejil) activado para minimizar los riesgos químicos del efluente en la etapa de curtido de la industria de cuero FECA S.R.L”. Propusieron reducir el Cromo total

(Cr total) en la muestra mencionada, ya que el Cromo total (Cr total) en su efluente según los análisis realizados muestran una elevada concentración de 2069mg/L, superando los Límites Máximos permisibles de Cromo Total de 5 mg/L, para lo cual fue determinado la eficiencia del *Petroselinum crispum* (perejil). En ella, se utilizaron dos muestras una de solución sintética y la otra con efluente industrial, en donde se evaluó la efectividad del adsorbato con concentración entre 1510.9 mg/L – 2069mg/L de Cromo total presente en ambas muestras, además, de una variación de pH entre 6.47 y 6.38. Los resultados indican que se logró un porcentaje de remoción de 98.4% a 95.5%.

Por otro lado, Jain, Malik, y Yadav (2016) “Aplicabilidad de los biosorbentes de origen vegetal en la eliminación de metales pesados: una revisión”. Propusieron revisar la aplicabilidad de los biosorbentes a base de plantas en la eliminación de metales pesados; existen varias técnicas disponibles para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales, como el intercambio iónico, la filtración por membrana, la electrólisis, la coagulación, la flotación y la adsorción. Sin embargo, estos métodos tienen varias desventajas, como el alto costo operativo, la generación de lodos y la selectividad de los metales. Entre ellos, los procesos de adsorción se utilizan ampliamente para eliminar metales pesados y otros contaminantes. La biosorción es un proceso ecológico, sostenible, rápido y económico, que aumenta su amplia aplicación. Los biosorbentes son fácilmente disponibles y de bajo costo en la naturaleza y ha compilado literatura sobre biomasa basada en plantas para proporcionar información concisa que explore las eficiencias de adsorción en la eliminación de metales tóxicos como cadmio, cobre, plomo, mercurio, cobalto, cromo, arsénico, zinc y níquel.

Asimismo, Mahato, Sharma, Sinha, Baral, Koteswararao, Dhyani, Cho y Cho (2020) “Biosorbentes, productos químicos de importancia industrial y materiales novedosos de los residuos del procesamiento de cítricos como una fuente biológica sostenible y renovable: una revisión”. Mencionaron que los residuos de cítricos incluyen cáscaras, pulpa y residuos de membranas y semillas, que constituyen aproximadamente el 40-60% de la fruta entera. Esta cantidad excede los 110-120 millones de toneladas anuales en todo el mundo. Investigaciones recientes se han centrado en el desarrollo de nuevas técnicas para explorar diversas aplicaciones de los productos químicos obtenidos de los residuos de los cítricos.

Los ácidos orgánicos obtenidos de los desechos de los cítricos pueden ser utilizados en el desarrollo de polímeros biodegradables y materiales funcionales para el procesamiento de alimentos y las industrias química y farmacéutica. Las microestructuras de la cáscara han sido investigadas para crear materiales bioinspirados. El residuo de cáscara puede procesarse para producir fibras y tejidos, materiales impresos en 3D, nanodots de carbono para la obtención de imágenes biológicas, materiales de almacenamiento de energía y materiales nano estructurados para diversas aplicaciones a fin de no dejar ningún tipo de residuos. En el artículo se examinan los recientes avances en las investigaciones científicas para producir productos valiosos a partir de desechos de cítricos y las posibilidades de innovar los materiales futuros y promover que no queden residuos para un medio ambiente más limpio para la generación futura.

Por otro parte, Omorogie, Babalola, Unuabonah, Song y Gong (2016) “Extracción eficiente de cromo de una solución acuosa utilizando un biosorbente de bajo costo: residuos de biomasa de semillas de *Nauclea diderrichii*”. Investigaron que el Cr (III) tóxico que representa un peligro para el medio ambiente para flora y la fauna fue eficientemente extraído por biomasa de semillas de *Nauclea diderrichii* (NDS) de bajo costo con buena capacidad de secuestro de este metal. Los análisis de superficie de la NDS mostraron que tiene una superficie específica de $5,36 \text{ m}^2/\text{g}$ y un pH de 4.90. El análisis termo gravimétrico de la SND mostró tres pérdidas de peso consecutivas de $50\text{-}200^\circ\text{C}$ (ca. 5%), $200\text{-}400^\circ\text{C}$ (ca. 35%), $>400^\circ\text{C}$ (ca. 10%), que corresponden a las moléculas de agua externas, las moléculas de agua estructurales y las reacciones de condensación inducidas por el calor, respectivamente. El termograma diferencial del NDS presentó un gran pico endotérmico entre $20\text{-}510^\circ\text{C}$ que sugiere la ruptura de la unión y la disociación con la liberación final de las moléculas pequeñas. Los datos experimentales mostraron una biosorción cinéticamente rápida con un aumento de las concentraciones iniciales de Cr (III), lo que indica el papel del mecanismo de transferencia de masa externa como mecanismo de control de la velocidad en este proceso de adsorción. La capacidad de biosorción de Langmuir de la SND fue de $483,81 \text{ mg/g}$. El uso de la herramienta corregida del Criterio de Información de Akaike para clasificar los modelos de equilibrio sugirió que el modelo de Freundlich era el que mejor

describía los datos experimentales, lo que es una indicación de la naturaleza heterogénea de los sitios activos en la superficie del NDS.

También, Ordoñez (2015) “bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) molida, Machala 2014”. Propuso determinar la capacidad de bioadsorción de metales pesados como el plomo (Pb) y el cromo (Cr) por la cáscara de naranja molida que se desecha luego del aprovechamiento del zumo en las juguerías del mercado central del cantón Machala. La cáscara de naranja contiene un alto contenido de carbono (42,70%) lo cual favorece a la bioadsorción. El diseño del experimento consistió en colocar diferentes concentraciones de biomasa cáscara de naranja molida con diferentes tamaños de partícula en soluciones de 50 ppm de plomo y 50 ppm de cromo. Durante el proceso se midió el pH y la concentración de plomo y cromo cada 10 horas. El proceso de bioadsorción se llevó a cabo en reactores tipo Bach, con el objetivo de determinar los factores que influyen en la bioadsorción de los metales en estudio. Los resultados muestran un máximo porcentaje de bioadsorción de $99,73\% \pm 2,05$ para el plomo en el tratamiento A₄*B₂ (16 gramos/Litros; 800 μ m) y $91,60\% \pm 2,18$ para el cromo en el tratamiento A1*B1 (4 gramos/Litros; 400 μ m). El tiempo de retención hidráulica para los dos metales en estudio fue de 72 horas.

Incluso, Pathak, Mandavgane y Kulkarni (2015) “Residuos de cáscaras de frutas como un nuevo bioadsorbente de bajo costo”. Enfocaron su estudio en incluir estadísticas de generación, modificación, caracterización, capacidad de adsorción, recuperación / regeneración y modelado de FPW (isotermas, cinética y termodinámica) de adsorción por lotes. Se encuentra que las cáscaras de naranja y plátano son los adsorbentes más estudiados, mientras que Pb²⁺ y el azul de metileno son los contaminantes eliminados de manera más eficiente, las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich proporcionan el mejor ajuste en la mayoría de los casos y, en general, se sigue una cinética de pseudo-segundo orden. Hay estudios de columnas muy limitados y ningún informe sobre la planta comercial. Aunque la reproducibilidad de los resultados es pobre, FPW tiene un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales debido a su disponibilidad abundante y barata. FPW se puede utilizar

para eliminar metales pesados y colorantes; sin embargo, la eliminación de impurezas orgánicas y gaseosas necesita más investigación.

Del mismo modo, Pérez, Aguilar, Meseguer, Ortuño, Sáez y Lloréns (2009). “Biosorción de cromo (III) por residuos de naranja (*Citrus cinensis*): estudios por lotes y continuos”. Analizaron la capacidad de la biomasa de residuos de naranja para eliminar Cr (III) de las soluciones acuosas. Se realizaron estudios de cinética e isoterma por lotes a escala de laboratorio para evaluar la capacidad de adsorción de los residuos de naranja. También se estudiaron los efectos del tamaño de partícula, la dosis de adsorbente y el pH de la solución en la eliminación de Cr (III). Los resultados mostraron que cuanto mayor es la dosis de adsorbente y el pH, mayor es el porcentaje de eliminación de metal. No se observó influencia significativa del tamaño de partícula sobre la capacidad de biosorción en las condiciones experimentales estudiadas. Un estudio cinético reveló que la adsorción de Cr (III) en los residuos de naranja fue un proceso gradual y se alcanzó el equilibrio en 3 días. Un modelo de segundo orden fue el más apropiado para describir los datos cinéticos experimentales. Los ensayos de equilibrio mostraron una capacidad de biosorción máxima que varía de 0,57 mmol/g a 1,44 mmol/g cuando el pH aumentó de 3 a 5, según el modelo Sips, que junto con la ecuación de Redlich-Peterson, es muy adecuado para correlacionar datos de equilibrio. El uso del adsorbente estudiado en la eliminación de cromo en modo continuo fue exitoso y las curvas de avance fueron representadas adecuadamente por el modelo BDST. El uso del adsorbente estudiado en la eliminación de cromo en modo continuo fue exitoso y las curvas de avance fueron representadas adecuadamente por el modelo BDST. Debido a la lenta cinética de la biosorción de cromo sobre los residuos de naranja, la capacidad de biosorción en los ensayos por lotes fue mayor que la de los ensayos continuos. El uso del adsorbente estudiado en la eliminación de cromo en modo continuo fue exitoso y las curvas de avance fueron representadas adecuadamente por el modelo BDST.

Asimismo, Schiewer y Santosh (2008). “Modelado del efecto del pH en la biosorción de metales pesados mediante cáscaras de cítricos”. Estudiaron la biosorción por materiales como las cáscaras de cítricos podría ser una técnica rentable para eliminar metales pesados tóxicos de las aguas residuales. Las cáscaras de naranja, las cáscaras de limón y las cáscaras

de pectina protonadas a base de limón (PPP) tenían capacidades de biosorción de Langmuir de 0.7-1.2 mequiv/g (39-67 mg/g) de Cd por peso seco biosorbente. Una titulación potenciométrica se interpretó utilizando un enfoque de espectro continuo pK (a). Reveló cuatro sitios ácidos con valores de pK (a) de 3.8, 6.4, 8.4 y 10.7, y una cantidad de sitio total de 1.14 mequiv/g. Las isotermas de biosorción de las cáscaras de cítricos no tratadas mostraron una forma inusual con dos valores de meseta. Las exfoliaciones de pectina protonadas, por otro lado, mostraron un comportamiento típico de Langmuir con una mayor capacidad de biosorción que las exfoliaciones no tratadas. A pH más bajo, la unión del metal se redujo debido a la mayor competencia de los protones. Esto fue modelado usando ecuaciones isotérmicas sensibles al pH. No fue necesario asumir cuatro sitios de unión; usando un sitio con pK (a) 3.8 y una cantidad de 1.14 mequiv/g fue suficiente. Fue posible predecir con precisión la absorción de metal a un pH utilizando la constante de unión a metal determinada a un pH diferente. Un modelo de estequiometría 1: 1 se ajusta mejor a la forma de las isotermas de biosorción que una estequiometría 1: 2. Para un pH constante, la estequiometría 1: 1 se reduce al modelo de Langmuir.

Además, Shafiq, Alazba y Amin (2018) “Eliminación de metales pesados de las aguas residuales utilizando la palmera datilera como biosorbente: una revisión comparativa”. Analizaron los resultados de la utilización de diferentes formas de desechos de palmera datilera (DP) como biosorbentes de bajo costo, destacando los efectos del tiempo de contacto, el pH, la dosis y el tamaño de las partículas adsorbentes, las concentraciones iniciales de metal y los efectos del pretratamiento en la eficiencia de adsorción del cobre (Cu^{2+}). Los resultados de los estudios que utilizaron la fibra cruda del tronco DP sugirieron que el tiempo de equilibrio era de aproximadamente 2 h, con una eliminación significativamente alta de Cu^{2+} durante la 1 h inicial a valores de pH ácido de 5-6, lo que indicaba la interferencia de los iones H^+ con los iones metálicos a valores de pH bajos. La fibra cruda del tronco DP fue probada con tamaños de partículas iniciales de 75-251 μm y dosis de adsorbente en el rango de 0,4-5,0 g L^{-1} . La mejor eficiencia de adsorción se obtuvo con el menor tamaño de partícula y la máxima dosis. Se requiere una mayor investigación para las modificaciones físicas de los desechos crudos de DP que emplee técnicas rentables, como el uso de los desechos de DP en forma de carbono deshidratado y filtros de medios.

Finalmente, Tejada, Quiñones, Tejada y Marimón (2015) “Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de naranja (*Citrus sinensis*)”. Estudiaron la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como un adsorbente de Cr (VI) en soluciones acuosas. La caracterización de los grupos funcionales de las cáscaras se llevó a cabo mediante análisis elemental y espectroscopia de infrarrojo. La determinación de la concentración de Cr (VI) se realizó mediante el método de la difenilcarbazida usando un espectrofotómetro UV-vis. Se encontró que el residuo agroindustrial usado presenta una remoción de 66,6 % de Cr (VI) en un tiempo de 120 min. El fenómeno fue descrito de mejor manera por la isoterma de Langmuir, al mostrar una la capacidad de adsorción de 16,66 mg/g. La cinética siguió el comportamiento de adsorción de pseudo-segundo orden. Las condiciones más favorables para la adsorción de iones de Cr (VI) sobre cáscara de naranja se dieron a pH de 3 y un tamaño de adsorbente de 0,425 mm. Se comprobó que estas podrían ser usadas para remover Cr (VI) de aguas residuales de curtiembres y otras industrias.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Cromo

Es un metal blanco grisáceo, duro y frágil con un peso nuclear de 51,99 y un número nuclear 24. El cromo es un componente presente en las rocas, las criaturas, las plantas y la tierra. Puede existir en varias estructuras y éstas deciden su estado fluido, fuerte o vaporoso (Acosta et al., 2013). El cromo 0, el cromo III y el cromo VI son las estructuras más reconocidas que se encuentran en este elemento. Las condiciones más significativas del cromo son los estados de oxidación +3 y +6; a la primera recolección le corresponde el óxido crómico y las sales crómicas, por ejemplo, el cloruro crómico o el anión de cromo y a la segunda recolección el trióxido crómico, los cromatos y los dicromatos.

El cromo cero, llamado cromosomas metálicos, se utiliza en la producción de acero y el cromo III, VI se utiliza en el cromado, en los colores y matices, en el curtido de pieles de vaca y en la protección de la madera (Baca, 2018). El cromo hexavalente y el cromo cero son armazones creados regularmente por procedimientos modernos, mientras que las estructuras trivalentes prevalecen en los seres vivos. El cromo trivalente es un componente

sobranse esencial para mantener un gran bienestar, ya que hace que el cuerpo utilice azúcar, grasa y proteínas (Alvarado, Blanco y Mora, 2002).

1.2.2. Efectos del cromo sobre los seres vivos

En las personas, el cromo se consume por tres vías: oral, respiratoria y dérmica. Después de entrar en el cuerpo es transportado a las profundidades de la médula, pulmones, centros linfáticos, bazo, riñón e hígado (Garcés y Coavas, 2012).

Los impactos antagónicos del cromo en el bienestar dependen del nivel de valencia, siendo los más perjudiciales el cromo VI y el cromo III. La introducción transitoria del cromo III puede hacer que molesten los ojos y la trama respiratoria (Muñoz, 2007). El cromo VI en contacto con la piel puede causar respuestas hipersensibles, erupciones; después de la respiración puede causar molestias respiratorias. Diferentes problemas: daño en la piel, problemas de estructura relacionados con el estómago, cambio de material hereditario, malignidad en los pulmones y fallecimiento. Con respecto a las criaturas, el cromo puede causar problemas respiratorios; la baja accesibilidad puede provocar enfermedades, imperfecciones en el nacimiento, inutilidad y desarrollo de tumores.

1.2.3. Efectos ambientales del cromo

El cromo entra en el aire, el agua y el suelo como el cromo III y VI a través de procedimientos comunes y ejercicios antropogénicos (Garcés y Coavas, 2012). Los principales ejercicios antropogénicos en los que se centra la expansión del cromo III son el acero, las empresas del cuero, los negocios de materiales, las obras de arte eléctricas y otras aplicaciones mecánicas.

1.2.4. Métodos alternativos para el Tratamiento de Aguas Residuales

Percibiendo que las técnicas habituales para la remediación de aguas residuales tenían ciertos inconvenientes, los investigadores establecidos exploraron nuevas estrategias, llamándolas técnicas inusuales o electivas para la remediación de aguas residuales, con una atención en ser prácticas, simples de ejecutar, y poderosas en la disminución de contaminantes (Verdugo, 2017).

En los años más recientes estas técnicas electivas han tenido un reconocimiento extraordinario, ya que han enamorado a una increíble pieza del segmento moderno, estas estrategias electivas se centran fundamentalmente en la aplicación de procedimientos

comunes de remediación sin amistad a la condición de que se establezcan avances prácticos dentro de los cuales tenemos:

a) Macrófitas acuáticas

Se utiliza sobre todo para la vigilancia biológica del agua dulce en busca de metales y plaguicidas sustanciales (Higuera, Florez, y Arroyave, 2009). Los marcos de limpieza a base de macrófitos comprenden en su mayor parte un monocultivo o un policultivo, organizado en tanques, estanques de marea o canales poco profundos y con un tiempo de mantenimiento más largo que el de los marcos ordinarios. Los macrófitos que se utilicen en el tratamiento de aguas residuales deben tener ciertas cualidades, por ejemplo, alta rentabilidad, gran capacidad de expulsión de contaminantes, alta prevalencia en condiciones características poco favorables, flexibilidad a la atmósfera del lugar, límite de transporte de oxígeno de la superficie a la rizosfera y recolección sencilla.

b) Microalgas

Los cultivos verdes en pequeña escala son microorganismos eucariotas fotosintéticos que tienen fitoquelatinas que son responsables de secuestrar metales. El crecimiento verde en escala miniaturizada tiene un componente primario para completar los procedimientos de biosorción: Intercambio iónico en el que iones como Na, Ca y Mg llegan a ser desplazados por metales pesados (Mahato et al., 2020).

c) Biopolímeros

Son tipos de mezclas de alto peso atómico, enorme tamaño y forma extendida que son un pedazo de los divisores celulares de las células de las criaturas y las plantas, así como los exoesqueletos y los endoesqueletos, estos biopolímeros pueden ser de la raíz de las plantas y las criaturas (Muñoz, 2007). Los biopolímeros son mecánicamente atractivos en vista del hecho de que son aptos para la disminución de la fijación de partículas metálicas a partes por billón, son ampliamente accesibles y están protegidos ecológicamente. Para adquirir biopolímeros, se exponen a sustancias y medicinas físicas para mejorar su límite de adsorción en los procedimientos de aplicación, por ejemplo, la expulsión abrumadora de metales o la recuperación de especies metálicas.

d) Hidrogeles

Los hidrogeles son materiales formados por el entrecruzamiento de cadenas de polímeros que presentan carácter hidrófilo, tienen la capacidad de absorber e interactuar con soluciones acuosas. Son empleados en la remediación de aguas debido a sus ventajas que son: selectividad, capacidad de reutilización y se puede formar una red tridimensional. Tipos de hidrogel: Hidrogel funcionalizado con sulfidrilos, Hidrogel de celulosa con urea, Nanogel con nanopartículas de alginato de sodio (Chauhan y Sankararamakrishnan, 2010).

e) Adsorbentes de Bajo Costo

Se utiliza una amplia gama de materiales orgánicos, en particular microorganismos, crecimiento verde, levaduras y parásitos han recibido una creciente consideración para la evacuación y recuperación de metales abrumadores, debido a su gran ejecución, mínimo esfuerzo y enormes cantidades accesibles del adsorbente (Mahato et al., 2020).

1.2.5. Bioadsorción

La bioadsorción es otra innovación que consiste en utilizar los desechos naturales como material de adsorción para reducir las agrupaciones de metales abrumadores en las masas de agua (Schiewer y Santosh, 2008). Últimamente se han completado investigaciones para ver qué tipo de biomasa tiene la mejor ejecución como adsorbente. La bioadsorción es el procedimiento de adsorción que comprende la captura de diversas especies de sustancias por una biomasa, mediante instrumentos fisicoquímicos, por ejemplo, la adsorción o el comercio de partículas.

El procedimiento de bioadsorción incluye una etapa fuerte - biomasa - (adsorbente o adsorbente) y una etapa fluida (disoluble) que contiene las especies descompuestas (adsorbentes) que serán retenidas por el fuerte. Para que este procedimiento se lleve a cabo debe haber una proclividad del adsorbente para los adsorbidos, con el objetivo de que estos últimos sean trasladados al fuerte donde serán sostenidos por varios componentes. Esta actividad procede hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbente degradado y el adsorbente asociado al sólido.

a) Bioadsorción de metales pesados en aguas residuales

La bioadsorción es la técnica de extracción de mezclas en disposición de utilizar varios tipos de biomasa que se demuestra a través de procedimientos no metabólicos, - bio implica que el adsorbente es de origen orgánico. Esta estrategia se completa cuando el fuerte se aferra al exterior de los materiales naturales vivos o inactivos (Ito y Madariaga, 2019). Este procedimiento es retratado por la autoridad rápida y reversible de partículas específicas al exterior del bioadsorbente. En la bioadsorción, dependiendo del componente asociado a la colaboración entre el exterior del material y el contaminante, podemos reconocer la reacción física, que incluye la cooperación de los poderes de fascinación con el exterior del adsorbente, y la reacción química que se identifica con el desarrollo de enlaces compuestos. La utilización de la biomasa muerta tiene circunstancias favorables sobre la utilización de la biomasa viva, ya que en esta última no es importante incluir suplementos, el adsorbente es insensible a la intoxicación o a condiciones de trabajo poco favorables, los procedimientos no están representados por restricciones orgánicas, la recuperación de los metales es más sencilla y la biomasa se mantiene como un intercambiador de partículas. Esta estrategia tiene algunos puntos centrales: es reversible, logrando la recuperación del material usado y limitando la pérdida con mezclas de sustancias u orgánicas, tiene un alto límite de utilización de materiales de mínimo esfuerzo como adsorbente, puede permitir la recuperación del metal después del procedimiento, en el que se obtiene un arreglo móvil en el compuesto de intriga, permite la recuperación de residuos que se utilizan como bioadsorbente y es un material fácil que tiene grandes cantidades de naturaleza o es un material de desecho moderno, simple de conseguir o recoger y que requiere poco tratamiento (Jain et al., 2016).

Los inconvenientes fundamentales del procedimiento de bioadsorción son que el metal o compuesto natural debe ser desorbido del material para su posterior reutilización, la elección de los materiales bioadsorbentes debe hacerse teniendo en cuenta la accesibilidad de la cantidad equivalente y la disminución del gasto para lograr un uso integral de la bioadsorción a nivel moderno y otro es que hay un enorme número de materiales regulares que pueden ser utilizados, siendo impredecible decidir los que tienen mejores atributos (Omorogie et al., 2016). Existen diversos estudios experimentales de bioadsorción cada uno con diferente

adsorbente, todo esto se ha realizado para conocer cuál es el bioadsorbente con mejor rendimiento en la remoción de iones metálicos en bajas concentraciones.

b) Parámetros que influyen en la capacidad de bioadsorción

Las formas de bioadsorción son principalmente impactadas por unos pocos componentes que permiten o previenen una gran bioadsorción, estas variables son: propiedades de los venenos, límites de los compuestos físicos, condiciones y propiedades de la biomasa. (Ordoñez, 2015).

c) Influencia del tipo de bioadsorbente

El adsorbato tiene ciertas propiedades para las partículas metálicas oficiales, hay que tener en cuenta la naturaleza en cuanto a su dureza, las partículas duras tienen preferencia por los ligandos o agrupaciones útiles que contienen oxígeno para ofrecer ascenso a colaboraciones de tipo electrostático, y las partículas delicadas se atan a los ligandos que contienen nitrógeno o azufre mediante asociaciones covalentes. Los bioadsorbentes tienen atributos clave para que se produzcan los procedimientos de adsorción, por ejemplo, el tipo y la medida de las agrupaciones útiles presentes, su accesibilidad, el estado de los compuestos y el cariño que puede existir entre el adsorbente y el metal. Para conocer los atributos del bioadsorbente que se va a utilizar, se debe completar su representación, para lo cual se comienza con un pretratamiento que comprende el lavado, el secado y la trituration, en diferentes casos se aplica un tratamiento con cambios de sustancia para mejorar el límite de asimilación (Pathak et al., 2015).

d) Influencia del pH

Los cambios en el pH afectan inmediatamente a las formas de adsorción, ya que hay tres maneras en las que el pH impacta en este procedimiento: la condición de los lugares dinámicos de la biomasa cambia con el pH del medio que los crea bastante accesibles para mantenerlos con mezclas en disposición; las estimaciones extraordinarias del pH pueden dañar la estructura del material y la especiación y disolución del metal en disposición son factores esenciales que dependen directamente del pH (Reyes, Cerino y Suarez, 2006).

Una variedad en el pH del arreglo cambia la condición de las reuniones útiles y altera sus asociaciones con los contaminantes. Por lo tanto, a un pH bajo, el exterior del material puede estar decididamente cargado, obstaculizando la estimación de los cationes del metal o de los diferentes contaminantes, mientras que las estimaciones de pH alto normalmente causan problemas con la precipitación del metal (Schiewer y Santosh, 2008). De esta manera, los valores de pH entre 4 y 7 son generalmente los más ideales para las formas de adsorción.

e) Tipos de bioadsorbentes

Hay adsorbentes comerciales disponibles, por ejemplo, carbón iniciado, gel de sílice, alúmina dinámica y zeolita (Shafiq et al., 2018). En cualquier caso, los bioadsorbentes que se originan a partir de la biomasa se ordenan en unas pocas reuniones dentro de las cuales tenemos: Algas, materiales con lignina, taninos, quitina y quitosano, acumulaciones de ejercicios agrícolas y residuos modernos y metropolitanos.

1.2.6. Mandarina (*Citrus reticulata* var. Clementina)

Los productos orgánicos de cítricos comenzaron unos 20 millones de años antes en el sudeste asiático. Desde ese punto hasta no hace mucho tiempo han experimentado varias alteraciones debido a la determinación común y a las mitades tanto regulares como hechas por el hombre. Se trata de un producto orgánico que comenzó en China e Indochina, cuyo desarrollo se presentó en Europa en el siglo XIV, en 1828 cuando el producto natural apareció en el Mar Mediterráneo, se conoció como la mandarina debido a su punto de partida aceptado en China (Verdugo, 2017).

a) Variedades

Según el libro Las variedades de Cítricos distribuido por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España en 2011, hay algunos surtidos, sin embargo, para ordenar la mandarina en la que se ensamblan: Mandarinas Clementina, Mandarinas básicas, Mandarinas Satsuma, y un cuarto conjunto donde se incorporan el resto de las mandarinas (Verdugo, 2017).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Qué concentración de pectina se logra extraer a partir de la cascara de *Citrus reticulata*?
- ¿A partir de que concentraciones de sulfato básico de cromo se diseñaran los tratamientos?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de cromo hexavalente a diferentes pH?

1.4. Justificación

La presencia de metales pesados en la superficie terrestre es un tema de gran importancia tanto desde el punto de vista de la conservación de la naturaleza como desde el punto de vista de la población, ya que las fuentes fundamentales de contaminación de los metales son las empresas metalúrgicas, mineras, de curtidos y de gemas. Ante esto, se han realizado estudios para lograr reducir y conocer los aspectos fundamentales de esta contaminación.

Surge la utilización de materiales de fuente natural comúnmente considerados como residuos sólidos a los que se puede dar otra utilización y de los que se puede hacer un uso inapropiado, en lugar de llevarlos a los vertederos que producen otros problemas ecológicos. El hecho de tener concentraciones de metales pesados como el Cromo Hexavalente en los cuerpos de agua produce repercusiones en la disminución y desaparición de los seres y las criaturas vivos que se encuentran en esos espacios y en contacto con esas mezclas, a pesar de que produce una irregularidad en los recursos hídricos.

Cabe resaltar, para conocer la calidad de agua es necesario saber el pH y el posible efecto que los cambios bruscos de este puedan tener consecuencias en el uso del recurso hídrico. Es importante mencionar que el pH es un indicador esencial porque nos muestra el nivel de acidez y alcalinidad del agua y así se puede determinar la utilidad de este (riego, consumo

humano, ganadería, etc.) y también los posibles tratamientos que se pueden realizar para eliminar y/o disminuir algún contaminante.

Es necesario reaccionar frente a estos problemas, se han preconizado estrategias llamativas para disminuir los impactos que se pueden producir en los vertidos. Así, la presente investigación propone la pectina presente en la cascara de *Citrus reticulata* “mandarina” para investigar su actuación en la eliminación del cromo hexavalente en soluciones sintéticas.

Para poder resolver esta problemática, la cual está justificada en el entorno de su desarrollo, se tienen los siguientes objetivos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar el efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Extraer la pectina contenida en la cáscara de *Citrus reticulata* “mandarina”
- Preparar las soluciones sintéticas a partir de sulfato básico de cromo.
- Determinar porcentaje de remoción de cromo hexavalente a diferentes pH

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El pH tiene efectos significativos en la adsorción de cromo Hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La cantidad de pectina por cada cinco kilos de cascara de *Citrus reticulata* será de 0.5 gramos aproximadamente.
- Las concentraciones de las soluciones sintéticas a base de sulfato básico de cromo a utilizar en los tratamientos son 10 mg/L y 20 mg/L.
- El porcentaje de remoción de cromo hexavalente será de 70% aproximadamente a un pH óptimo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación corresponde al tipo aplicada, la cual depende de sus descubrimientos y aportes teóricos; es el estudio o aplicación de la investigación a problemas concretos (Tamayo y Tamayo, 2012), asimismo, es experimental con un diseño cuantitativo. Tres elementos científicos caracterizan a este tipo de investigación: control, manipulación y observación. Lo anterior considerando que pretende determinar el efecto del pH en la adsorción de cromo hexavalente por la pectina de *Citrus reticulata* en soluciones sintéticas.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1. Materiales

A continuación, se detallan los equipos, materiales y métodos empleados en la presente investigación:

a) Materiales de laboratorio:

- Fiolas de 100 ml, Clase A.
- Vasos de precipitado de 100, 400, 1000 mL.
- Matraces Erlenmeyer de 100,250 mL.
- Pipetas volumétricas (5mL, 10mL, 15mL y 25 mL) Clase A.
- Baguetas de vidrio.
- Embudos de vidrio de vástago largo.
- Espátula de acero inoxidable.
- Pissetas.
- Buretas.
- Papel filtro.
- Cinta de pH.
- Soporte de madera para embudos.

- b) Equipos de laboratorio
 - _ Balanza analítica 0.001 g
 - _ Medidor de pH/iones
 - _ Mufla.
 - _ Agitador magnético
 - _ Espectrofotómetro UV/Vis Shimadzu UV 1700.
 - _ Tamizador tipo Shaker
 - _ Molino de cuchillas
 - _ Jar test
- c) Reactivos de laboratorio
 - _ Ácido clorhídrico 0.1M
 - _ Hidróxido de sodio 0.1M

2.2.2. Instrumentos

a) Instrumentos de recolección de datos

Para organizar y tabular todas las incidencias inherentes al proceso metodológico, se hizo uso de libro de campo, así como de una ficha de laboratorio (Anexo N°1), donde fueron plasmados tanto resultados como observaciones relevantes para la investigación.

b) Instrumentos de análisis de datos

La información obtenida fue clasificada y ordenada en el software Excel versión 2016 que permitió la organización de datos en una hoja de cálculo. También, para el análisis estadístico se empleó el programa IBM SPSS Statistical Base 22.0.0 que nos ayudó en la obtención de tablas y gráficos.

2.2.3. Métodos

La determinación de los parámetros se realizó con base en los métodos normalizados para análisis de aguas residuales. Para el Cromo (método espectrofotometría de absorción atómica a la llama, Método volumétrico), para el pH (Valor de pH - Método Electrométrico).

Asimismo, para el manejo de los datos obtenidos se hizo uso de la ficha de laboratorio (Anexo N°02).

Se utilizaron los siguientes métodos:

- a) **Método espectrofotometría de absorción atómica a la llama:** método sensible, con especificidad notable y facilidad de operación utilizado en la determinación de metales pesados en una amplia variedad de matrices. La solución muestra utilizada en el ensayo es directamente aspirada a una llama de flujo laminar. La llama tiene como función generar átomos en su estado fundamental, de los elementos presentes en la solución muestra. Temperaturas cercanas a los 1,500–3,000°C son suficientes para producir la atomización de un gran número de elementos, los que absorberán parte de la radiación proveniente de la fuente luminosa (Arias, 2019).
- b) **Método electrométrico:** Se fundamenta con el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrogeno por el uso de un electrodo de vidrio y uno de referencia, o combinado. El sistema electroquímico produce una fuerza electromotriz (fem) que varía de manera lineal con el pH y se verifica por la obtención de la gráfica de pH vs fem para diferentes soluciones. Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida (Espinosa y Mera, 2015).
- c) **Observación sistemática:** acto de mirar algo sin modificarlo con la intención de examinarlo, interpretarlo y obtener unas conclusiones sobre ello (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014).
- d) **Desarrollo experimental del tratamiento:** Conjunto particular de condiciones que deben imponerse a una unidad experimental dentro de los confines del diseño seleccionado (Hernández et al., 2014)

2.3. Procedimiento

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, Campus Trujillo, en diciembre del 2019.

2.3.1. Obtención de muestras de cáscara de Mandarina

Se recolectó 10 kg de cáscaras de mandarina obtenidas en el mercado La Hermelinda de Trujillo cuyas coordenadas son 8°5'28"S y 79°1'31"W.

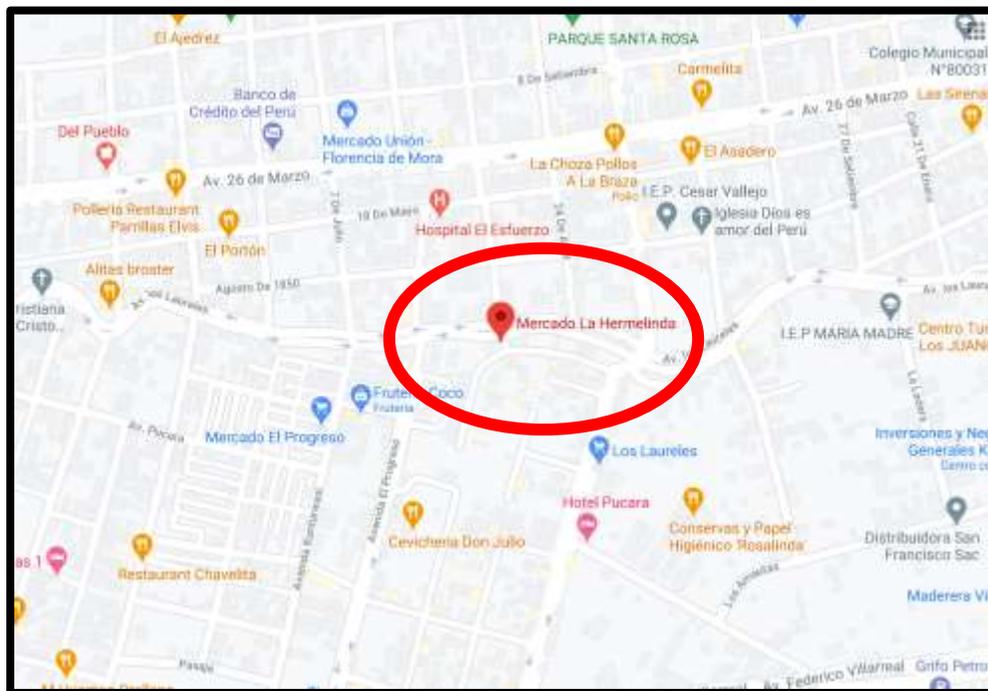


Figura 1. Ubicación del mercado la Hermelinda de Trujillo

En el mercado La Hermelinda de Trujillo, se encuentra la venta y consumo de productos como jugos y ensaladas de frutas, que cuenta con un pasaje completo de puestos, quienes producen gran cantidad de residuos sólidos, entre los principales se encuentran los residuos orgánicos, que según Canchucaya, (2018), son altamente degradables. Dentro de estos residuos se encuentran las cáscaras de *Citrus reticulata* “mandarina” que fueron recolectadas frescas y sin presencia de materias extrañas y hongos. Bajo las indicaciones de Delgado y Castillo (2015) estas se colocaron en bolsas de plástico y conservadas en congelación para prevenir el crecimiento microbiano.

2.3.2. Extracción de la pectina de la cáscara de *Citrus reticulata*

Según, lo establecido por Espinoza y Santos (2018), la técnica consiste en pesar 10 kg de cáscara de *Citrus reticulata*, las cuales fueron lavadas con agua corriente para eliminar partículas extrañas que puedan interferir en el proceso (Hernández, 2018). Posteriormente,

estas se calentaron a 100°C durante 3 minutos. Con la finalidad de controlar la proliferación de microorganismos y bloquear la actividad enzimática (Maldonado, Salazar, Millones, Torres y Vásquez, 2010). Seguido, estas se escurrieron y trituraron para facilitar la extracción.

Una vez, que las cascaras fueron desinfectadas y trituradas, se sometieron a un proceso de hidrolisis ácida, en agitación constante por 30 minutos desde el punto de ebullición hasta obtener un pH 2.5. Pasado este tiempo, se procedió a separar la fase sólida (bagazo) y líquida por filtración. Esto permitió realizar una precipitación con etanol de 96GL para precipitar la pectina presente en la fase líquida. La pectina obtenida se filtró y secó a 40°C por 12 horas, para luego ser molida con el fin de homogenizar el tamaño de la partícula y mejorar su apariencia.



Figura 2. Procedimiento de extracción de pectina (Parte 1). A) Lavado de las cascaras de *Citrus reticulata*, B) Calentamiento a 100°C por 12 horas, C) Hidrolisis Ácida, D) Filtrado



Figura 3. Procedimiento de extracción de pectina (Parte 2). A) Acción de filtrado de la Pectina, B) Secado, C) Aspecto de la pectina seca, D) Acción de Molienda.

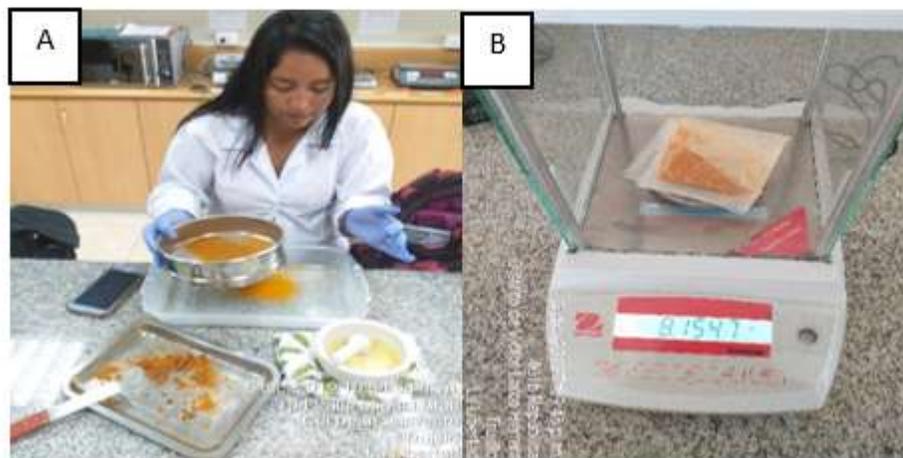


Figura 4. Procedimiento de extracción de pectina (Parte 3). A) Estandarización de tamaño de partícula por tamizado, B) Pesaje de pectina por cada extracción.

2.3.3. Preparación de soluciones sintéticas a partir de sulfato básico de cromo

Se preparó una solución madre al 0.1% de sulfato básico de cromo que equivale a 100 mg/L, a partir de ello, se prepararon dos soluciones de 1L cada una, a concentraciones de 10 mg/L y 20 mg/L, respectivamente. Una vez, preparadas ambas soluciones, se verificó el pH inicial que permitió realizar los ajustes entre los rangos de pH 2 a 6, para dar lugar a un total de 10 tratamientos.

Las concentraciones y volúmenes fueron calculados, con el uso de la siguiente ecuación.

$$C_I * V_I = C_F * V_F$$

Donde:

CI: Concentración inicial

CF: Concentración final

VI: Volumen inicial

VF: Volumen final

2.3.4. Diseño Experimental

La presente investigación constó de 12 tratamientos, divididos en dos grupos, uno de ellos con una concentración de 10 ppm (T1 a T5) y el otro a 20 ppm (T6 a T10) de cromo. Así mismo, la concentración de pectina utilizada en los tratamientos fue constante (0.5 g), a excepción de los tratamientos control (TA y TB) los cuales fueron considerados por separado para cada grupo de acuerdo a la concentración de cromo, utilizada. Ambos con un pH inicial de 3.5.

Los valores de pH en cada tratamiento se encontraron entre pH 2 y pH 6, tanto para los tratamientos de 10 ppm como para el de 20 ppm de Cromo

A continuación, se presenta el detalle de los tratamientos:

Tabla 1.

Diseño experimental utilizado para determinar los efectos del pH.

Tratamientos	pH	Concentración de pectina	Concentración de Cromo
TA	3.5	0 g	
T1	2	0.5 g	
T2	3	0.5 g	10 ppm
T3	4	0.5 g	
T4	5	0.5 g	
T5	6	0.5 g	
TB	3.5	0 g	
T6	2	0.5 g	
T7	3	0.5 g	20ppm
T8	4	0.5 g	
T9	5	0.5 g	
T10	6	0.5 g	

Es importante mencionar que cada tratamiento tuvo un volumen de 50ml, los cuales fueron dispuestos en vasos de precipitado, y sometidos a una agitación de 130 rpm por 30 minutos a 21°C. Después, se dejaron reposar por 24 horas para que la pectina surta efecto.

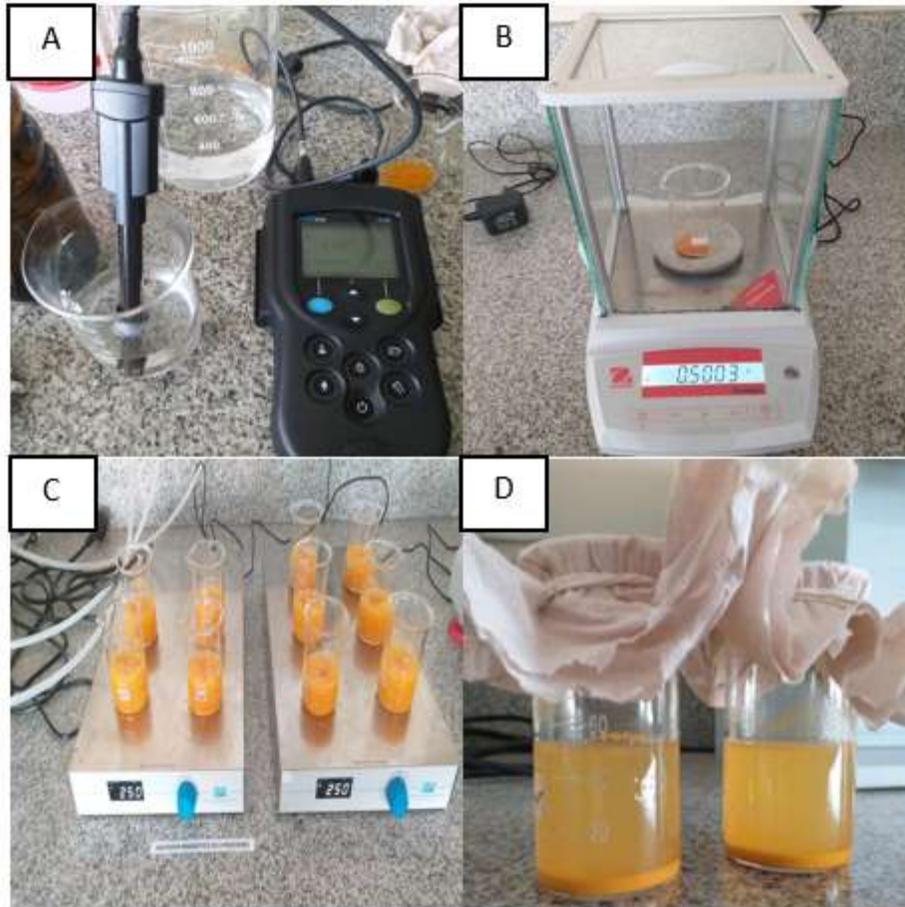


Figura 5. Preparación de tratamientos. A) Ajuste de pH, B) Pesaje específico de pectina, C) Agitación constante de los tratamientos, D) Tiempo de reposo después de la agitación

2.3.5. Digestión ácida y Determinación de Cromo residual

Para el análisis de cromo residual se procedió a filtrar el contenido de cada uno de los tratamientos. Así, por cada tratamiento se tomó 50 mL del filtrado y adicionó 3 mL de HNO_3 , como parte del procedimiento de digestión ácida a $140\text{ }^\circ\text{C}$, una vez finalizado se dejó enfriar.

Posterior al enfriamiento, se extrajo una alícuota la cual fue colocada en un fiola y enrasada con agua ultrapura hasta 50 mL. A partir de estas soluciones, se procedió a medir la absorbancia por espectrometría de absorción atómica (EAA).

a) Curva de calibración de la absorbancia para determinar el cromo residual.

Para llevar a cabo los cálculos de las concentraciones de cromo (VI) a partir de las absorbancias obtenidas, se utilizó la ecuación de la pendiente que proviene de la curva de calibración (Anexo N°2) ya ingresada en el equipo de EAA. La ecuación fue la siguiente:

$$Abs = 0.01119 * C + 0.00170$$

Donde:

Abs: Absorbancia

C: concentración de cromo residual (mg/L)

b) Cálculo del porcentaje de remoción del cromo (VI)

Para determinar el porcentaje de remoción de cromo (VI), nos basamos en la fórmula establecida en la investigación de Dobrosz, Angel y Santa (2018):

$$\% R_{Cr} = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100$$

Donde:

C₀: Concentración inicial

C: Concentración final

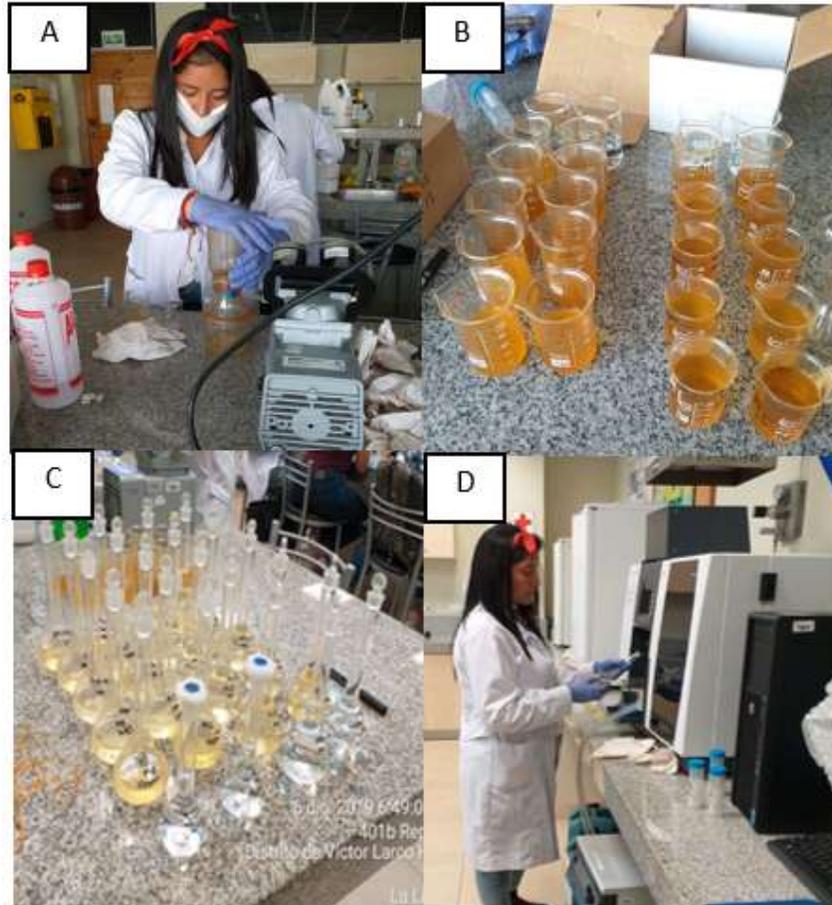


Figura 6. Digestión ácida y determinación de contenido de cromo. A) Filtrado de tratamientos, B) Digestión ácida de tratamientos, C) Preparación de diluciones, D) Determinación de cromo residual.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Extracción de pectina de la cascara de *Citrus reticulata*

La cantidad de pectina extraída por cada 5 kilos de cáscara de *Citrus reticulata* “mandarina” fue de 0.5 g., así se obtuvo un total de 10 g. de pectina (Tabla 2), la cual fue utilizada para los ensayos siguientes.

Tabla 2.

Pectina obtenida por cada 5 kg de cascara de Citrus reticulata

<i>N° de extracciones</i>	<i>Cascaras de Citrus reticulata (Kg)</i>	<i>Pectina (g)</i>
1	5	0.5
2	5	0.5

3.2. Digestión acida y determinación de cromo

Las absorbancias obtenidas en base a la solución sintética de 50 ml con una concentración de 10 mg/L de cromo y con un factor de dilución de 5. Permitió calcular la concentración de Cromo (VI) en cada uno de los tratamientos a diferentes pH (2-6). Dichos resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.

Absorbancias obtenidas a diferentes pH en la solución con 10 mg/L Cr

pH Tratamiento	Co (mg/L de Cr ⁺⁶)	Cf (mg/L de Cr ⁺⁶)	Absorbancia
2		5.095	0.00745
3		3.12	0.0043
4	11.2	2.395	0.00315
5		2.085	0.00265
6		2.65	0.00355

De igual manera, la Tabla 4 muestra las absorbancias obtenidas a partir del 50 ml de las soluciones sintéticas con una concentración de Cromo de 20mg/L y un factor de dilución de 20, a diferentes pH (2-6). Cabe mencionar que los controles sirvieron para la calibración del equipo.

Tabla 4.

Absorbancias obtenidas a diferentes pH en la solución con 20 mg/L Cr

pH Tratamiento	Co (mg/L de Cr ⁺⁶)	Cf (mg/L de Cr ⁺⁶)	Absorbancia
2		12.6075	0.00435
3		2.895	0.000475
4	25.01	4.9025	0.001275
5		6.2075	0.0018
6		2.8925	0.000475

3.2.1. Porcentaje de remoción del Cromo (VI) en diferentes valores de pH

Dichos valores obtenidos a partir de las absorbancias arrojadas por el espectrofotómetro de absorción atómica en diferentes valores de pH (Entre 2 y 6) y la curva de la pendiente se muestran en la Tabla 5, en donde la cantidad de Cromo (VI) de los tratamientos que tenían concentración de Cromo 10 mg/L en una solución de 50 ml con una concentración de pectina de 0.5gr y el factor de dilución de 5. También, se expone los porcentajes de remoción de Cromo (VI) calculados a partir de la cantidad de Cromo (VI).

Tabla 5.
Cantidad de Cromo (V) y los porcentajes de remoción a diferentes pH en una concentración de 10 mg/L.

pH	Cantidad de Cromo (mg/L)	% Remoción de Cromo (V)
2	5.19	52.43
3	3.33	69.51
4	2.4	78.01
5	2.18	80
6	2.65	75.7

Por otro lado, la Tabla 6 muestra los porcentajes de remoción de Cromo (VI) en cada tratamiento a partir de una concentración de 20 mg/L.

Tabla 6.
Cantidad de Cromo (V) y los porcentajes de remoción a diferentes pH en una concentración de 20 mg/L

pH	Cantidad de Cromo (mg/L)	% remoción de cromo
2	12.61	49.59
3	2.9	88.42
4	4.9	80.4
5	6.2	75.18
6	2.89	88.43

3.2.2. Análisis estadístico de la concentración final y porcentaje de remoción de cromo hexavalente.

A) Concentración final de Cromo hexavalente

Se planteó un ensayo factorial de dos factores, uno de ellos, la concentración inicial de cromo hexavalente de dos niveles (10mg/L y 20 mg/L) y el otro es el rango de pH (2,3,4,5 y 6), con la finalidad de determinar la concentración final de cromo luego de aplicar la pectina de *Citrus reticulata*.

Se efectuó el análisis de varianza y se encontró diferencias significativas entre los rangos de pH mediante la comparación de medias mediante el Test de Duncan.

Tabla 7.

Análisis de varianza factorial para la concentración final de cromo

Origen	SC	GL	CM	FC	P- VALOR
Concentración inicial	75,790	1	75,790	291,342	,000
pH	200,576	4	50,144	192,756	,000
Concentración inicial * pH	79,802	4	19,950	76,691	,000
Error	7,804	30	,260		
Total	363,972	39			

Tabla 8.

Valores promedio por factores estudiados

Concentración inicial	pH	Concentración final	Desv. Desviación	
10 ppm	2	5.19 d	0.26	
	3	3.33 c	0.35	
	4	2.40 ab	3.14 a	0.08
	5	2.18 a		0.35
	6	2.65 b		0.08
20 ppm	2	12.61 d	0.60	
	3	2.90 a	0.69	
	4	4.90 b	5.90 b	0.90
	5	6.21 c		0.21
	6	2.89 a		0.76

* letras iguales representan medias estadísticamente iguales según el Test de Duncan

Como se aprecia en la Tabla 8, existe diferencias entre la concentración inicial de cromo en una solución ideal sometida a tratamiento con pectina de *Citrus reticulata*. La concentración final de

chromium is lower in a lower concentration of chromium. Among the pH ranges studied, a pH between 4 and 5 is the optimum to achieve a lower concentration of 10 ppm of hexavalent chromium; while for a concentration of 20 ppm, pH 3 and 6 are the ideal.

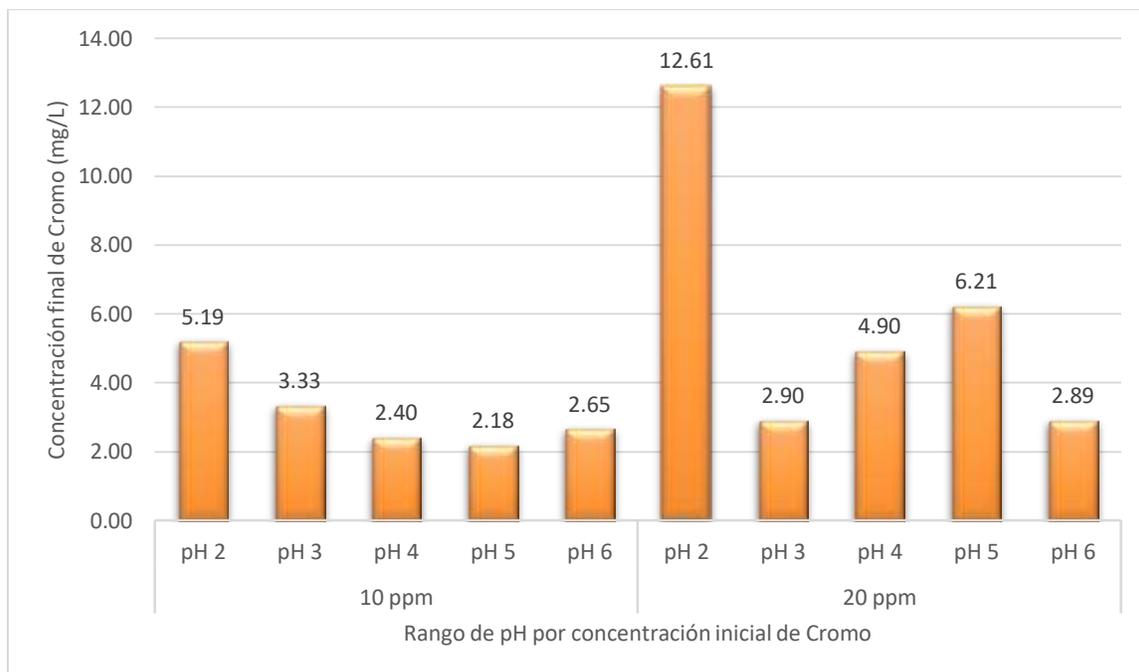


Figura 7. Concentración final de cromo hexavalente

In figure 8, the relationship between the variation of pH and the amount of final concentration of hexavalent chromium in a solution with an initial concentration of 10 mg/L and 20 mg/L is shown.

B) Porcentaje de remoción de Cromo hexavalente

Based on the same factorial experiment, starting from the results of % of removal of hexavalent chromium obtained; an analysis of variance was performed and significant differences were found for the factors under study, so it was necessary to determine the differences between pH ranges through the comparison of means using the Duncan Test.

Tabla 9.

Análisis de varianza factorial para la concentración final de cromo

Origen	SC	GL	CM	FC	P-VALOR
Concentración inicial	278.09	1	278	43.8	,000
pH	5264.1	4	1316	207.5	,000
Concentración inicial * pH	836.2	4	209	32.9	,000
Error	190.2	30	6.3		
Total	6568.7	39			

Tabla 10.

Valores promedio por factores estudiados

Concentración inicial	pH	Porcentaje de remoción	Desv. Desviación
10	2	52.43 a	2.36
	3	69.51 b	3.19
	4	78.02 cd	0.72
	5	80.01 d	3.20
	6	75.70 c	0.71
	20	2	49.59 a
3		88.43 d	2.76
4		80.40 c	3.61
5		75.18 b	0.83
6		88.43 d	3.05

* letras iguales representan medias estadísticamente iguales según el Test de Duncan

Como se aprecia en la tabla 10, existe diferencias entre la concentración inicial de cromo en una solución ideal sometida a tratamiento con pectina de mandarina. El porcentaje de remoción de cromo es menor en una concentración menor de cromo. Entre los rangos de pH estudiados, Un pH entre 4 y 5 es el óptimo para lograr una remoción mayor en una concentración de 10 ppm de Cromo hexavalente; mientras que para una concentración de 20 ppm resulta el pH 3 y 6 los ideales.

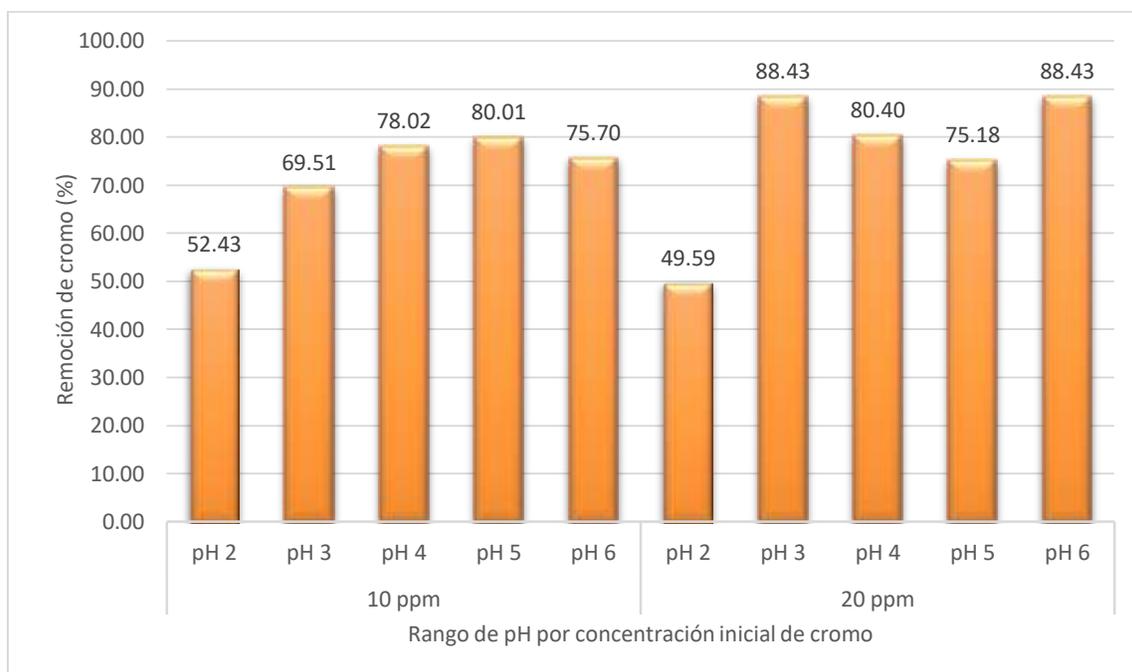


Figura 8. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones.

El mayor porcentaje de remoción de cromo hexavalente fue de 88%, en aquellos tratamientos con concentración inicial de 20mg/L, en comparación con el porcentaje de remoción de los tratamientos con concentración inicial de 10mg/L que fue de 80%. Este comportamiento, se puede atribuir a que, cuando se incrementa la relación solido/ liquido, la cantidad de metal absorbido aumenta, lo que da lugar a la existencia de una relación entre la cantidad de absorbente y el nivel de absorción, es decir el absorbente es el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración de metal que se absorbe, por lo tanto, a mayor cantidad de absorbente, mayor adsorción. (Tejada, Villabona y Marimón, 2014). Aunque, en la presente investigación el tamaño de partícula fue estandarizado para todos los tratamientos, cabe mencionar que el tamaño de la partícula del absorbente influye en el proceso de adsorción, así las partículas pequeñas favorecen la absorción del cromo hexavalente. (Tejada, Villabona y Jiménez, 2017).

La pectina es un polímero de cadenas largas ramificadas o lineales, se encuentran presentes en las paredes celulares de las plantas y/o frutos, y son los principales responsables de la adsorción de iones metálicos. (Tejada, Villabona y Garcés, 2014). Si se compara el porcentaje de remoción de cromo hexavalente (88%) a partir de 0.5 g de pectina, en relación con el uso de biomasa de *Citrus reticulata*, como es el caso de Verdugo (2017), quién obtuvo un porcentaje de remoción de 54.40% a partir de 0.1 gr de biomasa de *Citrus reticulata* “mandarina”, se destaca que si bien la cascara de mandarina tiene efectos positivos en la remoción de cromo, la pectina no solo es una alternativa altamente viable sino que además tiene un alto grado de solubilidad e hidratación como para ser utilizada de manera directa en aguas contaminadas. (Dronnet, Axelos, Renard y Thibault, 1998). Lo que implica que no es necesario el uso de materiales para su encapsulamiento o aislamiento antes de ser aplicada a la fuente a remediar, lo que reduciría significativamente los costos.

Por otro lado, el pH óptimo obtenido para la remoción de Cromo (VI) en los tratamientos con concentración inicial de 10mg/L es de pH 4 y pH 5, mientras que para los tratamientos con concentración inicial de 20mg/L estos fueron de pH 3 y pH 6. Por ello, es importante destacar que la capacidad de remoción del cromo por parte del bioadsorbente va a depender de ciertos parámetros controlables como son el tamaño de partícula, pH, temperatura y concentración de biomasa (Tejada et al, 2014). Asimismo, el estudio de la influencia del pH es un parámetro clave que interviene en la capacidad de unión de los absorbentes con los contaminantes (Rey- Castro, Logeiro, Herrero y Sastre de Vicente, 2003). Por lo tanto, conocer la función que cumple el pH en la remoción del cromo pudo evidenciar que este influye significativamente en dicha remoción.

Según Verdugo (2017), el pH es el factor más importante en los procesos de bioadsorción, quien determinó que el pH ideal para la adsorción de Cromo (VI) es de pH 4. Al comparar con los resultados obtenidos, se observa claramente que existe una similitud, en los tratamientos de concentración inicial de 10 mg/L cuyo pH optimo fue de pH 4 con un porcentaje de remoción de 78.02%. Además, se debe considerar que, en las aguas contaminadas por efluentes de industrias de Curtiembres, el pH oscila entre 3 y 4 (Moreno y Risco, 2016). Por tanto, al ser la industria de las curtiembres, una de las principales industrias que genera aguas contaminadas con Cromo (VI) (Esparza y Gamboa, 2001), se consideraría posible la aplicación de pectina de forma directa en los efluentes contaminados por Cromo (VI), sin la necesidad de tener que rectificar el pH de estos, sin que se generen costos adicionales.

4.2. Conclusiones

- La pectina de *Citrus reticulata* tuvo una remoción máxima de 88%.
- La pectina de *Citrus reticulata* es un bioadsorbente óptimo para la remoción de cromo hexavalente.
- El pH óptimo en el proceso de absorción fue de pH 4 y pH 5 en una concentración inicial de 10mg/L y el pH 3 y pH 6 en una concentración inicial de 20mg/L, lo que demuestra que el pH es un parámetro fundamental en el proceso de adsorción.
- La pectina de *citrus reticulata* puede utilizarse directamente en aguas residuales de la industria de las curtiembres.

REFERENCIAS

- Acosta, J., Cárdenas, M., Moctezuma, M., & Martínez, V. (2013). Removal of Hexavalent Chromium from Solutions and Contaminated Sites by Different Natural Biomasses. DOI: 10.5772/56152
- Arias, L. (2019). *Evaluación de la capacidad de remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Baca, G. (2018). *influencia del pH y granulometría de la cáscara de citrus sinensis (naranja) en la bioadsorción de cromo en efluente de etapa de curtido, curtiembre ecológica del norte*. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Campos, N. (2019). *Parámetros óptimos de adsorción de cromo III en aguas contaminadas mediante biomasa de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)*. (Tesis de pregrado) Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Chauhan, D., & Sankararamakrishnan, N. (2010). Modeling and evaluation on removal of hexavalent chromium from aqueous systems using fixed bed column. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 55-62
- Espinosa, N., & Mera, N. (2015). *Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Nariño, Pasto Nariño, Colombia.
- Garcés, N., & Coavas, W. (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: mc Graw Hill.
- Higuera, O., Florez, L., & Arroyave, J. (2009). Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cuero. *Dyna*, 76(160), 107-119.

- Ito, M., & Madariaga, J. (2019). *Tratamiento por bioadsorción con Petroselinum crispum (perejil) activado para minimizar los riesgos químicos del efluente en la etapa de curtido de la industria de cuero FECA S.R.L.* (Tesis pregrado). Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú.
- Jain, H., Malik, A., & Yadav, E. (2016). Applicability of plant based biosorbents in the removal of heavy metals: a review. Springer. DOI: 10.1007/s40710-016-0143-5
- Mahato, G. S., Sinha, C., Baral, P., Koteswararao, Y., Dhyani, F., Cho, V., & Cho, K. (2020). Biosorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. *Journal of Advanced Research*, 23, 61–82.
- Muñoz, J. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Omorie, G., Babalola, C., Unuabonah, O., Song, G., & Gong, X. (2016). Efficient chromium abstraction from aqueous solution using a low-cost biosorbent: Nauclea diderrichii seed biomass waste. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, 49-57.
- Ordoñez, V. (2015). *Bioadsorción de Pb y Cr mediante la utilización de cáscara de naranja (Citrus sinensis) molida, Machala 2014.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Pathak, B., Mandavgane, K., & Kulkarni, H. (2015). Fruit peel waste as a novel low-cost bio adsorbent. *Reviews in Chemical Engineering*, 31(4). DOI: <https://doi.org/10.1515/revce-2014-0041>
- Pérez, A., Aguilar, G., Meseguer, S., Ortuño, D., Sáez, F., & Lloréns, C. (2009). Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal*, 155(1-2), 199-206. DOI: 10.1016/j.cej.2009.07.034
- Reyes, E., & Cerino, J. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, 9 (31).
- Schiewer, D., & Santosh, J. (2008). Modeling the Effect of Ph on Biosorption of Heavy Metals by Citrus Peels. *Journal of Hazardous Materials*, 157(1), 8-17. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.12.076

- Shafiq, H., Alazba, J., & Amin, C. (2018). Removal of Heavy Metals from Wastewater using Date Palm as a Biosorbent: A Comparative Review. *Sains Malaysiana*, 47(1), 35-49 DOI: 10.17576/jsm-2018-4701-05
- Tamayo, A., & Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica*. México: Limosa.
- Tejada, A., Quiñones, C., Tejada, N., & Marimón, L. (2015). Absorción de Cromo Hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de naranja (*Citrus sinensis*). *Producción + Limpia*. 10(1), 9-1
- Verdugo, L. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (citrus reticulata var. Clementina)*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Alvarado, A., Blanco, R. & Mora, E. (2002). El cromo como elemento esencial en los humanos. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*. 23 (1-2).
- Canchucaja, A. (2018). *Efectos urbano-ambientales producidos por la gestión de residuos sólidos del mercado de abastos "La Hermelinda" en el distrito de Trujillo, 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
- Delgado, S. & Castillo, D. (2015). Effect of temperature on microbial growth and bioleaching chalcopyrite on culture by microbial bioleaching. *Ciencia & Desarrollo*, 20, 59-64.
- Espinoza, Y. & Santos, P. (2018). *Comparación del método tradicional de extracción de pectina de la cáscara de naranja con el método por ondas de ultrasonido y sus efectos sobre la sinéresis en la elaboración del yogurt batido*. (Tesis de pregrado). Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Lima, Perú.
- Maldonado, Y., Salazar, S., Millones, C., Torres, E. & Vásquez, E. (2010). Extracción of pectin by acid hydrolysis method in fruit maushan (*Vasconcellea weberbaueri* (Harms) V.M. Badillo) from the district of San Miguel de Soloco, Amazon region. *Aporte Santiaguino*, 3(2), 177-184
- Dobrosz, I., Angel, M. & Santa, C. (2018). Optimización del Proceso de Adsorción de Cr (VI) sobre Carbón Activado de Origen Bituminoso. *Información Tecnológica*, 29(6), 43-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000600043>
- Tejada, C., Villabona, A. & Marimón, W. (2014). Biosorption of chromium (VI) in water using modified lignocellulosic material. *Educación en Ingeniería*. 9(17), 86-97.

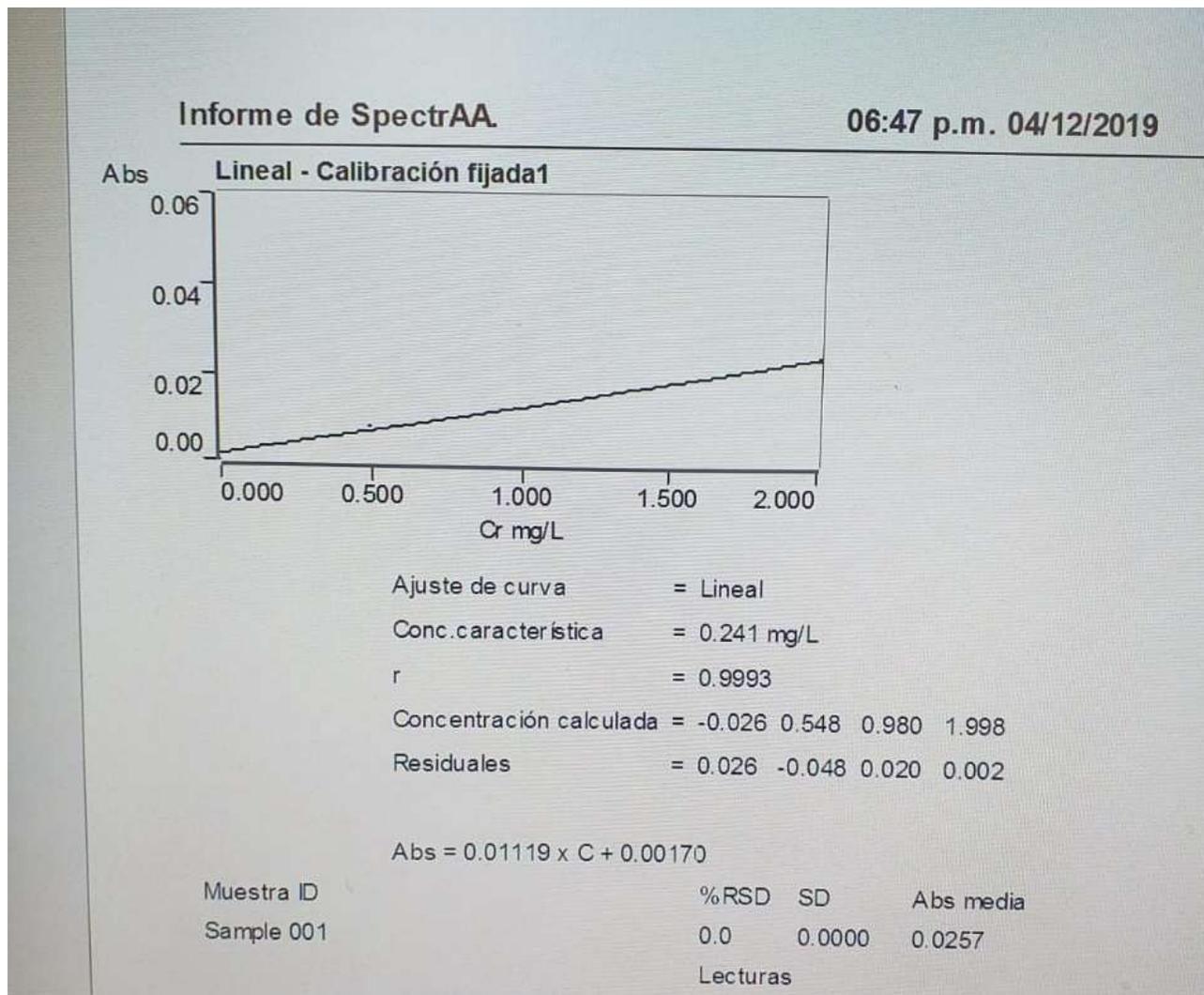
- Tejada, C., Villabona, A & Jiménez, M. (2017). Removing of hexavalent chromium on chemically pretreated cacao waste. *Actualidad & Divulgación Científica*, 20 (1), 139 – 147.
- Tejada, C., Villabona, A & Garcés, L. (2014). Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- Dronnet, V., Axelos, M., Renard, J. C., Thibault, F. (1998). Improvement of the binding capacity of metal cations by sugar-beet pulp. 1. Impact of cross-linking treatments on composition, hydration and binding properties. *Carbohydrate Polymers*, 35(1–2), 29-37.
- Rey-Castro C., Lodeiro, P., Herrero, R. & Sastre de Vicente, M. (2003). Acid–Base Properties of Brown Seaweed Biomass Considered As a Donnan Gel. A Model Reflecting Electrostatic Effects and Chemical Heterogeneity. *Environmental Science and Technology*, 37(22), 51 59-67 DOI: 10.1021/es0343353
- Moreno, D. & Risco, T. (2010). *Evaluación de la temperatura de calcinación y el tamaño de partícula de valvas de concha de abanico sobre el porcentaje de remoción de cromo trivalente en soluciones acuosas artificiales de Cr^{3+} mediante un proceso de precipitación.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Esparza, E & Gamboa, N. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de Química*, 15(1).
- Rangel, A., Isarain, E. & Maldonado, M. (2015). Caracterización y recuperación de sales de cromo hexavalente de un pasivo ambiental. *Rev. Int. Rev. Contam. Ambie*, 31 (4), 427-437.
- Hernández, J. (2018). *Caracterización de pectina a partir de uva (vitis vinífera red globe) de descarte obtenida mediante método de hidrólisis ácida.* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.

ANEXOS

Anexo n° 1. Ficha de Laboratorio

<u>FICHA DE LABORATORIO</u>			
Fecha: _____		Lugar: _____	
N° de repetición: _____			
N° de ensayos	Indicadores		

Anexo n° 2: Curva de calibración Curva de calibración de la absorbancia para determinar el cromo residual.



Anexo n°3: Recolección de muestras de efluentes de la Industria de Curtiembres.



Anexo n° 4: Medición del pH de las muestras obtenidas del efluente de la Industria de Curtiembres.



Anexo n°5: Resultado de la medición del pH de las muestras obtenidas del efluente



Anexo n°6: Visita finalizada en la Curtiembre “El Orión” Trujillo, Perú

