



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

EMPLEO DE BIOMASA VEGETAL EN LA CAPTACION DE CIANURO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR LA INDUSTRIA MINERA

Presentado por:

KARINA MARTHA DE LA CRUZ ROMERO

BRENDA STEFANIE DIAZ SINCE

Autor de la tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 17% (**PORCENTAJE DE SIMILITUD**) por lo cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 24 de junio del 2021

SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



“EMPLEO DE BIOMASA VEGETAL EN LA CAPTACIÓN DE CIANURO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR LA INDUSTRIA MINERA”

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Presentado por:

Bachiller: DE LA CRUZ ROMERO, Karina Martha

Bachiller: DÍAZ SINCE, Brenda Sthefanie.

**ICA – PERÚ
2019**

RESUMEN

Uno de los Severos problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas en zonas de influencia minera lo conforma principalmente el cianuro. El cual para ser eliminado requiere de intervenciones de ataque con elementos igual de contaminantes los cuales no se pueden evacuar a los ríos o fuentes de agua, por lo que se busca otros medios amigables con la naturaleza para suprimirlo.

En esta investigación se ha empleado dos fuentes principales cuyas propiedades tienen la atribución de reducir este elemento altamente contaminante, como lo son la raigambre (raíz) y la cascara de la planta comúnmente llamada yuca y científicamente denominada Manihot Esculenta. La cuales son pulverizadas hasta lograr partículas pequeñas de 5 mm como mínimo, para rellenar recipientes que fueron empleados como filtros de flujo lento y retener el cianuro por el método de bioadsorción. Los datos estadísticos indican que con una cantidad de flujo de agua de 200 mL/h y una concentración de 10 ppm de cianuro. Este puede llegar a disminuir de concentración hasta 3 ppm.

Palabras Claves: Cianuro, Manihot Esculenta, Bioadsorción, Contaminación.

ABSTRACT

One of the severe problems of contamination of surface and groundwater in areas of mining influence is mainly cyanide. In order to eliminate it, it is necessary to attack it with equally contaminating elements that cannot be evacuated to rivers or water sources, so other means friendly with nature are sought to remove it.

In this research, two main sources have been used whose properties have the attribution of reducing this highly contaminating element, such as the root (root) and the shell of the plant commonly called cassava and scientifically called *Manihot Esculenta*. These are pulverized until small particles of at least 5 mm are obtained, to fill containers that were used as slow-flow filters and retain the cyanide by the bioadsorption method. Statistical data indicate that with a water flow rate of 200 mL/h and a concentration of 10 ppm of cyanide. The concentration of cyanide can be reduced to 3 ppm.

Keywords: Cyanide, *Manihot Esculenta*, Bioadsorption, Contamination.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres; por siempre habernos dado su fuerza y apoyo incondicional que nos han ayudado y llevado hasta donde estamos ahora; así mismo queremos agradecer a Dios por darnos la salud y las fuerzas necesarias para poder lograr un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de dicha tesis.

DEDICATORIA

BACHILLER EN ING QUIMICA: De La Cruz Romero, Karina Martha

A Dios por guiarme en cada etapa de mi vida, por ser mi apoyo y fortaleza en cada momento de dificultad y debilidad.

A mis padres, por su sacrificio en todo momento. Gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy ahora.

A mis Hermanas por su cariño y apoyo incondicional durante este proceso.

BACHILLER EN ING QUIMICA: Diaz Since, Brenda Sthefanie

A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que dí, doy y daré en la vida, cuidándome y dándome fuerzas.

A mis padres, quienes han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo vital en todo momento, depositando toda su confianza en cada meta que se me atraviesa en mi etapa profesional.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	02
ABSTRACT	03
AGRADECIMIENTOS	04
DEDICATORIA	05
ÍNDICE	06
INTRODUCCIÓN	08
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	09
1.1. Situación problemática	09
1.2. El problema de investigación.	10
1.3. Hipótesis de investigación.	10
1.4. Objetivos de la investigación.	11
1.5. Variables.	12
1.6. Justificación e importancia de la investigación.	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	14
2.1. Antecedentes.	14
2.2. Bases teóricas.	20
2.2.1. Biomasa y Bioadsorción.	20
2.2.2. Yuca.	28
2.2.3. Cianuro.	37
2.3. Marco conceptual.	47

CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.	51
3.1. Tipo y nivel de la Investigación.	51
3.2. Población y muestra de la investigación.	51
3.3. Variables e indicadores.	51
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información	52
3.5. Técnicas de procesamiento y Análisis de resultados.	52
3.6. Método de investigación	52
3.6.1. Diseño del método de investigación.	52
3.6.2. Métodos y procedimientos.	53
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	72
4.1. Resultados.	72
4.2. Discusión de resultados.	81
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	83
FUENTES DE INFORMACIÓN	84
ANEXO	88

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el esfuerzo constante de los gobiernos y diversas instituciones para minimizar la contaminación de fuentes principales de aguas contaminadas con cianuro y metales pesados, debido a su nocividad, no alcanza los objetivos esperados y estos cada día aumentan su concentración en diversos cuerpos de agua, especialmente en aquellos que están localizados en el subsuelo, debajo de zonas donde se desarrollan actividades mineras.

La eliminación del cianuro presente en fuente de aguas contaminadas es complicada y de elevado precio, así mismo como los metales pesados presentes en dichas aguas. Puesto que para ello se requiere de la instalación de grandes infraestructuras y el requerimiento de reactivos específicos para la eliminación del agente contaminante analizado. Frente a este problema de contaminación que se observa día a día en diferentes países, se ha venido desarrollando diversos estudios en la que su materia principal es la integración de la materia orgánica y en específico los vegetales para el tratamiento de fuente de aguas contaminadas con sustancias como el cianuro y metales pesados, generándose así un proceso llamado bioadsorción, que será aplicado en la parte experimental de esta investigación, empleando la biomasa de la *Manihot esculenta* (*yuca*) para la captación del cianuro.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El Pueblo San Luís de Pajonal se encuentra localizado en la provincia de Nazca, distrito de Vista Alegre. En dicho lugar se encuentran situadas diversos centros mineros, donde se procesa el oro por el empleo del método de la cianuración, las cuales diariamente descargan desechos líquidos y sólidos con una elevada carga química contaminante, que constituyen el llamado drenaje ácido, el mismo que penetra en los suelos, subsuelos alojándose así en los cuerpos de agua subterránea que mediante pozos abastece a la población del distrito, especialmente a San Luís de Pajonal.

El análisis de estas aguas ha reportado un progresivo aumento de agentes contaminantes presente en estas fuentes tales como los metales pesados y cianuro. Los niveles de estas sustancias contaminantes presentes en las aguas subterráneas, en la mayoría de los casos exceden los límites máximos permisibles para el agua potable adecuada para el consumo humano.

El tratamiento adecuado a emplear en fuentes de agua, para su eliminación y extracción de los porcentajes de cianuro y metales pesados en su composición, es costoso para los municipios y muchas veces irrealizable, proponemos en la presente investigación

el empleo de la biomasa de la yuca (la cáscara y la pulpa de la raíz) seca y pulverizada como bioadsorbente de cianuro lo cual constituye una tecnología sencilla, barata y de fácil aplicación.

1.2. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.2.1. Problema general.

¿De qué manera capta la biomasa de la yuca (Manihot Esculenta) el cianuro presente en aguas contaminadas por la actividad de la industria minera?

1.2.2. Problemas específicos:

- a. ¿De qué manera la capacidad de adsorción de la biomasa influye en la captación del cianuro por bioadsorción?
- b. ¿Como la composición química de la biomasa se relaciona con la captación del cianuro por bioadsorción?
- c. ¿En qué medida el porcentaje adsorbido del cianuro mejora mediante el empleo de la biomasa de la yuca (Manihot esculenta)?
- d. ¿Como afecta la velocidad de flujo requerida para la captación de cianuro empleando la biomasa de la yuca (Manihot esculenta)?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. Hipótesis General.

La biomasa de la yuca (Manihot Esculenta) capta por bioadsorción el cianuro presente en fuente de aguas contaminadas por la industria minera.

1.3.2. Hipótesis específicas:

- a. La capacidad de adsorción de la biomasa influye significativamente en la captación de cianuro por bioadsorción.
- b. La composición química de la biomasa se relaciona directamente con la captación del cianuro por bioadsorción.
- c. El porcentaje adsorbido del cianuro mejora significativamente empleando de la biomasa de la yuca (Manihot esculenta)
- d. La velocidad de flujo requerida para la captación de cianuro incide favorablemente empleando la biomasa de la yuca (Manihot esculenta).

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo General.

Demostrar que la biomasa de la yuca (Manihot Esculenta) capta por bioadsorción el cianuro presente en fuentes de aguas contaminadas por la industria minera.

1.4.2. Objetivos específicos:

- a. Verificar que la capacidad de adsorción de la biomasa influye en la captación de cianuro por bioadsorción.
- b. Identificar que la composición química de la biomasa se relacione con la captación del cianuro por bioadsorción
- c. Analizar el porcentaje adsorbido del cianuro y su mejora mediante el empleo de la biomasa de la yuca (Manihot esculenta).
- d. Evaluar la velocidad de flujo requerida para la captación de cianuro empleando la biomasa de la yuca (Manihot esculenta).

1.5. VARIABLES.

1.5.1. Variable independiente (X)

Empleo de biomasa de la yuca (Manihot esculenta)

1.5.2. Variable dependiente (Y)

Captación del cianuro por bioadsorción

1.6. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La actual investigación justifica teóricamente y a su vez plantea la necesidad de establecer diferentes criterios teóricos que permitan estipular que componente de la biomasa de la yuca es el que

contiene las propiedades vitales para lograr satisfactoriamente atraer de manera provechosa el cianuro presente en su composición; proponiendo para ello la hipótesis la cual establece de que la planta de la yuca presenta fibras solubles e insolubles en toda su cáscara y la corteza, los que cumplen esta magnífica función. Así mismo en la investigación se expondrá de manera detallada el proceso posterior para que así de manera experimental se logre extraer y eliminar el cianuro presente en dichas aguas con el empleo de la biomasa de desecho, refiriéndonos así a dos elementos de gran importancia, como lo son la cáscara y la raíz de dicha planta quien juntas cumplen como propiedades muy importantes para la atracción y extracción de dicho agente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

A nivel Internacional.

En el año 2015 **Galarza, E.** presentó su tesis titulada “Posibilidades de captación del cianuro empleando materia vegetal de desecho industrial”, a la Universidad de Bogotá - Colombia, Investigación experimental en la que establece la integración de diversos tipos de mandioca aludiendo así a la *Manihot Esculenta*; llamado comúnmente yuca por su alto valor de almidón en las raíces. Se empleará esta variedad no comestible para la atracción y captación del cianuro presentes en fuentes de aguas contaminados a efecto de la industria minera en la zona de Putumayo. La investigadora llega a una conclusión final de que esta biomasa logra absorber cantidades relevantes de cianuro con una obtención hasta los 6 ppm.

En el año 2014, **Tejada C, Villabona A y Garcés L** presentaron la investigación titulada *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, Colombia, en la cual exponen las bases teóricas de la bioadsorción para captar metales pesados diversos, en bioadsorbentes que provienen de la flora microbiana, algas, vegetales, desechos orgánicos de origen vegetal,

desechos resultantes de las plantas agroindustriales e incluso ciertos biopolímeros, los cuales tienen la capacidad de captar por adsorción en forma directa los iones metálicos que se encuentran en las aguas. Además, en la investigación se propone el tratamiento de esta biomasa para aumentar su capacidad para adsorber con métodos simples y baratos. Los investigadores concluyeron que los metales más peligrosos para la salud humana son: Cd, Zn, Ni, Cr, Hg y Pb motivo por el cual deben de ser controlados o eliminados del medio ambiente. Por otro lado, consideran este método pasivo de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados uno de los más eficientes, simples y baratos que es fácil de activar y no requiere de mantenimiento. Concluyen además que los mecanismos de bio adsorción son varios y deben de tener cierta compatibilidad con el material orgánico que se emplee en la captación de metales pesados. Los autores recomiendan el empleo de biomasa muera en vez de viva ya que esta última se puede ver afectada por la toxicidad del metal pesado y la sobreacumulación de estos propicien su muerte.

En el año 2019, **Tamay, A.** presentó su tesis titulada *Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (ananas comosus) para la remoción de metales pesados*, a la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Ecuador, en la que

hacen un estudio teórico experimental para evaluar la capacidad de bioadsorción de esta especie para el plomo y cromo que se encuentran como iones en los cuerpos de agua. Previamente hace la caracterización de la muestra y evalúa los parámetros de trabajo como el pH, temperatura y el intercambio catiónico de la adsorción y finalmente, empleando hidróxido de sodio y ácido clorhídrico llevan a cabo la desorción del plomo y cromo. La tesista llegó a la conclusión que la corona de piña es un excelente bioadsorbente con elevado intercambio catiónico que llega a los 80,071 meq/g y que esos resultados son comparativamente similares a los hallados por otros investigadores sobre ese mismo tema.

En el año 2018, **Pintado, K.** presentó su tesis titulada: *Comparación de la bioadsorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (Zea mays) en aguas contaminadas*, a la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, en ella después de interpretar la muestra comenzó a definir la capacidad de intercambio iónico del marlo de maíz, reportando un valor de 84,095 meq/g para el plomo y el cromo, así mismo, se determinaron los parámetros para llevar a cabo las pruebas de adsorción en la biomasa, ente ellos el pH adecuado que fue de 4,31 para el plomo y 4,19 para el cromo, siendo el tiempo de residencia de dos horas. Así mismo las pruebas

de desorción indicaron que el hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico son los reactivos que mejor se comportaron en el proceso de desorción de los metales pesados.

En el año 2017, **Zapata, E y Bermúdez, Y.** presentaron su tesis titulada Estado del arte de la biodegradación de cianuro en aguas residuales industriales, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia, en la que se hace un estudio teórico experimental sobre la bio adsorción empleando biomasa vegetal, incluyendo la yuca y microorganismos degradadores de cianuro que pueden resistir condiciones ambientales extremas. Las pruebas experimentales desarrolladas por las investigadoras han permitido concluir que es perfectamente posible emplear biomasa vegetal en la captación de cianuro presente en los efluentes mineros y en las aguas residuales contaminadas con este reactivo.

En el año 2007, **Fernández, B** presentó su tesis titulada Desarrollo de un nuevo método para la eliminación del cianuro de aguas residuales de mina, a la Universidad de Oviedo, España, la cual es un estudio teórico experimental, en la que propone el uso de permanganato de potasio como oxidante energético para tratar los efluentes cianurados y como método pasivo considera que bioadsorción propiciada por biomateriales vegetales (biomasa)

pueden ser empleados para la captación de esta sustancia, especialmente se puede emplear material vegetal de que tenga cierta afinidad con el cianuro, lo cual es conveniente porque la yuca, posee la capacidad de almacenar este compuesto. La ventaja de este procedimiento es que resulta ser sencillo y de bajo costo, y puede captar cianuro en cantidades significativas, que equivalen a varios mg por litro de agua contaminada.

A nivel nacional

En el año 2017, **Cahuana, A.** presentó su tesis titulada manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera Ananea S.A. a la Universidad Nacional Del Altiplano – Puno, la cual es un trabajo experimental en el que se estudia las formas de neutralizar el cianuro y minimizar sus efectos tóxicos y contaminantes. Se propone en el estudio el uso de sales como el sulfato de hierro con peróxido de hidrógeno para lograr dicho objetivo. Adicionalmente se hace referencia a la bioadsorción, como un método ecológico, que se puede emplear para eliminar cianuro de las aguas contaminadas cuando las cantidades de dicha sustancia es mínima. Concluye que se podría emplear desechos de la industria agroindustrial y fruto y raíces ricas en carbohidratos como la yuca y camote de desecho.

En el año 2015, Rodríguez, C. presentó su tesis titulada Empleo de residuos de amiláceos en la captación de cianuro y metales pesados presentes en aguas contaminadas, a la Universidad Nacional Santa María de Arequipa, en la que, mediante un estudio teórico experimental, se comprobó que los carbohidratos de estos vegetales pueden captar por bioadsorción, algunos metales pesados y sustancias tóxicas como el cianuro de sodio. Las pruebas experimentales realizadas mostraron resultados positivos con el cianuro, logrando reducirlo desde 3 ppm a 0,5 ppm, bajo condiciones estándares de ensayo, empleando el material celulósico como sustrato en filtros lentos. El mismo resultado se encontró con los metales pesados Hg, Pb y Fe. El autor concluyó en que el material celulósico previamente tratado, para eliminar azúcares, es un adsorbente de metales pesados y cianuro de excelente capacidad.

En el año 2014, Chávez, L. presentó su tesis *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por cianuro*, cuyo objetivo fue demostrar experimentalmente la remediación de los suelos contaminados con esta sustancia haciendo uso de plantas cuyas raíces tienden a captar nitrógeno en gran cantidad, tomando como unidades de experimentación la alfalfa, el maní y la yuca, esta última la selecciono por su afinidad con el cianuro. Las pruebas realizadas mostraron resultados positivos, logrando captar hasta 4 ppm en el

caso de la alfalfa, 3,3 ppm el maní y 4,3 ppm la yuca en un tiempo de 48 horas. Para realizar los ensayos el autor, selecciono áreas específicas de terreno, donde sembró estas especies que se dejaron crecer y producir, para luego regarlas con una solución de cianuro conteniendo 5 ppm de dicho reactivo. Después de este tiempo se realizaron análisis para determinar cianuro total en el terreno y en las raíces de los vegetales. El autor concluyo que la fitorremediación de suelos contaminados con cianuro se puede hacer con estas tres especies logrando buenos resultados.

A nivel local

En las bibliotecas de las universidades que hay en la ciudad de Ica, no se han encontrado tesis relacionadas con el tema desarrollado en la presente tesis.

2.2. BASES TEÓRICAS.

2.2.1. Biomasa y bioadsorción.

2.2.1.1. Biomasa

La biomasa es toda materia orgánica proveniente de las plantas, pueden ser a su vez también de origen animal. Las de origen orgánico son las que emplearemos en esta ocasión incluyendo sus residuos y desechos. Capaz de ser aprovechada e implementada en diversos procesos entre los cuales figura la generación de energía.

Cuando se habla de la biomasa vegetal, se entiende que la célula es la estructura principal en todo organismo, que es conformada por una pared; la cual es una capa muy resistente y a la vez flexible, aunque en algunas ocasiones se presenta de manera rígida brindando así soporte estructural a todo organismo vegetal como es la planta, presentando principales constituyentes como lo son la hemicelulosa, celulosa, lignina y componentes extraíbles. Hablemos del primero; La hemicelulosa, está conformada por grupos heterogéneos como lo son la pentosa, hexosa, manosa y galactosa. La cuales al enlazarse forman líneas ramificadas y a su vez dicho constituyente es un polímero complejo (TAPIA, 2003).

Toda Planta posee pectinas y protopectinas las cuales tienen la propiedad de un intercambio iónico, lo que favorece captar iones de diversas sustancias entre las cuales está integrada el cianuro.

2.2.1.2. Bioadsorción.

Es un término que toma de referencia la extracción de metales pesados. Existiendo a su vez un análisis que comprueba y valida al “Intercambio iónico” como el mecanismo primordial e importante y el más empleado para la atracción del metal por las propiedades de su biomasa. Asimismo, se llegó a establecer vínculos fuertes entre las uniones de metales por el método empleado como lo es el de biopolímeros y la atracción de dicho elemento por diferentes tipos de

biomasa, (Tapia, 2003) Estas fueron captadas a partir de células de organismos vivos para que posteriormente se lleve a cabo dichos lineamientos y metas propuestas. Para ello es de vital importancia medir la capacidad que presenta la biomasa a emplearse para la captación de metales en solución acuosa; llamándose así a la preparación líquida que contiene una o más sustancias químicas solubles en agua. Lo que conlleva así a caracterizar su estado de equilibrio después de hacer reaccionar la biomasa junto con la solución del metal. La guía propuesta para explicar los resultados obtenidos debe ser eficaz para un diagnóstico de capacidad que presenta el metal para unirse y atraerse a una variedad de concentración, buscando así obtener finalmente un mecanismo de biosorción (PINZÓN-BEDOYA, CARDONA 2008)

La isoterma de sorción (Langmuir); es empleada con frecuencia para la determinación de cantidades y comparación de acciones de diversos biosorbentes para su posterior evaluación, Siendo así que el caso del modelo resulte ser apropiado se procederá a ejecutar análisis fisicoquímicos en los que se está basando (DUARTE, JARAMILLO 2009).

Dicha isoterma se ejecutó para calificar y evaluar los procesos de adsorción de diversas fases; tanto gas - sólido, con la incorporación de un carbón activado, tomándose en consideración que las uniones

con la superficie se encuentran intervenida por el trabajo de fuerzas electrostáticas; estableciendo así que los sitios de adsorción poseen afinidad y una relación de equivalencia por el adsorbato en las fases líquida y sólida.

En forma empírica, el modelo de Langmuir se establece asumiendo que la adsorción está caracterizada por el empleo de espacios en superficie del sólido; denominando así a **S** (adsorbente) por parte de un **A** (adsorbato), logrando obtener como resultado la unión del adsorbente y el adsorbato, dando como resultado un complejo adsorbido **SA**. (MONGE, VALENZUELA, ACEDO, CERTUCHA., ALMENDARIZ. 2008)

Esta se representa por el equilibrio:



La concentración en la superficie se puede dar a conocer en distintas unidades. Sabiendo así que de manera general y particular los diferentes lugares de la parte superficial presentan la misma relación y atracción por el soluto **A**, Dicha ley de acción de masas en relación al proceso puede escribirse y descifrarse de la manera siguiente:

$$K_{ads} = \frac{[SA]}{[S][A]} = \exp(-\Delta G^{\circ}_{ads} / RT) \quad (2)$$

La concentración global de sitios superficiales (ST):

$$[ST] = [S] + [SA] \quad (3)$$

De (2) y (3); concluyendo:

$$[SA] = [ST] (K_{ads} [A] / 1 + K_{ads} [A]) \quad (4)$$

Resultando la concentración superficial como:

$$\Gamma = [SA] / \text{masa de adsorbente} \quad (5)$$

Asimismo:

$$\Gamma_{max} = [ST] / \text{masa de adsorbente} \quad (6)$$

Obteniendo finalmente:

$$\Gamma = \Gamma_{max} (K_{ads} [A] / 1 + K_{ads} [A]) \quad (7)$$

La Resultante ecuación de Langmuir. Así mismo se pueden llegar a obtener otras expresiones diferentes; La teoría de la isoterma establece que (DUARTE, JARAMILLO, 2009):

- (a) La adsorción se vea limitada al número de especies total adsorbidas [SA]; por consiguiente, no exceder la concentración total y global de dichos sitios superficiales [ST],
- (b) La energía de adsorción ya sea que se encuentre independiente a la relación entre las sustancias adsorbidas [SA] y los sitios superficiales [ST]; esta última mencionada debe tener la misma atracción por el adsorbato. Representadas finalmente de la manera siguiente: [SA]/[ST].

Una gráfica de Langmuir se visualizará en la Figura 2.2

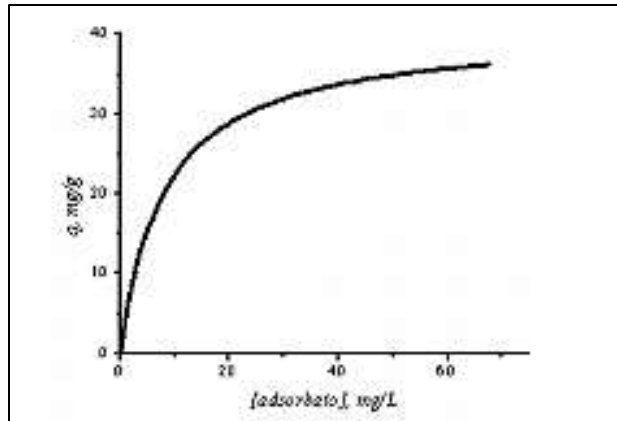


Figura 2.2. Isotherma de Langmuir (DUARTE, JARAMILLO, 2009)

Como se le menciona anteriormente y con excepción a los procesos de biosorción; puesto que una de estas condiciones mencionadas no se va a lograr cumplir. La biomasa tiene consigo diversos tipos de grupo o cadena funcional que se atribuyen al proceso, y cada uno de estos grupos posee afinidades y características diferentes por el metal. Incluso, la relación estequiometría 1:1 no se va a lograr incluir o implementar debido a que el intercambio iónico se comporta como el mecanismo dominante, liberando así dos protones. Estos se liberan a causa y consecuencia de que un ion divalente del metal pesado resulta estar unido al sitio activo (AYDIN, AKSOY, 2009)

Pero, a pesar de ello la ecuación (7) es empleado para realizar ajustes en los datos experimentales, aunque a su vez los estudios de adsorción son presentados de la siguiente manera:

$$q = \frac{bCf}{1+bCf} q_{max} \quad (8)$$

Y son definidos de la presente manera:

q = Capacidad de adsorción del soluto siendo este el metal pesado o adsorbato, (mol de soluto / gramo de biosorbente).

q_{max} = Denominado también, Capacidad máxima de adsorción del soluto como lo son en este caso los metales pesados. (mol de soluto/gramo de biosorbente).

C_f = Concentración final de equilibrio del soluto (adsorbato).

En la presente condición el parámetro b no es considerada como una constante veraz integrada en la adsorción de Langmuir; sino todo lo contrario, es considerado como un parámetro de ajuste. Tomándose en cuenta lo expresado anteriormente, Se entiende que el sistema no cumple con las suposiciones establecidas por el modelo original, por ende, no es posible vincularse energía libre de Gibbs generando posteriormente la obtención de una reacción específica (AYDIN, AKSOY, 2009).

Sin embargo, dicho parámetro es útil para la implementación de medidas de afinidad tanto de biosorción o eficiencia de la biomasa. Tal es el caso de una pendiente inicial de la isoterma; el cual presenta valores altos de b , lo que da referencia a una alta atracción por el mencionado adsorbato. Por otro lado, los biosorbentes más cotizados son los que presentan capacidad máxima (q_{max}) y valores

altos en b . Se hace mención a un ejemplo; Tal es el empleo específico de la ecuación resultante (8), representada gráficamente en la Figura 2.3, para la adsorción de Cr (III) con empleo de la cáscara de naranja .

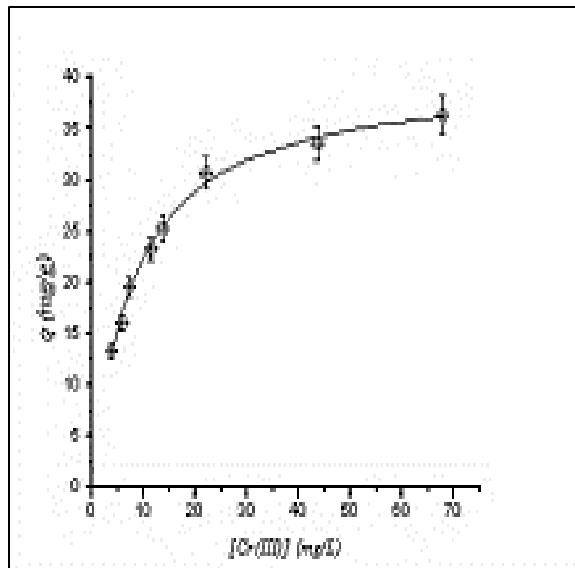


Figura 2.3. Isotherma de Langmuir para adsorción de Cr (III) con el empleo de la cáscara de naranja. (DUARTE, JARAMILLO, 2009)

Experimentalmente las condiciones presentadas para una cantidad de 1,45 g presente de biomaterial fueron lo siguiente: Volumen final (V_f) =75 mL, tiempo de contacto (t) =4 h, Potencial de hidrogeno (pH) =4,4 y por último la temperatura (T) =20°C. Al cambiar la [Cr(III)] entre los valores “76,96 y 769,60 mg/L”, Estableciendo así una cantidad de q_{max} igual a 39 mg/g, y una cantidad de $b =0,14$ L/mg. (ROSAS, 2008).

Otra isoterma apropiada para cuantificar el equilibrio de los sistemas de biosorción; Es la denominada, sistema de Freundlich. Al igual que

el sistema de Langmuir, su magnitud e intensidad de dicho proceso de sorción es calculada y adquirida en función al equilibrio del metal en solución; siendo así su concentración sin mencionar el Ph y la presencia de iones en el sistema (ROSAS, 2008).

Principalmente y de manera empírica dicha isoterma es empleada para descifrar los procesos de sorción en zonas superficiales. Presentando así espacios con unión a afinidades variables y Estableciendo que las zonas con presencia de unión más fuerte son tomadas y empleadas en ocupaciones en primera instancia. Dicha fuerza disminuye a medida que se aumenta el grado de ocupación de los diferentes sitios de unión y es definida de la siguiente forma:

$$q = k C_f^{1/n} \quad (9)$$

Donde son definidas de esta forma:

Las constantes; k y n , llamadas constantes empíricas, en la que el valor de k , se relaciona con la máxima capacidad de enlaces y la constante n con la fuerza que presenta el enlace al biomaterial. (TAPIA, 2009)

2.2.2. Yuca (Manihot esculenta).

2.2.2.1. Origen y distribución

Se piensa que la yuca es de origen suroeste de México y de Centroamérica, así mismo también se establece que es originaria del noreste de Brasil. Esta especie de planta, puede llegar a dividirse en dos grandes grupos; Como lo son: Yuca dulce y yuca amarga. La

discrepancia entre un grupo y otro se encuentra netamente en el contenido principal del ácido cianhídrico, dado que en el grupo de yucas amargas la presencia de dicho ácido es de mayor proporción en la raíz. Asimismo, se estima que la yuca dulce fue domesticada en Mesoamérica y originaria de las poblaciones silvestres de dicho tiempo y llevada de Mesoamérica a Suramérica. En la parte noreste de Suramérica el grupo de yuca amarga pudo haber sido domesticada. En el país de Brasil, la yuca tuvo un incremento con respecto a su diversidad genética a través de los cruces intra-específicos y por hibridación con especies silvestres (ZEVEN Y ZHUKOVSKY, 2015).

2.2.2.2. Clasificación taxonómica.

- Reino:	Plantae
- División:	Magnoliophyta
- Clase:	Magnoliopsida
- Orden:	Malpighiales
- Familia:	Euphorbiaceae
- Subfamilia:	Crotonoideae
- Tribu:	Manihoteae
- Género:	<i>Manihot</i>
- Especie:	<i>Manihot esculenta</i> CRANTZ

Fuente: (ZEVEN Y ZHUKOVSKY, 2015).

2.2.2.3. Descripción botánica.

Planta:

La *Manihot esculenta*; denominada “Yuca” es una planta/arbusto cuyo tamaño tiende a variar, pudiendo llegar a alcanzar hasta los 3 m de altura y a su vez estas se pueden agrupar en relación a su altura tales como: bajos (alcanzando los 1,50 m como máximo.), intermedios (de 1,50 - 2,50 m como máximo) y los llamados altos; superior a 2,5 m.



Fig.1. Planta de la yuca (ZEVEN Y ZHUKOVSKY, 2015).

Tallo:

El tallo puede presentar presencia de posición recta o acostada. Según su variedad, el tallo podría reflejar una cantidad determinada de ramificaciones tales como: cero, dos, tres o más presencia de ramificaciones primaria; Considerando al de tres ramificaciones el más común y mayoritario en la yuca. Las diversas variedades de

ramificaciones de presencia alta; considerada así a aquellos arbustos cuya estatura excede los 100 cm. El grosor del tallo es medido del nivel el suelo a 20 cm y a su vez estas pueden ser: Delgado (Inferior a 2 cm de diámetro), intermedio (de 2 a 4 cm de diámetro) y los tallos gruesos (superior a los 4 cm de diámetro). A las características del grosor se le ha relacionado el elevado rendimiento en raíces de reserva provisional. Los entrenudos de los tallos son considerados de acuerdo a su dimensionamiento, como lo son: -Angosto: hasta 8 cm como máximo, -Medio: 8 a 20 cm como máximo y -Largos: más de 20 cm.

Hojas:

Dicha parte de la planta presenta forma palmipartida, con 5 - 7 lóbulos, que pueden llegar a presentar forma y presencia linear. Se consideran hojas simples, alternas a aquellas cuya vida es corta y su longitud es de 15 cm aproximadamente. Los apéndices de dicha hoja son largos y delgados, de 20 hasta 40 cm de dimensión y con color variante entre una tonalidad roja y verde. La epidermis superior, definida como una capa de células externa del cuerpo de dicha planta, brillante con una cutícula muy bien definida. Según la defoliación sobre todo en estaciones secas, donde las variedades de esta planta llegan a retener y a su vez almacenar una gran cantidad de follaje de hasta un 60% aproximadamente.

Flores:

Especie que presenta flores en un mismo tallo, tales son así sus géneros masculinos y femeninos. La segunda se encuentra localizada en la zona baja de la planta y tienden a ser menores en número que las Flores masculinas las cuales se visualizan con facilidad, cuya localización es fácil de distinguir, ubicándose arriba de la inflorescencia; llamado así a la disposición que presenta las flores sobre las ramas del tallo. Estas flores masculinas son más pequeñas a diferencia de las femeninas.

Sistema Radicular:

El Sistema Radicular lo conforman la corteza de la planta, como lo son: corteza externa, media e interna. Así mismo también está comprendida por el cilindro central, estela y la región vascular. La corteza externa conocida también como corcho comprendida ente los rangos de 0,5 - 2,0% de la totalidad de la raíz. Así mismo la corteza media se encuentra formada por un tejido el cual se encuentra ubicada principalmente entre las plantas leñosas; denominadas también felodermis sin esclerénquima. Está en su composición posee un contenido muy bajo de almidón y principios cianogenéticos alto entre un 9 - 15% de la totalidad de la raíz, mientras que la interna se encuentra por el parénquima de la corteza primaria y del floema. Por último, La raíz sobrante no presenta

médula y pueden ser raíces con coloración de pulpa, y estas suelen presentarse de color amarilla, crema o blanca. El rendimiento por planta en raíces es de 1 - 3 kg, logrando llegar en óptimas condiciones de 5 hasta 10 kg/planta.



Fig. 2. Raíces de la yuca (ZEVEN Y ZHUKOVSKY, 2015).

2.2.2.4. Composición química.

Carbohidratos	26.9
• Azúcares	1.7
• Fibra Alimentaria	1.8
Grasas	0.4
Proteínas	3.2
Agua	60
• Retinol (vit. A)	13 µg (1%)

• Tiamina (vit. B ₁)	0.09 mg (7%)
• Riboflavina (vit. B ₂)	0.05 mg (3%)
• Niacina (vit. B ₃)	0.85 mg (6%)
• Ácido pantoténico (vit. B ₅)	0.11 mg (2%)
• Vitamina B ₆	0.3 mg (23%)
• Vitamina C	48 mg (80%)
• Vitamina E	7 mg (47%)
• Calcio	16 mg (2%)
• Cobre	0.10 mg (0%)
• Hierro	0.27 mg (2%)
• Magnesio	21 mg (6%)
• Manganeso	0.38 mg (19%)
• Fósforo	27 mg (4%)
• Potasio	271 mg (6%)
• Sodio	14 mg (1%)
• Zinc	0.34 mg (3%)

Fuente: (ZEVEN Y ZHUKOVSKY, 2015).

2.2.2.5. Toxicidad

La *Manihot esculenta* (yuca), Como se le definió anteriormente es un arbusto con muchas propiedades, la que nos permite lograr adquirir bajo estrictas condiciones ácido cianhídrico. Asimismo, los glucósidos cianogenéticos son tóxicos puesto que se originan por descomposición enzimática HCN (ácido cianhídrico). Dicho ácido se origina al cortarse o triturar las plantas o partes de ellas que contienen presencia de glucósidos tales como linamarina y lotaustralina, Las cuales se han logrado identificar en la yuca (HERNÁNDEZ, 2016)

La toxicidad de la *Manihot esculenta* se ha visto recaída por el alto contenido de HCN presentes en la producción de las variedades de dicha planta. Su simpatía por atraer los iones metálicos como lo son el cobre y el hierro. Provoca que al ser mezclado con el hierro que presenta la hemoglobina y el cobre presente en de la oxidasa, traiga consigo depresiones neuronales de los centros moduladores ocasionando problemas respiratorios y según su gravedad puede incluso esta causar la muerte. Por tanto, el HCN es considerado un veneno por sus propiedades toxicas que presenta llegando a provocar daños perjudiciales para toda forma de vida. La futura consecuencia que se traiga consigo dependerá mucho de la cantidad de dosis y frecuencia constante de su consumo, así como también

la condición nutricional que presenta la persona. En animales la relación y reacción es distinta puesto que el envenenamiento agudo se presenta con una respiración y pulso acelerado y profundo, llevando consigo movimientos espasmódicos de escasa reacción a los diferentes estímulos que se presenten (HERNÁNDEZ, 2016).

La yuca en su composición contiene 50 veces menos proporción en cianuro. Por consiguiente, la concentración de glucósidos presentes en las raíces de la planta se puede ver dañadas o afectadas por las diferentes condiciones ambientales en las que han sido cultivadas desde su comienzo, por ende, el consumo frecuente de las variedades de esta planta no sólo del grupo de las amargas, sino también de las dulces pueden resultar muy peligrosos tanto en personas como animales. Para ello las presentes raíces deben de pasar por un estricto tratamiento previo, para con ello prevenir cualquier tipo de intoxicación el cual a futuro traiga consigo daños perjudiciales.

Dichos métodos tienden a variar de un país a otro; es decir, el empleo de ejecución suelen ser distintos métodos. Existen tres tipos de métodos, entre ellos tenemos; - El primero son los que suprimen el glucósido, por el método de lavado y prensado del material a emplear, o también por el método de degradación enzimática del glucósido; - El segundo, son los que destruyen e eliminan las

enzimas; Por ultimo tenemos las combinaciones de los dos métodos mencionados y empleados anteriormente. Todo esto puede traer consigo intoxicación alimentaria, para evitar dicha intoxicación es aconsejable que sea tratada y procesada antes de ser consumida.

2.2.3. Cianuro.

2.2.3.1. Generalidades.

Genéricamente las formas presentes del cianuro libre en la naturaleza (HCN y CN^-), por lo general son difíciles de ser identificados de manera rápida y eficaz en efluentes mineros. La interrogante por la gran cantidad de agentes tóxicos ocasionados por dichos efluentes radica en las variadas formas complejas que presenta el cianuro y la probabilidad de desintegrarse, causando así cianuro libre presente en el nuevo sistema. Sustancialmente aquellas propiedades con alto o elevado grado de toxicidad de NaCN son empleadas en el uso de cámara de gas (HCN) y en soluciones por las personas para quitarse voluntariamente la vida (ALVAREZ., BLANCO, GRANDA, 2007)

La dosis letal de NaCN ; es denominada de tal forma ya que con esta dosis provoca el fallecimiento del ser viviente, dicha cantidad depende del peso corporal del individuo y las condiciones físicas que esta presenta; por ejemplo, un individuo cuyo peso es de 75 kilos, al ingerir 2 litro y medio de agua al día, Su dosis letal de esta persona

seria de 30 ppm. Si bien sabemos las cantidades por encima a los 200 ppm son totalmente mortales para cualquier persona. En la siguiente Tabla 1, daremos a conocer los valores máximos permisibles del NaCN en los siguientes países latinoamericanos, tanto como Colombia y Estados Unidos.

Aquellos lugares de zonas mineras auríferas del Perú se han distinguido por la constante explotación, los beneficios presentes y comercialización de aquellos metales preciosos de un modo imprevisto y eficaz. (ALVAREZ., BLANCO, GRANDA, 2007)

En el Sur Peruano encontramos ubicados unos 120 centros mineros en proceso de legalización ambiental, a su vez se encuentra la ubicación de unas 50 pequeñas plantas mineras cuyo beneficio provechoso era el oro y otras 50 las cuales se dedican a la compra de dicho mineral. Todas estas en su conjunto global, traen consigo a una consecuente problemática ambiental debido al inadecuado uso constante de los minerales tales como: el cianuro, mercurio y calcinación de amalgamas con la intervención de sopletes sobre unos platos cerámicos.

Tabla 1

Valores máximos permisibles para el cianuro

Condición	Magnitud, ppm
Agua de consumo humano	0,02
Conservación de la flora y fauna	0,05
Agua potable	0,01
Residuos sólidos	0,01

Fuente: OEFA.

2.2.3.2. Química del cianuro.

La terminación cianuro es empleado para hacer mención a un conjunto de compuestos de elementos químicos que se diferencian entre sí por la presencia de un átomo de carbono incorporado a otro átomo de nitrógeno mediante un triple enlace covalente. Las múltiples variedades de este compuesto, se pueden clasificar a su vez en:

Cianuro Libre

La frase utilizada para descifrar al ion cianuro (CN^-), el cual se diluye en el agua durante el proceso como cualquier otro cianuro de hidrógeno (HCN) que se forma en la solución (SIENKO PLANE, 2016)

Compuestos Simples de Cianuro

Se entiende así; a las sales presentes del HCN; tales como KCN, NaCN, entre otras. Los cuales al ser combinadas se diluyen en su totalidad en soluciones generando así posteriormente cationes alcalinotérreos libres y aniones de cianuros como resultado de la obtención final.

Compuestos Complejos de Cianuro

Cianuros de hierro o Ferrocianuros, En el primero el hierro es reducido con valencia +2; mientras que en el Ferrocianuro el hierro es oxidado con valencia +3.

Los cianuros de hierro desde una perspectiva ambiental requieren una primordial atención de acuerdo a su gran estabilidad en carencia de luz y su predisposición a separarse en su presencia. No obstante, dichos complejos son considerablemente resistentes y fuertes a la degradación natural hasta la disolución total del cianuro libre y complejo del cianuro metálico. Los ferrocianuros son capaces de liberar niveles altamente tóxicos de este ácido, sobre todo cuando se encuentran expuestos a elevadas radiaciones de ultravioleta (BURNS, 2009).

Cianuro Total: (TCN)

Se designa como cianuro total a todos los compuestos de este elemento presente en una solución acuosa. Esta frase se emplea en cada uno de los diversos procedimientos analíticos. El cianuro en su totalidad incorpora a tres clases de cianuro, tales como: cianuro libre, cianuros simples y cianuros complejos.

Cianuro Disociable con Ácido Débil (Wad CN).

Enunciado analítico utilizado para nombrar a los diferentes compuestos de cianuro que se disocian bajo reflujo con la intervención de un ácido débil que normalmente es de pH =4.5.

Otros Compuestos Derivados del Cianuro:

- Tiocianato: la existencia de tiocianato (SCN^-) en los efluentes, es consecuente de la reacción del cianuro con presencia de iones de sulfuros desligados en el proceso de la lixiviación.
- Cianato: Es la oxidación del cianuro, provocado por oxidantes como el cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrogeno, trabajado a temperatura ambiente.
- Amoníaco: Al reaccionar estas dos sustancias mencionadas anteriormente de manera lenta con el agua produce y forma amoníaco y carbonato.

2.2.3.3. Toma de muestras y análisis del cianuro.

Toma de muestra.

Existen diversas medidas y recomendaciones para conservar las muestras de concentración del cianuro, entre sus más sobresalientes tenemos:

- Debe recolectarse una cantidad mínima (1 L) de muestra en recipiente de plástico o vidrio.
- Las muestras deben conservarse por adición de NaOH, hasta que el pH obtenido de dicha muestra resulte igual o superior a 12 en el momento de colecta.
- Las muestras tienen que estar refrigeradas a una temperatura de $T = 4^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.
- El tiempo máximo de acopio antepuesto al análisis es de 14 días.
- También deben considerarse y tener en cuenta las interferencias que puede ocasionar las sustancias tales como: el ácido sulfhídrico, sulfuros metálicos, entre otros.

Determinación del contenido de cianuro

Existen distintas normas internacionales que son asignadas para la designación de cianuros; sin embargo, se recopilan los siguientes métodos frecuentemente usados:

√ Destilación con NaOH:

El empleo de un método común es la destilación para la medición del cianuro en su totalidad, que consta en volatilizar todo el modelo de cianuro y finalmente condensarlas con NaOH.

Método Espectrofotométrico:

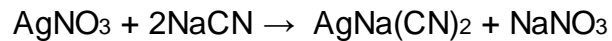
El método espectrofotométrico o el método del espectrofotómetro es empleado para definir la concentración total de cianuros inorgánicos presente en las aguas residuales, potables y naturales. Este tratamiento detecta los cianuros tanto en sales simples solubles o radicales complejos.

Método Potenciométrico:

En el método potenciométrico se considera la medición de una diferencia de potenciales entre dos electrodos diseñados, en la cual los cianuros son incorporados en el destilado alcalino de dicho tratamiento con un electrodo selectivo de ion, a su vez en unión a un electrodo de referencia y a un potenciómetro la cual cuenta con una escala difundida en mili voltios para una medición específica de iones.

Método Volumétrico:

El CN^- presente en dicha muestra es combinado con AgNO_3 en presencia de KI como indicador, para así constituir el complejo de cianuro soluble ($\text{Ag}(\text{CN})_2^-$). En cuanto el CN^- , resulte acomplejado y se visualice un pequeño exceso de Ag^+ el cual es detectado por el indicador de KI, siendo este sensible a la plata a su vez provocando un viraje en la solución.

**2.2.3.4. Métodos para la degradación del cianuro.**

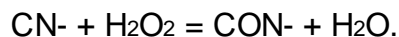
En este tratamiento el primordial objetivo en una campaña de descomposición de cianuro sobre todo en efluentes industriales es minimizar la concentración de cianuro libre a niveles permitibles para los seres vivos. Por ello, se han empleado varios métodos que en general se pueden catalogar en:

- Degradación natural.
- Degradación por recuperación del cianuro.
- Degradación por precipitación.
- Degradación por conversión a formas menos tóxicas.
- Degradación por oxidación.

Para el empleo de los efluentes, se aplicaron técnicas asociadas a la degradación por oxidación; por lo que, se explicaran en detalle.

Oxidación con Peróxido de Hidrogeno

Mediante dos procesos el peróxido de hidrogeno aplica para la desintegración oxidante de CN- libre y sus complejos. El principal proceso conocido como kastone fue originalmente establecido por la Dupont, 1974 y por Mathre y Devries, 1981. Este procesamiento emplea una solución de peróxido de hidrogeno al 41% con una cantidad reducida de mg/l de formaldehído y cobre. El proceso siguiente fue establecido por Degussa Corporation, integrando a su vez una solución de peróxido de hidrogeno y sulfato de cobre en diversas concentraciones, aunque es frecuente no incorporar las sales de cobre, debido a la existencia de dicho metal dentro de los minerales procesados, la reacción fundamental es:



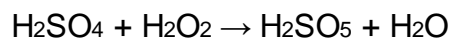
Oxidación por Clorinación Alcalina

Clorinación alcalina es un cambio químico que consiste en la oxidación y eliminación del CN- libre y sus complejos débiles, bajo condiciones alcalinas (pH = 10.5-11.5). El Cl es suministrado de diversas maneras tales como líquida, gaseosa o sólida en forma de hipoclorito de sodio. Las formas sólidas se preparan en soluciones concentradas anticipadamente a utilizarse en el proceso de oxidación. El cloro o hipoclorito de sodio pueden incluso a su vez originarse in situ electrolíticamente.

Oxidación con Ácido Peroximonosulfúrico.

El H_2SO_5 , llamado también peróxido de hidrogeno es conocido como Ácido de Caro pues lleva el nombre representativo a su inventor Heinrich Caro (1834 – 1910) quien fue el primero que lo preparo en 1898.

El Ácido de Caro o peróxido de ácido sulfúrico es un notable agente reductor de cianuro muy empleado para los efluentes provenientes de los procesos de cianuración en minerías de oro y plata. Este agente resultante del producto de la reacción exotérmica entre el H_2SO_4 y el H_2O_2 ; de la cual nos da como efecto una solución clara e incolora de una sola consistencia cuyas propiedades físicas se visualizan en la Tabla 2. Debido a su inconsistencia, dicho acido es originado en el mismo punto de uso bajo la siguiente reacción:



A su vez, dicho acido desintegra con gran facilidad a los cianuros WAD, los cuales son cianuros pesados y disociables en ácido débil. A su vez descompone a los cianuros libres que son obtenidos en procesos de extracción de la minería del oro disociados a pH 9; este pH surge debido a la adición de este acido, disminuye el pH de los valores normales (los cuales varían entre 10.5 y 11.5 debido a la cantidad de álcali empleado en el proceso de cianuración).

2.3. MARCO CONCEPTUAL.

Adsorción: Proceso fisicoquímico en el que los fluidos se adhieren a la superficie porosa de un sólido (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Bioadsorción: Proceso de adsorción en el que se emplea como adsorbente materia orgánica (biomasa) (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminación: libramiento de sustancias que de forma directa o indirecta ocasionan efectos adversos relacionados con el medio ambiente y los seres vivos. Existen en el medio ambiente y se observa presencia de contaminantes, agentes tóxicos o infecciosos que perjudican la vida, la salud, la tranquilidad del hombre; así como la fauna y la flora; que a su vez disminuyen la calidad del ambiente y en general, la estabilización ecológica y los bienes particulares y públicos. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminante: Constituye un material o residuo que bien se sabe y se sospecha que es agente de riesgo para todo ser vivo.

(DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminante natural: Son contaminantes emitidos por los diversos procesos naturales del océano, de los bosques, de los volcanes, de los pantanos, de las tempestades eléctricas, entre otras. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminante primario: Contaminante del aire emitido concisamente por una fuente. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminante secundario: **Aquel** que puede ser generado y producido en la atmósfera por los procesos físicos y químicos a partir de contaminantes tanto primarios u otras sustancias presentes como consecuencia de las emisiones de fuentes estacionarias o móviles. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Contaminantes antropogénicos: ocasionados por la acción resultante del hombre en los diferentes procesos ejecutados. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Control ambiental: Medidas legales y técnicas que son empleadas para reducir, evitar la variación del entorno o secuela ambiental provocada por las actividades del ser humano, o en todo caso causadas por los desastres naturales, para finalmente oprimir los riesgos de la salud humana. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Efluente: Resultado del desecho o residuo de un proceso gaseoso, líquido o sólido que es descargado al medio ambiente. Estos desperdicios pueden haber sido tratados o no. Cualquier desecho tanto sólido, líquido, gas o semisólido entra y tiene relación con el medio ambiente como un subproducto de actividades humanas. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Emisión: Es la descarga de agentes contaminantes y tóxicos presentes en el aire comenzando en la fuente a la atmósfera libre. El área o la superficie en el cual se lleva a cabo la descarga se denomina "fuente". Esta frase se utiliza para representar la descarga y el caudal de esta. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Impacto ambiental: En dicho impacto ambiental, Toda modificación o cambio que se lleve a cabo ya sea positivo o negativo, llega a

causar sobre el medio ambiente consecuencia con resultados indirectos de acciones antrópicas las cuales tienen mayor porcentaje de posibilidad de producirse diversas alteraciones causando daños negativos en la salud humana, la aptitud productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos fundamentales. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

Impacto ecológico: Es el efecto, perturbación o consecuencia del resultado de un cambio de origen natural o antropogénico relacionado al sistema ecológico de un área determinada. (DICCIONARIO DE TÉRMINOS AMBIENTALES, EDITORIAL UMBRO).

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Tipo y nivel de Investigación.

La presente investigación por su tipo es aplicada y por su nivel explicativa.

3.2. Población y muestra de investigación.

La población de estudio estará conformada las aguas contaminadas con cianuro por la actividad minera en la zona de Nasca.

Se tomará como muestra principal el recurso hídrico del agua del Asentamiento Humano San Luís de Pajonal del distrito de Vista Alegre, provincia de Nasca, departamento de Ica.

3.3. Variables e indicadores.

Variable independiente.

Empleo de biomasa vegetal

Indicadores:

- Capacidad de adsorción de la biomasa.
- Composición química de la biomasa.

Variable dependiente:

Captación de cianuro de aguas contaminadas.

Indicadores:

- Porcentaje adsorbido del cianuro.
- Velocidad de flujo requerida para la captación del cianuro.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INVESTIGACIÓN.**3.4.1. Técnica de recolección de datos.**

Las técnicas empleadas en la recolección de datos fueron los procedimientos analíticos para la cuantificación del cianuro y otros componentes del agua.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

Los instrumentos empleados son los ensayos experimentales que permiten obtener los datos sobre la concentración de cianuro en el agua.

3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos fueron clasificados, tabulados, interpretados y discutidos.

3.6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.**3.6.1. Diseño del método de investigación.**

El método de investigación de la presente tesis es experimental de diseño:

X ----- O

Dónde:

X Es el experimento, resultante de la manipulación de la variable independiente.

O Es la observación de los resultados de la manipulación de X.

3.6.2. Métodos y procedimientos.

RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE AGUA.

La muestra de agua del Asentamiento Humano San Luís de Pajonal, se hizo desde un caño de abastecimiento al poblado, en cinco botellas de vidrio de un litro de capacidad, debidamente limpias y secas con tapa hermética. Una vez llenas se colocaron en una caja de termopol y se echó hielo sobre ellas para luego sellar la caja y enviarla al laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional “San Luís Gonzaga de Ica” para realizar los análisis correspondientes. Al ingresar al laboratorio las botellas con las muestras de agua fueron puestas en el refrigerador a 5°C, hasta el momento de su análisis.

METODOS DE ANALISIS DEL AGUA EMPLEADOS

A. CONDUCTIVIDAD.

EQUIPO: Conductómetro HACH.

PROCEDIMIENTO:

Los envases asignados en los ensayos deben estar completamente limpios de huellas dactilares. Inicialmente se enciende el aparato, se ajusta a la escala conveniente y se va a seleccionar el patrón más adecuado, el mismo se agita y se coloca en la celda de medición. Se mueve la aguja de la perilla de ajuste "Standardize" hasta alcanzar el valor de conductividad en la escala. A continuación, procedemos a sacar la muestra patrón y se coloca la muestra problema, en seguida se realiza la lectura correspondiente

B. CLORUROS.

PROCEDIMIENTO.

Se vierte 100 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer y en otro se agregará 100 ml de agua destilada (libre de cloruros) que servirá para la comparación entre las muestras. Si la muestra se observa coloreada se decolora con 3 ml de solución de hidróxido de aluminio. Acto seguido de unos 10 minutos se procede a filtrar y se lava con 10 a 15 ml de agua destilada. Si en la muestra se percibe que contiene sulfuro o tiosulfato, se requiere alcalinizar a la fenolftaleína con

solución de hidróxido de sodio. Se agrega 1 ml de peróxido de hidrógeno y se agita. Se neutraliza con ácido sulfúrico.

TITULACIÓN.

Se agregará unas gotas de fenolftaleína y se ajustará a un ligero tono rosado (pH entre 7-10) se agrega hidróxido de sodio o ácido sulfúrico según sea necesario. Se agrega 1 mL de K₂CrO₄. Se titulará con una solución valorada de nitrato de plata hasta que se observe un tono amarillo rojizo. Se delimita el gasto de titulante de la muestra testigo, siguiendo el método de titulación especificado.

CÁLCULO.

$$\text{Cl} = \frac{(\text{mL AgNO}_3 \text{ (muestra)} - \text{mL AgNO}_3 \text{ (testigo)}) \times \text{Nor. AgNO}_3 \times 35,46 \times 1,000}{\text{ml de la muestra}}; \text{mg/L.}$$

C. pH.

PROCEDIMIENTO:

- a) Tome la muestra de agua que se requiere analizar.
- b) El ajuste y calibración del aparato se efectúa según lo indica el manual del fabricante. Una vez realizado esto lo siguiente es empezar a proceder de la siguiente manera:
 - Enjuague el electrodo con agua destilada.

- Coloque el corrector manual térmico en el valor de temperatura que indica la muestra de agua.
 - Introducir el electrodo en la solución buffer a utilizar y mueva el botón de encendido hasta la posición de pH.
 - Lleve la aguja del medidor al valor de pH adecuado para la solución buffer según la temperatura, desplazando el botón de calibración en el sentido de las manecillas del reloj o inversamente.
 - A continuación, se moverá el botón de encendido a posición apagado.
 - Lavar y enjuagar el electrodo con agua destilada.
- c) Determine el pH de la muestra de agua de la siguiente manera:
- Introducir el electrodo en la muestra y colocar el botón de encendido en la posición de pH.
 - Leer el pH de la muestra; esperar a que el electrodo alcance el equilibrio (30 segundos).
 - Regresar el botón de encendido a posición apagado.

- Enjuagar el electrodo con agua destilada y sostenerlo sumergido mientras no funcione.
- El valor de pH se va a leer directamente en la pantalla del potenciómetro.

D. DUREZA TOTAL.

(Método: titulación con EDTA).

PROCEDIMIENTO:

- a) Se miden 50 ml de la muestra, luego se adiciona 1 ml de solución amortiguadora a utilizarse.
- b) Se adicionan seguidamente 4 gotas de la solución indicadora.
- c) Se procede a titular con EDTA.

Si en la titulación no se consigue un cambio preciso de color, se debe agregar el inhibidor. El periodo no deberá sobrepasar los 5 minutos, desde que se agrega la solución amortiguadora.

CALCULO:

Dureza total (DT) como mg/L carbonato de calcio, se calcula con la fórmula: $DT = mL \text{ EDTA} \times 20$.

E. SULFATOS.

PROCEDIMIENTO:

- a) Filtre la muestra hasta adquirir un filtrado sin turbiedad.
- b) Tome 50 mL de la muestra filtrada en un Erlenmeyer de 250 mL y adicionar 5 mL de solución acondicionadora. Se procede a combinar bien, luego añadir una cucharadita de cloruro de bario, revolver suavemente por 1 minuto y deje reposar 4 minutos.
- c) Se realiza la lectura en el turbidímetro y se extrae la concentración de sulfato indicada en la tabla del turbidímetro.

CALCULO:

$$\text{mg/L de SO}_4 = \frac{\text{mg de SO}_4 \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE YUCA.

La yuca empleada para desarrollar la parte experimental de la tesis, fueron recolectadas en el campo de cultivo, localizado en el Distrito de San Juan Bautista de Ica. Con ayuda de palas se extrajo la raíz de la yuca del suelo, tratando de no cortarlas ni dañarlas, para poder aprovechar la cáscara de la raíz y la pulpa de ésta. En general se recolecto 30 kilos de biomasa.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS.

La biomasa recolectada, se lavó con agua corriente para eliminar de su superficie la tierra y la suciedad del campo, luego se pusieron a secar al sol, para eliminar un poco de agua. Una vez secas, se trozaron y llevaron a estufa a 60°C, durante 24 horas a fin de eliminar totalmente el agua y obtener una muestra seca de consistencia frágil, que se rompa fácilmente al presionar con los dedos.

Una vez secas las muestras, se procede a pulverizar en un molino de martillo, se tamizó el material pulverizado y se seleccionó de acuerdo al tamaño de las partículas obtenidas. Los tamices fueron de 2 mm, 1 mm, 0,8 mm y 100 micras.

De acuerdo a la partícula obtenida, las muestras fueron colocadas en bolsas de papel y conservadas en un sitio fresco y seco, para poder emplearlas posteriormente en los análisis respectivos.

ANÁLISIS PROXIMAL DE LA BIOMASA.

Las muestras, fueron analizadas para determinar la composición química proximal de la planta (tallos, hojas y cáscara de la raíz), los ensayos realizados fueron los siguientes: humedad, fibra, cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos, empleando para ello los métodos generales de análisis.

a. Humedad.

(Método gravimétrico - AOAC - 1995)

Se pesaron 10 g de muestra pulverizada, en una luna de reloj tarada y se llevó a estufa a 110°C por 3 horas, luego se enfría en desecador y se pesa. Se repite el proceso hasta peso constante. El cálculo de la humedad se expresa en %.

$$\% H = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{de la muestra}}} \times 100$$

b. Grasas.

(Método Soxhlet - AOAC - 1995).

En un cartucho hecho de papel filtro se coloca 10 g de muestra seca y pulverizada, en la cámara extractora del equipo Soxhlet, se echa hexano incluso que tape el cartucho dejando macerar por 12 horas, después de las cuales se agrega un poco de solvente y se inicia el calentamiento para que este circule durante 3 ó 4 horas hasta que el solvente en la cámara de extracción se vea transparente. Luego por destilación se recupera el Hexano, dejando libre la grasa que se lleva a estufa a 100°C, se enfría y pesa. Esto se repite hasta obtener un peso constante. El resultado se obtiene con la fórmula:

$$\% \text{ grasa} = \frac{(W \text{ matraz} + \text{grasa}) - (W \text{ matraz vacío})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

c. Cenizas.

(Método de la Incineración Directa - AOAC - 1995).

En un crisol de porcelana seco y tarado, se echan 2 g de muestra pulverizada, seca y desgrasada. Se calienta hasta 200°C hasta completa carbonización luego se lleva a mufla a una temperatura de 600°C por 12 horas.

Se enfría en un desecador y se procede a pesar. Se vuelve a colocar en una mufla a 600°C por media hora, se enfría y pesa. Se repiten las tres últimas operaciones hasta conseguir peso constante. El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{W de las cenizas}}{\text{W de la muestra}} \times 100$$

d. Proteínas.

(Método de micro Kjeldahl - AOAC - 1995).

De la muestra pulverizada, seca y desgrasada, se pesa 0,3 g y se echa en el matraz Kjeldahl, adicionando 1 g de catalizador (Mezcla de $\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$) y 6 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se calienta primero a temperatura moderada, luego hasta ebullición y se conserva a esa temperatura hasta que el líquido se torne transparente o de un color verde esmeralda.

Terminada la digestión y fría la muestra se añaden 100 ml de agua destilada y se trasvasa a un matraz de 500 ml, se agrega 50 mL de NaOH al 50% y se destila, recogiendo el destilado en un Erlenmeyer con 50 mL de ácido bórico al 2%, y gotas de indicador rojo de metilo. La destilación se prolonga hasta la total eliminación del amoníaco (aprox. 125 mL).

El amoníaco que ha reaccionado con el ácido bórico y el exceso de hidróxido de amonio recolectado, se titula con ácido sulfúrico 0,1N hasta color inicial. El porcentaje se calcula con la fórmula:

$$\% \text{ Proteínas} = \frac{\text{Gasto} \times N \times 0,014 \times F \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Dónde:

N - es la concentración del ácido.

F - es el factor de la sustancia a analizar.

0,014 - es la mili equivalente del nitrógeno.

e. Fibras.

(Método AOAC - 1995).

Dos gramos de muestra pulverizada, seca y desgrasada se colocan en un matraz y se agrega 200 ml de H₂SO₄ al 1,25%, se hierve a reflujo durante 30 minutos, luego se filtra al vacío, lavando

con agua caliente hasta total eliminación del ácido. El residuo lavado se coloca en el mismo matraz con 200 mL de NaOH al 1,25%, dejándolo hervir durante 30 minutos más. Luego se deja reposar una hora, se filtra en papel filtro tarado y se lava. El residuo insoluble que queda en el papel filtro, se coloca en una luna de reloj tarada y se seca a 100°C hasta peso constante (P₁). Luego se incinera en mufla a 600°C, se enfría y pesa (P₂). El porcentaje de fibras se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% F = \frac{P_1 - P_2}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Dónde:

P₁ - Peso de la fibra seca.

P₂ - Peso de las cenizas.

f. Carbohidratos.

(Por diferencia - AOAC - 1995).

Se determinó por diferencia de pesos sumando las determinaciones anteriores y restando de 100.

$$\% \text{Carb.} = 100 - (\%H + \%G + \%P + \%F + \%C)$$

ESTUDIO TECNOLÓGICO.

Para la captación del cianuro con la biomasa de la yuca se procedió de la siguiente manera:

a. Selección y lavado.

La biomasa inicialmente fue seleccionada, de acuerdo a sus características morfológicas, eliminando aquellas que no presentaban buen aspecto o eran demasiado pequeñas, ésta selección se hizo de manera manual en una mesa de trabajo del laboratorio.

La biomasa seleccionada, con el fin de eliminar de su superficie la arena y la suciedad, se somete a lavado con agua corriente fría, ayudado por una enérgica agitación mecánica para que el lavado sea más efectivo.

b. Trozado.

Una vez seca la raíz se procedió a trozarla en finas rodajas, sin pelarla, con la finalidad de que su secado sea más rápido y fácil. El trozamiento se hizo con un cuchillo de acero sobre la mesa de trabajo, eliminando al mismo tiempo los extremos de la raíz.

c. Secado.

Primeramente, fue deshidratada expuesta al sol durante 3 días. Luego se efectúa un secado final en estufa de aire a temperatura de 60°C por un tiempo de 24 horas, hasta conseguir un material frágil, fácilmente quebradizo, sin deterioro alguno por su calentamiento; con lo que la biomasa quedará en condiciones para la siguiente operación.

d. Molienda.

La biomasa seca es triturada previamente para luego efectuar una molienda en un pulverizador hasta obtener partículas de 0,5 mm como mínimo.

e. Envasado.

Al producto pulverizado, con el propósito de evitar la captación de humedad del aire, se le envasa en frascos de vidrio de cierre hermético, donde se deja hasta llevar a cabo los ensayos correspondientes de análisis de la biomasa y de captación de cianuro.

PRUEBAS DE CAPTACIÓN DEL CIANURO.

Para ejecutar las pruebas de captación del cianuro presente en el agua, se ha empleado un equipo que consiste en tres reservorios tipo pecera, de vidrio, colocados en serie a niveles cada vez más

bajos con el propósito de que el agua discurra por gravedad pero que el flujo sea lento, considerándose los siguientes flujos: 1000 mL/h; 800 mL/h; 600 mL/h; 400 mL/h y 200 mL/h.

a. Preparación del equipo.

Cada filtro se acondiciona colocando biomasa molida con una granulometría de 5 mm a 10mm; hasta adquirir las tres cuartas partes de la altura del reservorio colocando sobre ellas una rejilla plástica pesada, dicha técnica para que el agua no levante la biomasa molida y pueda haber una cierta compactación de estas, que ofrezcan resistencia al paso del agua, lo que ayudará a hacer lento el flujo del agua a tratar.

En el tubo de salida, interiormente, se coloca una tela de gasa para que el agua no transporte la biomasa hacia el otro filtro. De esta misma manera se acondicionan cada uno de los filtros restantes y luego se vierte el agua a tratar en el primero hasta que caiga del tubo de salida del tercero agua filtrada. Entonces se regulan los flujos y se hacen las pruebas correspondientes.

b. Preparación de las muestras de agua a tratar.

El agua a tratar se preparará agregando a 20 litros de agua destilada con una concentración de cianuro del 10 ppm. Se

homogeniza la solución y luego se agrega al sistema, previo análisis de su composición.

PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DEL CIANURO.

Método para el Análisis de Cianuro Total (TCN).

METODO MANUAL

Según métodos ASTM (1984) y en ALPHA (1989). Se procede como sigue:

- Se toma 10 mL de la muestra en un matraz de 250 mL y agrega 50 mL de ácido sulfúrico (1:1) y 1 g catalizador cloruro de magnesio.

- Se va a colocar en la boca del matraz un adaptador con salida lateral y sobre él se coloca un refrigerante de bolas. El tubo de salida lateral se conecta a otro refrigerante de tubo en tubo, cuyo extremo libre se hace ingresar en el hidróxido de sodio al 2% contenido en un Erlenmeyer de 100 mL, para que absorba el gas de cianuro de hidrógeno que se desprende.

- Se procede a calentar hasta ebullición y así se mantiene hasta obtener 75 mL de destilado.

- Se toma 25 mL del destilado y se coloca en un Erlenmeyer de 100 mL, se adiciona 4 mL de solución alcalina de ioduro de

potasio y se titula con una solución 0,1N de nitrato de plata hasta que aparezca un tono amarillento.

1 mL de AgNO_3 0,1N = 0,01% de NaCN.

Cianuro Disociable con Acido Débil.

ASTM 1985; APHA 1989.

Este método se desarrolla de la misma modalidad que para cianuro total, solo que, en la primera fase, de la destilación, se trata la muestra con ácido pícrico al 10% en presencia de catalizador acetato de zinc. En seguida se procede como en el evento anterior.

El límite de detección de cianuro fácilmente disociable en ácido débil es de 0,005 mg/L, el cual es el mismo caso del cianuro total.

Cianuro Libre.

ASTM 1985.

El límite de detección para este método es 0,010 mg/L y se realiza de la siguiente manera:

- Se toma 25 mL de la muestra en un erlenmeyer de 100 mL y luego se agrega 50 mL de agua destilada.

- Se prepara una solución estándar de nitrato de plata 0,1N de la siguiente manera: Se pone 4,33 g de AgNO_3 en un

matraz volumétrico de 1000 mL y se agrega agua destilada hasta la marca de aforo.

- Se titula gota a gota hasta que aparezca un color azulado en la solución titulada. Para establecer con mayor precisión el punto final, se coloca como fondo un papel negro.
- Para el cálculo se considera:

$$1 \text{ mL de AgNO}_3 \text{ 0,1N} = 0,01\% \text{ de NaCN.}$$

Especies de Cianuro.

Cloruro de cianógeno (CK).

Standard Methods for the Examination of water, sewage, and industrial Wastes. 1965.

Reactivos:

- Cloramina T standard, solución acuosa al 5%.
- Arsenito de sodio, solución acuosa al 0,455%.
- Acetona, especificación ACS.
- Gamma-(4-nitrobencil) piridina al 5% en acetona (Reactivo DB-3).
- Solución patrón de cianuro; 0,251 g de KCN por litro de agua, 0,1 mg de canuro por mL; o bien, el disco de color N°860-12 del comparador de Hellige.

Procedimiento.

- Se determina la absorción de cloro en una porción alícuota de 100 mL de muestra. Si la absorción es mayor de 10 ppm, se deberá reducir a 100 mL de la muestra por la adición de la cantidad calculada de solución de cloramina T normal.
- Se pasan con pipeta 5 mL de la muestra a una celda de 12 mm o tubo Klett.
- Se agrega 0,1 mL de solución al 5% de cloramina T, seguida inmediatamente por la adición de 1 mL de arsenito de sodio.
- Después de medio minuto se agregan 0,5 mL del reactivo DB-3 y 1,5 mL de acetona.
- Se diluye a 10 mL con agua destilada.
- Al cabo de 5 minutos se compara la densidad del color con disco estándar Hellige para cloro (N°860-12) o en un fotómetro Klett-Summerson con una serie de patrones de cianuro (420 nm de longitud de onda).

LIMITES DE DETECCION Y CUANTIFICACION.

Entidades internacionales reconocen oficialmente que existen diferencias entre el nivel de detección y el nivel de cuantificación y que puede establecerse la presencia de un parámetro entre ambos niveles pero sin que pueda cuantificársele confiablemente.

Se ha descubierto que puede llegarse a un límite de detección absoluto de 1 mg/L (o 0,001 mg/L), pero el límite de detección que se reporta es de 0,005 mg/L.

El límite que generalmente se detecta en la determinación del cloruro de cianógeno es de 25 ppm.

CAPÍTULO IV
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

TABLA 4.1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA YUCA EMPLEADA

COMPOSICIÓN	CANTIDAD
Humedad, %	63,7
Fibra, %	1,8
Grasa, %	0,4
Proteína, %	3,2
Cenizas, %	4,0
Carbohidratos, %	26,9
Cianuro, ppm	0,2

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.1 muestra los resultados de las siguientes pruebas realizadas para determinar la composición química porcentual de la yuca, empleada en la parte experimental de la tesis, cabe resaltar que en ella se ha encontrado 0,2 ppm de cianuro, ya que es de una variedad dulce, con escaso contenido de cianógenos.

TABLA 4.2

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE YUCA

COMPOSICIÓN	CANTIDAD
Humedad, %	8,47
Fibra, %	0,4
Grasa, %	0,6
Proteína, %	1,2
Cenizas, %	0,15
Carbohidratos, %	14,67
Cianuro, ppm	0,23

Fuente: Elaboración propia.

El cianuro está contenido en el almidón de la yuca, es decir, los carbohidratos que se encuentran presentes en esta especie son los responsables de la captación del cianuro, debido a ello se ha realizado el análisis del almidón de esta especie, cuyos resultados se exponen en la tabla 4.2 y que indica que contiene hasta un 0,23 ppm de cianuro.

TABLA 4.3

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA TOMADA DEL ASENTAMIENTO
HUMANO SAN LUIS DE PAJONAL

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	RESULTADO
pH a 20°C	-	7,6
Conductividad a 25°C	μS/cm	645
Cloruros,	mg/L	238
Sulfatos, SO ₄	mg/L	123
Dureza total, Como CaCO ₃	mg/L	421
Cianuro, CN	mg/L	0,2

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.3, Indica los resultados del análisis de los principales parámetros fisicoquímicos del agua del Asentamiento Humano San Luis de Pajonal, en el que se resalta la cantidad de cianuro presente (0,2 ppm), la cual excede de las establecidas por la norma nacional (0,01 ppm)

TABLA 4.4
 ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO
 (Velocidad del flujo 1000 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	9	9
2	8	8
3	7	8

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.4 se indican los resultados obtenidos de la captación por bioadsorción del cianuro cuando el flujo de agua es de 1000 mL/h, en la que se puede ver que la captación no es tan efectiva, y en el tercer filtro de la serie se reporta 7 ppm de cianuro libre y 8 ppm de cianuro total, es decir en todo el circuito se logra captar solo 3 ppm de cianuro.

TABLA 4.5
 ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO
 (Velocidad del flujo 8000 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	8	8
2	7	7
3	5	6

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.5 Nos dan a conocer los resultados de la captación por el método de bioadsorción del cianuro cuando cuyo flujo de agua (H₂O) es de 800 mL/h, en la que se puede ver que la captación es mayor a la anterior, y en el tercer filtro de la serie se reporta 5 ppm de cianuro libre y 6 ppm de cianuro total, es decir en todo el circuito se logra captar solo 5 ppm de cianuro, lo que indica que un flujo menor es más beneficioso para la operación realizada.

TABLA 4.6
 ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO
 (Velocidad del flujo 600 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	7	7
2	5	6
3	4	5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.6 se logran visualizar los diferentes resultados de la atracción del cianuro por el empleo del método de la bioadsorción cuando el flujo de agua es de 600 mL/h, en la que se puede ver que la captación es mayor, y en el tercer filtro de la serie se reporta 4 ppm de cianuro libre y 5 ppm de cianuro total, es decir en todo el circuito se logra captar solo 6 ppm de cianuro.

TABLA 4.7
 ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO
 (Velocidad del flujo 400 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	5	5
2	4	5
3	3	4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.7 se observan los resultados de la captación por bioadsorción del cianuro cuando el flujo de agua es de 400 mL/h, en la que se puede ver que la captación es más efectiva lográndose una reducción de 7 ppm de cianuro libre y 6 ppm de cianuro total.

TABLA 4.8
 ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO
 (Velocidad del flujo 200 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	4	4
2	3	4
3	2	3

Fuente: Elaboración propia.

El minimizar la velocidad del flujo de agua a un mínimo de 200 mL/h ha permitido establecer que es el flujo ideal para bioadsorber el cianuro en la biomasa de la yuca. Según lo que se reporta en la tabla 4.8, el cianuro libre de 10 ppm se reduce a 2 ppm, al igual que el cianuro total que de 10 ppm se reduce a 3 ppm.

TABLA 4.9

ENSAYOS PARA CAPTAR CIANURO DE LA MUESTRA DE AGUA
TOMADA DEL ACENTAMIENTO HUMANO SAN LUÍS DE PAJONAL

(Velocidad del flujo 200 mL/h)

Nº DE FILTRO	CIANURO, ppm	
	Libre	Total
1	0,1	0,1
2	0,02	0,03
3	0,0	0,001

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo los resultados de las pruebas anteriores, en las que se estableció que un flujo de 200 mL/h es el más adecuado para el empleo de la captación del cianuro presente las diferentes fuentes de agua, se sometió al ensayo de la muestra tomada en el Asentamiento Humano San Luís de Pajonal con una carga de 0,23 ppm de este compuesto. La tabla 4.9 indica que esta agua después de pasar por los tres filtros prácticamente ha quedado libre de cianuro ya que se reporta 0,0 ppm de este compuesto, y un 0,001 ppm de cianuro total en su composición, concluyendo así que esta concentración se encuentra muy por debajo de la norma establecida (0,070 ppm).

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Las pruebas experimentales realizadas indican que la yuca empleada como sustrato o medio filtrante a un flujo lento permite retener el cianuro el cual se encuentra que se encuentra diluido las fuentes de agua. La captación por bioadsorción es efectiva a temperatura ambiente, y esto es debido a la capacidad y propiedades que presentan las especies al retener cianuro en mayor concentración, tanto en su pulpa como en la cáscara de su raíz. Durante el secado de la yuca, la presencia del cianuro original en su raíz es eliminado en parte, pero adquiere una mayor y gran capacidad para retener este compuesto al momento de rehidratarse.

El empleo de tres filtros instalados en serie, permite ir reduciendo la concentración del cianuro de manera progresiva, hasta lograr un mínimo en el agua cianurada que se preparó para los ensayos. Al hacerse la prueba con el agua del asentamiento humano San Luís de Pajonal, esta capacidad se comprueba fehacientemente ya que se elimina en su totalidad la presencia de cianuro.

CONCLUSIONES

1. La biomasa de la yuca (Manihot Esculenta) capta el cianuro presente en las aguas contaminadas por la industria minera, mediante un proceso llamado bioadsorción.
2. Las pruebas experimentales han permitido verificar la gran capacidad de adsorción de la biomasa de la yuca (Manihot Esculenta) en la captación de cianuro por bioadsorción ya que, durante el secado de la yuca, la presencia del cianuro original en su raíz es eliminado en parte, pero adquiere una mayor y gran capacidad para retener este compuesto al momento de rehidratarse.
3. De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas para determinar la composición química de la biomasa cabe resaltar que en ella se ha encontrado 0,2 ppm de cianuro el cual se relaciona directamente con la captación del cianuro por bioadsorción.
4. El porcentaje adsorbido del cianuro mejora significativamente ya que se comprobó que se va reduciendo la concentración del cianuro de manera progresiva empleando de la biomasa de la yuca (Manihot esculenta).
5. Se comprobó que la velocidad de flujo requerida para la captación del cianuro incide favorablemente mediante tres filtros instalados en serie empleando la biomasa de la yuca (Manihot esculenta).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer el estudio correspondiente para el empleo de la mandioca esculenta (yuca) fresca para la captación del cianuro para establecer una comparación con los diferentes resultados obtenidos en la realización de esta investigación.
2. Se recomienda hacer un estudio sobre las posibilidades del empleo de esta especie en la captación de cianuro en pasivos ambientales abandonados desde hace mucho tiempo en las pampas del Distrito Vista alegre de Nasca y que poco a poco están contaminando las aguas subterráneas de la zona y trayendo consigo consecuencias letales en la salud humana.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Alvarez P., Blanco C., Granda M. (2007) The adsorption of cyanide from industrial wastewater by acid and base-activated lignocellulosic residues. *Journal of Hazardous Materials* 144: 400–405.
2. Arami M., Lima N.Y. (2005) Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and kinetic studies, *J. Colloid Interface Sci.*, 288(2): 371-376.
3. ASTM Standard (2007) Test Methods for Chromium in Water, D1687-02. Test Method A, pag 1-4.
4. Aydın A., Aksoy N. (2009) Adsorption of chromium on chitosan: Optimization, kinetics and Thermodynamics. *Chemical Engineering Journal* 151: 188–194.
5. Balanta P. (2010) Caracterización y aplicaciones de la cáscara de plátano. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 11(5)*, Septiembre de 2010. *302 Rev. Iberoam. Polim.*, 11(5): 297-316.
6. Bartlett, R.J. (1991) Chromium cycling in soils and water: Links, gaps, and methods. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 92. Pages 17-24.
7. Bratskayaa S., Ustinova U., Azarova Y., Pestov A. (2011) Thiocarbamoyl chitosan: Synthesis, characterization and sorption of Au(III), Pt(IV), and Pd(II). *Carbohydrate Polymers* 85: 854–861.

8. CAI Junxiong, CUI Longzhe, WANG Yanxin, LIU Chengfu. (2009) Effect of functional groups on sludge for biosorption of reactive dyes. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 534–538.
9. Diccionario de Términos Ambientales. México. Editorial UMBRO.
10. Duarte E., Jaramillo C. B. (2009) Bioadsorción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosano obtenido del exoesqueleto de camarón. *Revista Productos Naturales*, Vol 3, No 1:3-11.
11. Hernández, J. (2016) *Manihot esculenta*, estudio botánico y agronómico. México, Editorial Agronomía.
12. Higuera, O. F., Florez L.C., Arroyave J.V. (2009) Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros Dyna, Vol. 76, Núm. 160, pp. 107-119.
13. Kousalya G.N., Rajiv Gandhib M, et al (2010) Sorption of chromium (VI) using modified forms of chitosan beads. *International Journal of Biological Macromolecules* 47: 308–315
14. Medina C. (2010) Evaluación de las tecnologías de tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Cromo. Consultado en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3153/1/54347-1.pdf>.

15. Méndez K. (2008) Adsorción del cromo (VI) usando citrus sinensis como biomasa residual, *Biotechnology and Bioengineering*. 67: 1045-1054.
16. Monge O., Valenzuela J., Acedo E., Certucha M., Almendariz F. (2008) Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita). *Revista internacional de contaminación ambiental* v.24 n.3 México 54-62.
17. Palla C. (2010) Preparation and modification of chitosan particles for *Rhizomucormiehei* lipase immobilization, *Biochemical Engineering Journal* 55 (2011) 199– 207.
18. PATTERSON, J (1991) .*Industrial wastewater treatment technology* . Butterworth-Heinemann. Paginas.37-50.
19. Pinzón-Bedoya M., Vera L. (2008) Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (iii) usando cáscara de naranja. Disponible en: www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/download/13588/14380
20. Pinzón-Bedoya M., Cardona A. (2010) Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 8, núm. 1, enero-junio, 45-53.
21. Pinzón-Bedoya M., Cardona A. (2008) Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. Disponible:

Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, Vol. 6, Núm. 1, pp. 1-23

Universidad de Pamplona, Colombia. Disponible en:

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/903/90312176003.pdf>

22. Prabha S., Gopal K. (2007) Adsorption of chromium(VI) on low cost adsorbents derived from agricultural waste material: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials* 145: 465–470.
23. Rosas, P. (2008) Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, junio, Vol IX, No 31. Páginas 59-64.
24. Selvi K., Pattabhi S., Kadirvelu K. (2001) La remoción de Cr (VI) en solución acuosa por adsorción en activo de carbono. *Bioresource Tecnología Volumen 80, Número 1*, octubre, páginas 87-89.
25. Tapia. N. (2003) Biosorbente de Pb (II) por cáscara de naranja, citrus sinensis, modificada. *Rev química*, vol 5 N°2, pag 48-53.
26. Zeven, G.y Zhukovsky, H. (2015) Manihot sculenta, Botánica e importancia industrial. *Bioresource Tecnología Volumen 80, Número 1*, octubre, páginas 87-89

ANEXOS

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES, SEGÚN Norma DIGESA

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano

ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrín	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

CONSTANCIA

El abajo firmante Jefe de la Unidad de Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, hace constar que las Bachilleres: DE LA CRUZ ROMERO, Karina Martha y DÍAZ SINCE, Brenda Sthefanie; han desarrollado la parte experimental de su tesis titulada **EMPLEO DE BIOMASA VEGETAL EN LA CAPTACIÓN DE CIANURO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR LA INDUSTRIA MINERA**, durante los meses de Junio y Julio del presente año.

Se expide la presente, a solicitud de las interesadas para los fines que crean conveniente, a los 05 días del mes de Agosto del año Dos Mil diecinueve.

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA



A. TATAJE

MAG. ARLENDO TATAJE MONTALVÁN
DIRECTOR DE LABORATORIO

REGISTRO FOTOGRAFICO









