



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

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



EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

N° 068-DI-FIMM-2025

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **TESIS** cuyo título es:

"ELIMINACIÓN DEL CIANURO DE LIXIVIACIÓN MEDIANTE FILTRACIÓN LENTA EN LECHO ORGÁNICO"

Presentado por:

ORTIZ CALLA LUÍS SANTOS

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 18%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 9 de septiembre de 2025.

Atentamente,

.....
DR. VÍCTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA FIMM

“UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia



Tesis

**Eliminación del cianuro de lixiviación mediante filtración
lenta en lecho orgánico**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Línea de investigación: Tecnología limpia y medio
ambiente.

Autor: ORTIZ CALLA LUÍS SANTOS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**NASCA – PERÚ
2025**

DEDICATORIA

A Dios, por haberme guiado hacia mi vocación y permitirme encontrar el sentido de mi vida.

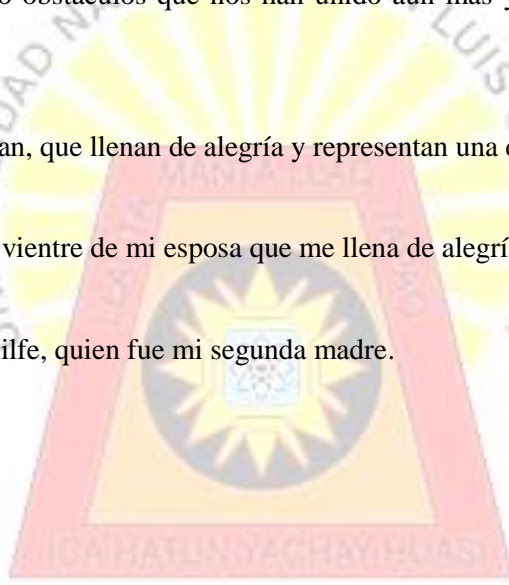
A mis padres, que me dieron la vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos sus valores y la motivación constante que me ha permitido ser una buena persona.

A mi esposa Delia, por brindarme su apoyo incondicional y ser la persona que creyó en mí y por qué juntos hemos vencido obstáculos que nos han unido aún mas y nos han permitido seguir adelante.

A mis hijos, Jamer y Derian, que llenan de alegría y representan una de mis razones de vivir.

A mi hija que aún está en vientre de mi esposa que me llena de alegría y emoción.

A la memoria de mi tía Milfe, quien fue mi segunda madre.



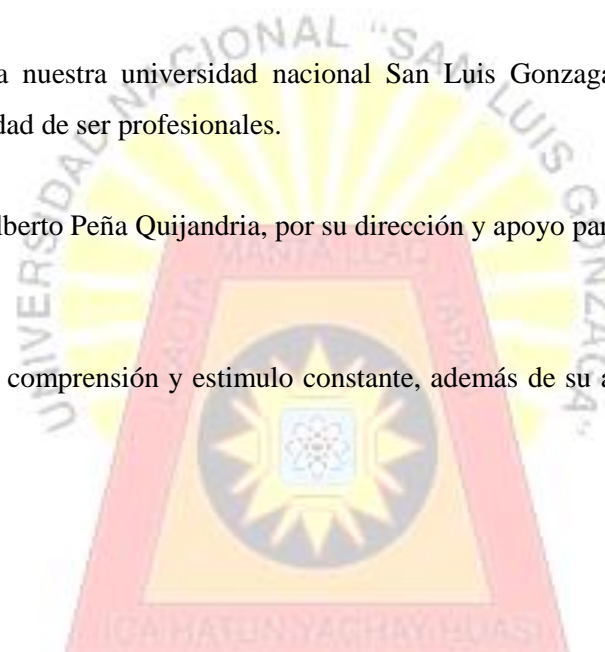
AGRADECIMIENTOS

A dios por darme salud, fortaleza y perseverancia quien me ha guiado a lo largo de esta carrera y en mi vida.

Mi agradecimiento a nuestra universidad nacional San Luis Gonzaga de Ica, por habernos brindado la oportunidad de ser profesionales.

Al ingeniero, Luis Alberto Peña Quijandria, por su dirección y apoyo para la terminación de esta tesis.

A mi familia, por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo a lo largo de mis estudios.



INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	13
2.3. Marco conceptual.	24
2.4. Estrategia metodológica.	25
2.5. Desarrollo experimental.	26
III. RESULTADOS	30
IV. DISCUSIÓN.	43
V. CONCLUSIONES	44
VI. RECOMENDACIONES.	45
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	46
VIII. ANEXOS.	48

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Reporte del análisis fisicoquímico de la solución cianurada.	30
Tabla 2. Análisis proximal de la materia orgánica fresca.	31
Tabla 3. Temperatura de secado de la materia orgánica y eliminación del cianuro.	32
Tabla 4. Tiempo de secado de la materia orgánica a 70°C y concentración del CN.	33
Tabla 5. Tiempo de secado de la materia orgánica a 80°C y concentración del CN.	34
Tabla 6. Tiempo de secado de la materia orgánica a 90°C y concentración del CN.	35
Tabla 7. Tiempo de secado de la materia orgánica a 100°C y concentración del CN.	36
Tabla 8. Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 1000mL/h.	37
Tabla 9. Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 800mL/h.	38
Tabla 10. Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 600mL/h.	39
Tabla 11. Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 400mL/h.	40
Tabla 12. Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 200mL/h.	41
Tabla 13. Datos comparativos de adsorción del CN según la velocidad de flujo.	42



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Materia orgánica vegetal (biomasa).	14
Figura 2. Mecanismo de a bioadsorción.	15
Figura 3. Adsorción física.	16
Figura 4. Adsorción química.	17
Figura 5. Intercambio iónico.	18
Figura 6. Esquema de un típico filtro lento de arena.	25
Figura 7. Columna de filtración.	28



RESUMEN

Esta tesis titulada “**Eliminación del cianuro de lixiviación mediante filtración lenta en lecho orgánico**” es una investigación teórico-experimental cuyo objetivo es eliminar el cianuro presente en los efluentes de plantas hidrometalúrgicas dedicadas a la cianuración empleando materia orgánica acondicionada obtenida a partir de la yuca, tratada térmicamente para eliminar el cianuro que contiene su follaje para luego rehidratarla y utilizarla como adsorbente de este compuesto tóxico y contaminante. La materia orgánica obtenida fue secada a 100°C durante 5 horas, temperatura a la cual se elimina el cianuro de la planta, posteriormente se muele y se utiliza como medio filtrante para retener el cianuro de una muestra que contiene 50 ppm de cianuro, se ensayaron varias velocidades de flujo desde 1000mL/h hasta 200mL/h con lo que se pudo demostrar que la materia orgánica utilizada es apta para utilizarla en la remoción de cianuro de los efluentes cianurados. Con la aplicación de este método se puede captar hasta un 95% de este compuesto.

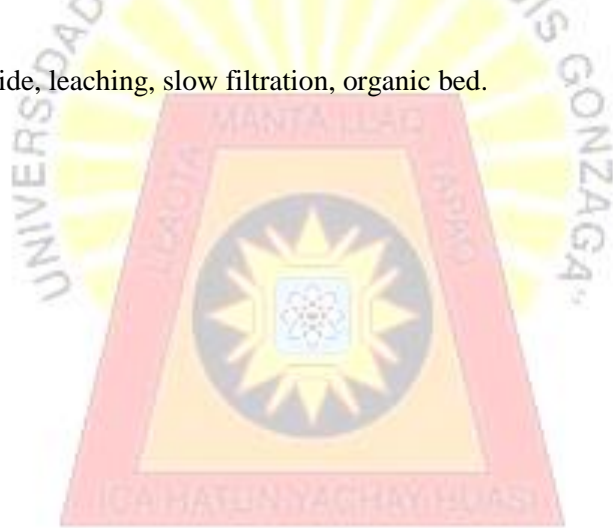
PALABRAS CLAVES: Cianuro, lixiviación, filtración lenta, lecho orgánico.



ABSTRACT

This thesis entitled "Elimination of cyanide from leaching by slow filtration in organic bed" is a theoretical-experimental investigation whose objective is to eliminate cyanide present in the effluents of hydrometallurgical plants dedicated to cyanidation using conditioned organic matter obtained from cassava, thermally treated to eliminate the cyanide contained in its foliage and then rehydrated and used as an adsorbent for this toxic and polluting compound. The organic matter obtained was dried at 100 ° C for 5 hours, a temperature at which cyanide is eliminated from the plant, subsequently it is ground and used as a filter medium to retain cyanide from a sample containing 50 ppm of cyanide, several flow rates were tested from 1000 mL / h to 200 mL / h, which demonstrated that the organic matter used is suitable for use in the removal of cyanide from cyanide effluents. Using this method, up to 95% of this compound can be captured.

KEY WORDS: Cyanide, leaching, slow filtration, organic bed.



INTRODUCCIÓN

La eliminación del cianuro y los compuestos del cianuro de los efluentes de las plantas hidrometalúrgicas donde se realiza la lixiviación de minerales auríferos empleando cianuro, es hasta la fecha una preocupación latente ya que este compuesto (cianuro de sodio y cianuro de potasio) es altamente tóxico y también contaminante del medio ambiente, hay muchos estudios con los cuales se busca que solucionar el problema, estudios que plantean tecnologías activas y también tecnologías pasivas, estas últimas tienen una mayor aceptación ya que buscan el empleo de recursos naturales para neutralizar el cianuro, buscando minimizar en lo posible la contaminación del medio ambiente. En este sentido la presente tesis a desarrollado una investigación en la cual se emplea materia orgánica muerta como sustrato para captar por adsorción el cianuro de los efluentes mineros. Esta materia orgánica fue elaborada a partir de toda la planta de la yuca incluyendo sus raíces comestibles. El empleo de esta biomasa se debe a que múltiples investigaciones biológicas han demostrado que esta especie contiene cantidades variables de cianógenos y por tanto puede servir como medio para captarlos previo acondicionamiento, que es lo que se hace en la parte experimental de la tesis.

Situación problemática.

La lixiviación con cianuro o cianuración es uno de los métodos hidrometalúrgicos de recuperación de metales (en este caso oro) más peligrosos debido a la alta toxicidad del reactivo que se emplea y que es o el cianuro de sodio o el cianuro de potasio. Los vapores o el polvo de estos compuestos se difunden en el agua, suelo y aire con significativa rapidez y sus efectos son perjudiciales para el organismo humano causando intoxicaciones que llevan a la muerte a las personas. El nivel de toxicidad depende de a concentración, del tiempo de exposición y de la vía de ingreso al organismo, concentraciones de 0,001 mg se consideran peligrosas, más aún cuando pueden ser deglutidos, absorbidos a través de la piel o respirados. Debido a que las reacciones entre el compuesto cianurado y el componente del mineral no es estequiométrica en los efluentes líquidos queda una cierta cantidad de cianuro y compuestos de cianuro, la cual debe ser eliminada con el fin de evitar la contaminación ambiental y la intoxicación de organismos vivos. Para ello se han propuesto varias técnicas, las cuales no funcionan al cien por ciento, quedando siempre un porcentaje residual de cianuro. En el presente proyecto planteamos la remoción del cianuro empleando para ello un filtro lento cuyo sustrato sea la materia orgánica con el fin de desarrollar una bio-absorción del veneno en ella

Problema de investigación.

Problema General

¿Se puede eliminar el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero mediante filtración lenta en medio filtrante orgánico?

Problemas específicos.

- ¿Cuál es la concentración promedio de cianuro residual en los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero?
- ¿En qué condiciones un medio filtrante orgánico puede adsorber el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero?

Objetivo General.

Determinar si se puede eliminar el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero mediante filtración lenta en medio filtrante orgánico.

Objetivos específicos.

- Determinar cuál es la concentración promedio de cianuro residual en los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero.
- Determinar en qué condiciones un medio filtrante orgánico puede adsorber el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero.

Hipótesis.

Hipótesis general.

La eliminación del cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero es posible mediante filtración lenta en medio filtrante orgánico.

Hipótesis específicas.

- La concentración promedio de cianuro residual en los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero es alta.
- Las condiciones necesarias para que un medio filtrante orgánico pueda adsorber el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero son la velocidad de filtración y el espesor del medio filtrante.

VARIABLES.

Variable independiente.

Eliminación del cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero.

Variable dependiente.

Filtración lenta en medio filtrante orgánico.

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

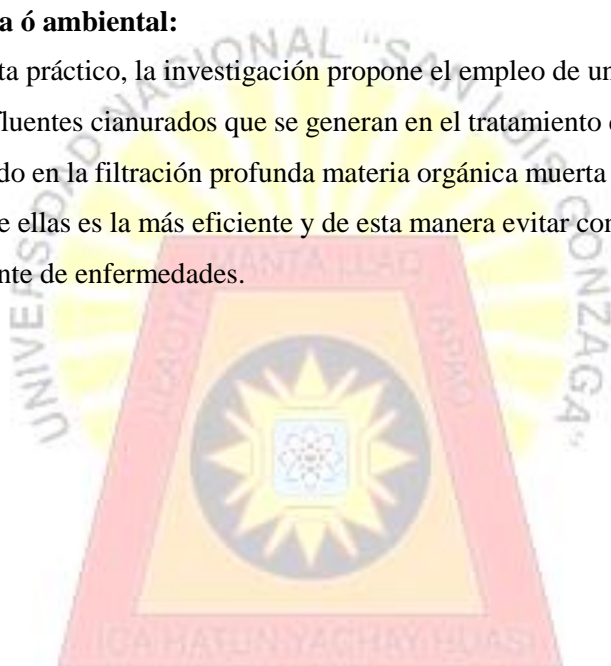
Desde el punto de vista teórico la investigación planteada se justifica porque aborda el estudio de la bioadsorción aplicada a la minería, empleando como medio filtrante materia orgánica vegetal muerta, seleccionada mediante ensayos experimentales de acuerdo con la eficiencia de adsorción.

Justificación metodológica:

Desde el punto de vista metodológico la presente investigación es de tipo aplicada de nivel explicativo y de diseño experimental. Para probar la hipótesis planteada será necesario realizar diversos ensayos para establecer datos óptimos y poder llevar a cabo una filtración eficiente reteniendo un máximo del cianuro residual.

Justificación práctica ó ambiental:

Desde el punto de vista práctico, la investigación propone el empleo de un tratamiento ecológico para detoxificar los efluentes cianurados que se generan en el tratamiento de los minerales de oro con cianuro, empleando en la filtración profunda materia orgánica muerta de diferentes vegetales para establecer cuál de ellas es la más eficiente y de esta manera evitar contaminación ambiental, lo que protege a la gente de enfermedades.



II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

A nivel internacional:

R. Gómez [1], presentó su tesis sobre la degradación de Cianuros empleado para ello un proceso de oxidación química aplicado a los efluentes que salen de las plantas de lixiviación de oro. Este es un proceso ensayado en España y que se lleva a cabo mediante diversos tratamientos basados en la oxidación del cianuro a cianato, el cual es mucho menos tóxico que el cianuro ya que finalmente se descompone en dióxido de carbono y nitrógeno que se realiza empleando el ácido de Caro. El uso de este ácido se seleccionó después de haber empleado diversas otras sustancias con esas características incluyendo el peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El cianato que se forma, producto de estas reacciones en presencia del agua reacciona formando carbonato y amonio.

H. Fernández [2] en su tesis en la cual trata sobre un nuevo método para remover el cianuro que se encuentran disueltas en las aguas residuales que se generan en el interior de las minas de cielo abierto y de socavones. En la tesis se hace una revisión de los métodos propuestos hasta la fecha para eliminar los restos de cianuro que quedan disueltos en los efluentes líquidos, luego se desarrolla el estudio sobre sobre los compuestos oxidantes que resultan ser sales como el permanganato de potasio, siendo este último el que mejores resultados ha dado en el estudio de la remoción del cianuro. Las muestras se recolectaron en diferentes plantas de cianuración con el fin de establecer el promedio de concentración de cianuro que se encuentra en los efluentes y para estudiar la posibilidad de neutralización con las soluciones no concentradas de permanganato de potasio. El autor concluye que el método de oxidación del cianuro presente en las muestras es el más efectivo ya que transforma todo el cianuro de sodio y a los compuestos de cianuro que se forman durante el proceso de cianuración como resultado de diferentes reacciones colaterales que se suceden. Según los resultados obtenidos por el tesista durante los ensayos se han reportado variaciones de la concentración del reactivo estudiado en concentraciones que van desde 400 y 600mg/L hasta 0,5mg/L. Esta última concentración es el límite máximo permitido.

A nivel nacional.

Delgado y Ortiz [3], en la investigación “Estudio del proceso de neutralización del cianuro presente en los residuos del proceso de lixiviación de minerales auríferos en el distrito minero de Vetas y California” de la Universidad de Santander – Colombia, se concluye que la solubilidad que presenta el H₂O₂ en las soluciones de cianuro hace que el proceso de neutralización se pueda ejecutar sin homogenización mecánica o agitación. La agitación durante el proceso de neutralización del CN⁻ resulta ser un factor negativo para el proceso ya que promueve la descomposición del peróxido en oxígeno y agua. La neutralización de soluciones cianuradas se debe iniciar con una alcalinidad segura, de pH igual o mayor a 12, para disminuir el riesgo de formación de ácido cianhídrico durante el proceso. En el proceso de neutralización desarrollado se lograron remociones de 99% de CN⁻, 90% de cianuro total cuando se emplea una relación de 1,2 veces la cantidad estequiometría H₂O₂.

Mamani [4], en la investigación “Implementación de procesos de destrucción de cianuro con sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno” – Perú., describe que, para desarrollar y diseñar las posibles alternativas viables de tratamiento de cianuro residual, es preciso 9 combinar los datos de composición química, análisis y toxicidad de las soluciones procedentes de los procesos de cianuración. Hay muchas variantes de tratamiento, pero ninguna es aplicable en todos los casos. La elección del sistema de depuración conveniente exige el conocimiento de los factores antes indicados y viene determinada por las características peculiares de cada explotación minera en particular. Además, establece que el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno concluye que la cinética de reacción se ve altamente influenciada por la concentración de peróxido. La concentración de cobre influye como catalizador sólo hasta una concentración moderada no siendo importante en concentraciones mayores (esto debe considerarse que deben realizarse pruebas para cada solución a tratar por este proceso si es requerido la optimización). El pH no influye en el proceso.

A nivel local.

No existe registro alguno sobre investigaciones relacionadas con el tema que se desarrolla en el presente proyecto en las Universidades locales.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Materia orgánica vegetal

Abordar el tema de la materia orgánica vegetal como biomasa útil para operaciones como la filtración implica estudiar en primer lugar su estructura que está conformada por células que poseen una pared muy resistente y a la vez flexible, pero resistente para brindar soporte estructural a toda la planta. Esta pared celular está constituida por hemicelulosa, celulosa, lignina y componentes extraíbles. La hemicelulosa, está conformada por grupos heterogéneos como la pentosa, hexosa, manosa y galactosa. La cuales al enlazarse forman líneas ramificadas y a su vez dicho constituyente es un polímero complejo. Todo vegetal está constituido por pectinas y protopectinas las mismas que poseen la capacidad para realizar el intercambio iónico, lo que favorece captar iones de diversas sustancias y que se puede emplear para captar iones de los compuestos cianurados.



Figura 1. Materia orgánica vegetal (biomasa).

2.2.2. Bioadsorción.

La bioadsorción es un fenómeno en el cual participa la materia orgánica aprovechando sus propiedades de intercambio iónico y de adsorción que poseen gracias a la presencia de ciertos componentes cuyas características estructurales permiten que se lleven a cabo, de esta manera la materia orgánica no solo capta metales pesados, sino ciertas sustancias que pueden ser atraídas por los centros activos de las moléculas

orgánicas, donde hay algún radical que puede adsorber ciertas sustancias ya sea física o químicamente, dependiendo del tipo de sustancia a captar, si es covalente o si es iónica. Desde el punto de vista fisicoquímico se llama bioadsorción al proceso natural que se lleva a cabo entre la materia orgánica viva o muerta que tienen cierta capacidad para captar sustancias como los metales pesados o algunos contaminantes.

La bioadsorción se considera una habilidad de la materia orgánica para captar y acumular sustancias y metales pesados que se encuentran en medios acuosos mediante procesos metabólicos o fisicoquímicos. Actualmente existe muchos estudios que buscan que emplear la bioadsorción en la limpieza del medio ambiente ya que su empleo implica menos contaminación y un menor costo para su implementación.

Se sabe que la contaminación se lleva a cabo de manera natural con cualquier forma de vida sin ningún control y causando en muchos casos severos daños. Entre las sustancias contaminantes más peligrosas para la vida están los metales pesados, los compuestos químicos empleados en la agricultura para controlar las plagas y las malas yerbas (pesticidas) y otras sustancias orgánicas que resultan tóxicas en pequeñas concentraciones para cualquier forma de vida tanto animal, vegetal como para los humanos. Con el fin de contrarrestar este impacto negativo se están desarrollando investigaciones que han encontrado que una amplia variedad de desechos resultantes de la industria química, alimentaria y farmacéutica como las cáscaras de huevo, huesos, turba, hongos, algas marinas, levaduras, bagazo y cáscaras de diversas frutas y hortalizas pueden servir para captar por bioadsorción contaminantes que están presentes en el agua y soluciones acuosas, así como en el aire. Según reportes la biomasa vegetal se ha empleado para captar mercurio de aguas contaminadas en la que se encuentra como metilmercurio compuesto que es extremadamente tóxico para los peces y para los humanos. Pero no solo el mercurio, esta biomasa se emplea también para adsorber metales altamente tóxicos que se encuentran en las aguas formando compuestos solubles de arsénico, plomo, cadmio, cobalto, cromo, uranio, y algunos compuestos de cianuro que se encuentran en las aguas residuales industriales.

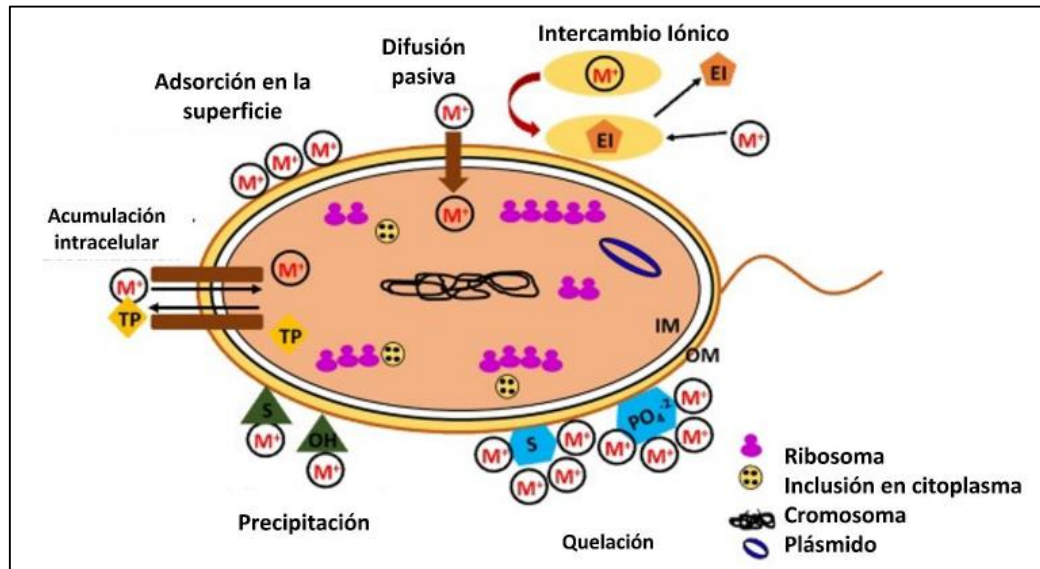


Figura 2. Mecanismo de a bioadsorción.

Mecanismo de la bioadsorción.

La bioadsorción como proceso se desarrolla en dos fases: una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) la cual contiene en disolución el compuesto que debe ser adsorbido que en nuestro caso son los iones de cianuro o los compuestos cianurados que se forman como resultado de la reacción del cianuro con otros reactivos químicos que intervienen en la lixiviación. Está claro que el proceso de bioadsorción se realizará con éxito, siempre y cuando exista una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante, ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado física o químicamente.

Para realizar bioadsorción del cianuro y sus compuestos se emplea la materia orgánica vegetal muerta en ella, la adsorción de los contaminantes cianurados se produce mediante el siguiente mecanismo:

I. Adsorción física.

La adsorción física es conocida también como fisisorción y constituye la forma más simple de adsorción, en la cual las fuerzas atractivas, generalmente son las fuerzas de Van Der Waals, consideradas débiles. En este tipo de adsorción un compuesto químico se adhiere a una superficie sólida sin alterar su naturaleza

química. La molécula adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase, este tipo de adsorción predomina a bajas temperaturas.

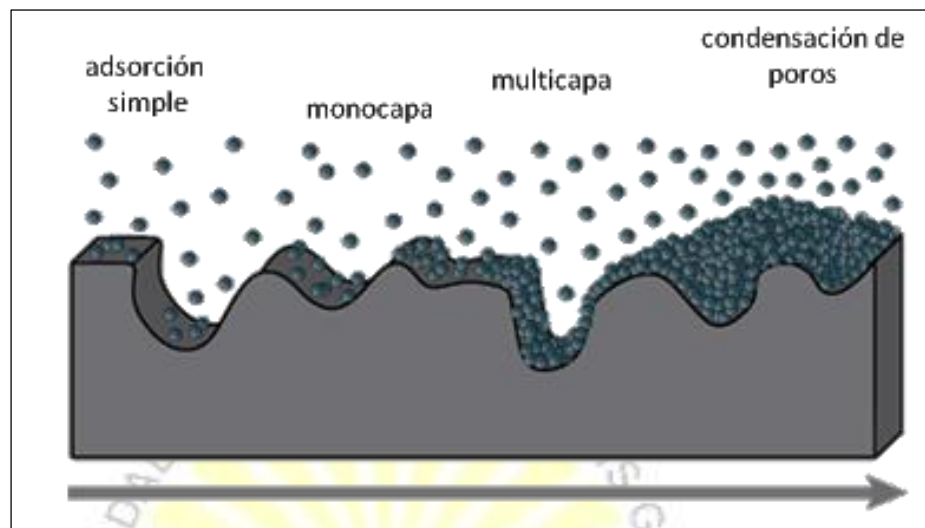


Figura 3. Adsorción física.

Cuando se produce este tipo de adsorción las fuerzas que captan las moléculas y las jalar a la superficie sólida del adsorbente son débiles, y el calor desprendido durante el proceso de adsorción es de 0.5 a 5 kcal/mol g. Alcanzándose el equilibrio entre la superficie sólida y el adsorbato con rapidez, pudiéndose también revertir con rapidez debido a que los requerimientos de energía son ínfimos.

Por otro lado, este tipo de adsorción no depende de las irregularidades en la superficie del adsorbente, sino de la extensión o área superficial con la que cuenta el material adsorbente, ya que una mayor área superficial cuenta con un mayor número de sitios activos, los cuales son capaces de atraer a un mayor número de moléculas.

II. Adsorción química.

Este tipo de adsorción se da cuando en la superficie del sólido hay orbitales disponibles capaces de adsorber a cualquier otro tipo de iones o moléculas que tienen la misma naturaleza. El número y tipo de estos orbitales depende de las características y estructura del material adsorbente.

Desde este punto de vista, cualquier átomo que tenga orbitales libres experimenta un conjunto de fuerzas no balanceadas, lo que genera la llamada energía libre superficial. Cuando una molécula que posee afinidad con estos orbitales libres se acerca lo suficiente, se produce un nuevo arreglo electrónico con el sistema, tal como se observa en una reacción química. Como resultado de ese arreglo surge la fijación de la molécula en la superficie a través de una adsorción química o quimisorción, cuyas principales características son:

- La quimisorción es específica, sólo algunos sitios superficiales adsorben ciertas moléculas.
- Existe una interacción de los estados electrónicos del adsorbato y del adsorbente, lo que permite la formación de un enlace químico.
- Debido a la reacción química superficial (rompimiento y formación de enlaces) se desprende una cantidad elevada de calor.

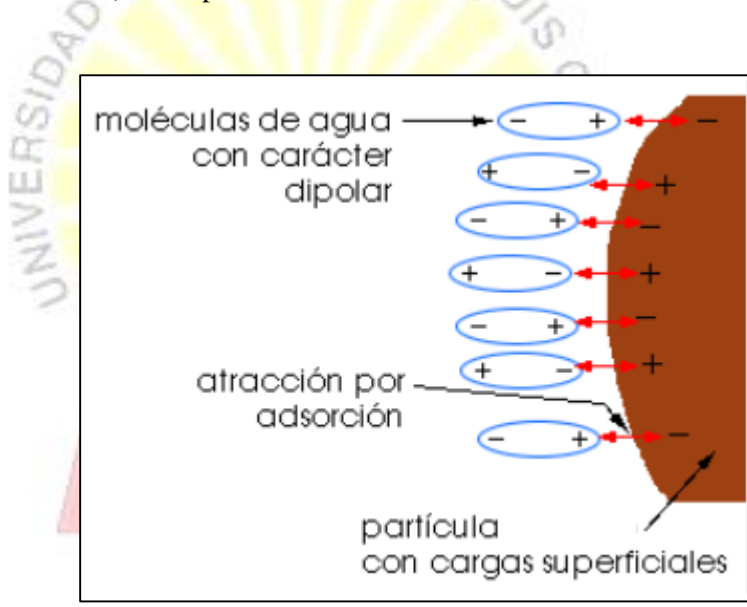


Figura 4. Adsorción química.

III. Intercambio iónico.

Desde el punto de vista químico el intercambio iónico se define como una reacción química reversible, que se produce cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ion de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil.

A este tipo de intercambiadores iónicos pertenece un grupo de materiales muy heterogéneo, que tienen una característica común, poseen una carga eléctrica fija

capaz de enlazar iones de carga opuesta. Estos intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizada por un ion de carga opuesta. En estos sitios activos tiene lugar la reacción de intercambio iónico. Cuando la solución está en contacto con el material, los iones presentes en dicha disolución desplazan a los que estaban originalmente en los sitios activos. El nivel de eficiencia de este intercambio depende de varios factores, tales como:

- La afinidad del material por un ion en particular,
- El pH de la solución, es decir, si el grupo activo tiene carácter ácido o básico,
- La concentración de iones o
- La temperatura.

El intercambio iónico requiere que los iones se muevan de la solución al material y viceversa, este movimiento se denomina proceso de difusión. La difusión de un ion está en función de su dimensión, carga electrostática, temperatura y por la estructura y tamaño de poro de la matriz. El proceso de difusión tiene lugar entre zonas de distinta concentración de iones, del más concentrado al menos concentrado, hasta que se alcance así un equilibrio dinámico.

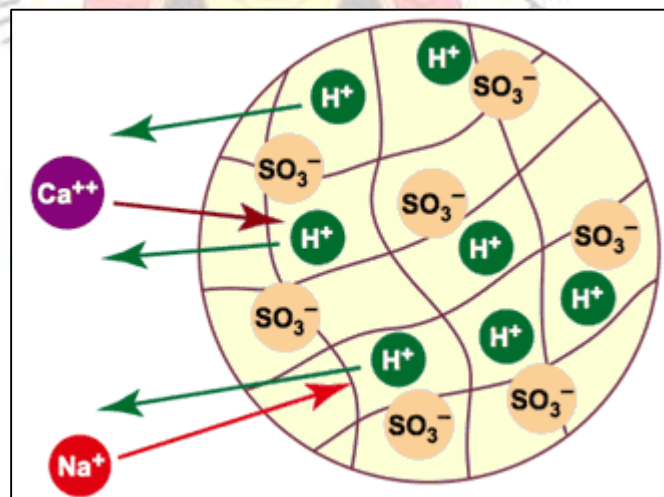


Figura 5. Intercambio iónico.

Los intercambiadores iónicos poseen los siguientes parámetros:

- Capacidad de intercambio:** se define como la cantidad de iones que un material puede intercambiar en determinadas condiciones experimentales.
- Capacidad específica teórica:** se denomina así al número máximo de sitios

activos del intercambiador por gramo. Este valor suele ser mayor que la capacidad de intercambio, ya que no todos los sitios activos son accesibles a los iones en disolución.

- c) **Selectividad: propiedad de los intercambiadores iónicos por la que un material muestra mayor afinidad por un ion que por otro.** La selectividad depende de las interacciones electrostáticas que se establezcan entre el ion y el intercambiador. La regla principal es que un intercambiador preferirá aquellos iones con los que forme los enlaces más fuertes.

2.2.3. Química básica del cianuro

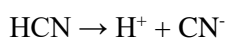
Cuando se define el término cianuro hay que establecer que el agrupa compuestos inorgánicos que se caracterizan por tener el grupo CN, lo que indica que los compuestos cianurados son químicamente considerados nitrilos o pseudo halógeno. Sin embargo, esta analogía no es del todo cierta, especialmente cuando se habla de la formación de complejos metálicos

Este compuesto químico inorgánico tiene una estructura electrónica con un par de electrones aislados, lo que le permite reaccionar y formar complejos con metales y es capaz de formar diversos compuestos en solución, cada uno con un nombre y comportamiento químico específico, cuya cuantificación no siempre es sencilla.

A continuación de manera concreta se estudiarán las propiedades químicas del ion cianuro, cianuro de hidrógeno, cianuros simples y complejos, así como los productos de su descomposición: cianato, tiocianato y amoníaco.

Cianuro de Hidrógeno

Llamado también ácido cianhídrico cuando se disuelve en agua, el cianuro de hidrógeno es un gas incoloro cuyo punto de ebullición es de 25,7°C. Por su actividad química es considerado un ácido débil, muy soluble en agua, con una constante de disociación de $4,365 \times 10^{-10}$ para una reacción de equilibrio.



El CN⁻ forma complejos con metales, y solo el HCN es volátil en soluciones acuosas. El pKa del HCN disminuye al aumentar la temperatura, alcanzando 8.88 a 40°C. A pH 7.0 y 20°C, más del 99% del cianuro libre se presenta como HCN.

La ley de Henry describe la concentración de HCN gaseoso en el aire en contacto con una solución acuosa de HCN.

$$Y^* = Hx$$

Donde

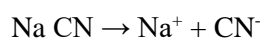
Y^* = presión parcial del HCN en la fase gaseosa

X = fracción molar del HCN en la fase líquida

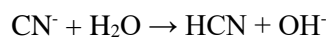
H = constante de Henry atm/fracción molar de HCN

Cianuros Simples

Este tipo de compuestos son sales que se generan por la reacción del cianuro de hidrógeno con bases como NaOH o Ca (OH)₂. Cuando se disuelven en agua estas sales se disocian en ion cianuro y cationes metálicos solubles.



El CN puede entonces hidrolizarse para formar HCN y OH de la siguiente manera:



Los compuestos cianurados simples como el cianuro de sodio (Na CN) y el cianuro de calcio (Ca (CN)₂) son cianuros simples usados en el procesamiento de minerales auríferos gracias a su solubilidad en agua (propiedad de los cianuros formados con metales alcalinos y alcalinotérreos), los cianuros de metales de transición, como cobre, cadmio y plata, tienen baja solubilidad.

Cuando el cianuro reacciona con los metales de transición pueden formar complejos estables de cianuro con un exceso de iones cianuro. Cuando se forman complejos estables de alta coordinación, estos consumen los iones cianuro disponibles, permitiendo que parte del catión se hidrolice y precipite como hidróxido.

Junto con estos metales y a un pH bajo, el ion cianuro disociado puede unirse con el ion hidrógeno debido a la débil acidez del cianuro de hidrógeno. Al aumentar el pH se fomenta la hidrólisis del metal.

Cianuros Complejos

La estructura de los compuestos considerados complejos tiene un ion central unido a ligantes. Si los ligantes se separan fácilmente, el complejo es inestable; si son difíciles de separar, es estable. Cuanto más estable sea un complejo, mayor será la tendencia del metal a permanecer en solución.

Esta propiedad que posee el cianuro le permite ser empleado en la industria por su capacidad de formar complejos con varios iones metálicos. Hay que tener en cuenta que la formación de complejos se limita principalmente a los metales de transición del bloque de la tabla periódica, incluyendo Zn, Cd y Hg. Se conoce que 28 elementos en distintos estados de oxidación pueden formar 72 complejos con el cianuro, la mayoría aniónicos

Los complejos mixtos, como $[M(CN)_5X]$ donde X puede ser H_2O , NH_3 , CO , NO , H o un halógeno son bastante conocidos.

Para que se forme un complejo metálico cianurado se desarrollan varias etapas ya que esta reacción es secuencial. La secuencia es la siguiente: el metal inicialmente forma un producto poco soluble que luego reacciona con el ion cianuro sobrante para crear un complejo soluble y estable. La concentración del ion cianuro libre determina el grado de formación de complejos solubles.

Efluentes cianurados.

Durante los procesos de lixiviación de minerales, se utilizan grandes cantidades de reactivos tóxicos como el mercurio y el cianuro, sustancias que se eliminan en los efluentes sin control en ríos, suelos y quebradas, causando graves daños ambientales durante y después de las operaciones mineras. La cianuración de minerales auríferos emplea grandes cantidades de cianuro (1 kg de NaCN por tonelada de mineral). Este compuesto (CN) como ya se dijo es tóxico, especialmente en su forma libre (CN⁻), debido a su alto potencial de inhibición metabólica, siendo perjudicial para el ser humano y el medio ambiente. Actualmente en la industria minera utiliza tres métodos para descontaminar efluentes cianurados: atenuación natural, degradación química y biorremediación con microorganismos que pueden crecer en cianuro y usarlo como fuente de carbono y nitrógeno. La biorremediación de efluentes de cianuración es una alternativa económica y ecológica que disminuye el uso de químicos. Hay pocos estudios sobre la biorremediación de estos efluentes con consorcios microbianos. Este estudio busca determinar las mejores condiciones para degradar el cianuro libre en efluentes mineros usando métodos químicos y biológicos.

2.2.4. Yuca (Manihot esculenta).

Esta planta se divide en dos grandes grupos; Yuca dulce y yuca amarga. Ambos grupos se diferencian por el contenido de ácido cianhídrico, el cual es mayor en la yuca amarga sobre todo en la raíz por lo que su consumo es tóxico. La variedad dulce se caracteriza por tener una menor concentración de ácido cianhídrico que sometiéndola al calor mediante el hervido con agua caliente se elimina y puede ser consumida. La clasificación taxonómica de esta especie es la siguiente según Zhukovsky (2015):

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida

- Orden: Malpighiales
- Familia: Euphorbiaceae
- Subfamilia: Crotonoideae
- Tribu: Manihoteae
- Género: Manihot
- Especie: Manihot esculenta Crantz

Toxicidad de la yuca.

Esta especie posee glucósidos cianogénicos, que cuando se descomponen a través de una reacción enzimática liberan cianuro de hidrógeno, lo que ofrece cierto peligro y preocupación en su empleo como alimento y como materia prima industrial.

Como ya se anotó la clasificación de esta especie se hace en función a la concentración de cianuro que contiene, según lo cual existen dos grupos: la yuca dulce, que posee un bajo contenido de cianuro, y la yuca amarga, con un alto contenido de glucósidos cianogénicos (CG), que resultan altamente tóxicos al consumirse. El cianuro total en los productos de yuca se presenta en forma de glucósidos cianogénicos algunos de ellos son: la linamarina y la lotaustralina, la cianhidrina y ácido cianhídrico libre (HCN).

Cianuro en las plantas

Dentro de los metabolitos secundarios de las plantas se encuentran los glucósidos cianogénicos, ellos poseen nitrilo que pueden producir cianuro cuando se descomponen enzimáticamente en un proceso que se conoce con el nombre de cianogénesis. Se cree que una de las funciones de los glucósidos cianogénicos es defensiva contra los herbívoros. Se calcula que unas 12 000 especies de plantas producen y secuestran glucósidos cianogénicos. Entre los vegetales empleados en la alimentación en los cuales se encuentran glucósidos cianogénicos son las almendras, el sorgo, la yuca, las habas, las frutas de hueso y los brotes de bambú.

Dentro de ellas la yuca es considerada un alimento cianogénico de particular importancia económica, también conocida como mandioca, yuca y tapioca. La yuca es, con diferencia, el cultivo alimentario cianogénico más importante para el ser humano y constituye una fuente importante de energía alimentaria en las regiones tropicales. El glucósido cianogénico que se encuentra en la yuca es la linamarina, presente en hojas y tubérculos, ambos comestibles. La linamarina también está presente en los frijoles de Lima o de tipo mantequilla. La amigdalina es el glucósido cianogénico responsable de la toxicidad de las semillas de muchas especies de rosáceas, como las almendras amargas, los melocotones

y los albaricoques. Las almendras dulces presentan un bajo contenido de amigdalina debido a los procesos de cultivo. Su uso en mazapán es común, pero el proceso de preparación debería eliminar la mayor parte del cianuro. Los niveles de cianógeno pueden variar considerablemente según el cultivar, las condiciones climáticas, la parte de la planta y el grado de procesamiento.

Según reportes de laboratorio las hojas de yuca tienen un mayor contenido proteico, contienen vitamina C y vitamina A, y aportan fibra dietética, además de ese contenido proteico una gran parte está compuesta por linamarasa, la enzima que desintoxica los glucósidos cianogénicos de la yuca. Sin embargo, cada parte de la planta de yuca (hojas, tallo, raíz) contiene altos niveles de glucósidos cianogénicos: linamarina, lotaustralina y amigdalina, siendo la linamarina el cianógeno predominante. La linamarina es rápidamente hidrolizada por la linamarasa a glucosa, cianhidrina de acetona y cianuro de hidrógeno. A un pH neutro, la cianhidrina de acetona se descompone en acetona y cianuro de hidrógeno.

La concentración de cianuro en la yuca dulce que es la variedad que se cultiva en Perú varía entre 75 y 350 ppm, pero no en todas las plantas de esta especie la concentración de cianuro es igual, esta varía de acuerdo con la variedad, la edad de la planta, la condición del suelo, la aplicación de fertilizantes, el clima y otros factores.

Estos mismos reportes de laboratorio han determinado que los niveles de glucósidos cianogénicos en las raíces de yuca son menores que en las hojas y tallos. Los resultados analíticos indican que las raíces de yuca contienen entre 10 y 500 mg/kg de materia seca de cianuro, y las hojas, entre 53 y 1300 equivalentes de cianuro/kg de materia seca.

2.2.5. Filtración lenta

La filtración lenta es el sistema de tratamiento de agua en el cual el agua que contiene los contaminantes se desplaza con una velocidad mínima a través del sustrato que contiene el filtro de tal forma que se produce un contacto íntimo entre el material filtrante y el contaminante durante un mayor tiempo, asegurando así la eficiencia de la adsorción y de la filtración.

Constructivamente el filtro lento posee una estructura simple que básicamente consta de un recipiente y el medio filtrante que se deposita en ella, además de los dispositivos de control de velocidad del flujo (que es una llave de paso).

Para el tratamiento del agua, el filtro lento se considera un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. En comparación con el filtro rápido, requiere

de áreas más grandes para tratar el mismo caudal y, por lo tanto, tiene mayor costo inicial. Sin embargo, su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en un sistema ideal para zonas rurales y pequeñas comunidades, teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas zonas.

Este tipo de filtración es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una apropiada operación y cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica.

El método de purificación por medio de la filtración lenta es sencilla y eficiente ya que circulación del agua contaminada es a baja velocidad a través de un manto poroso de arena o del sustrato correspondiente que para nuestro caso fue la materia orgánica seca y pulverizada. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza.

El agua contaminada (efluente) que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En ese tiempo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar, lo que facilita su remoción posterior. Durante el día, bajo la influencia de la luz solar, se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben bióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno así formado se disuelve en el agua, entra en reacción química con los compuestos químicos y hace que éstas sean más asimilables por los microorganismos.

En la parte superior del filtro, sobre la superficie del sustrato se forma una capa constituida por material de origen orgánico, conocida con el nombre de “schmutzdecke” o “piel de filtro”, a través de la cual tiene que pasar el agua antes de llegar al propio medio filtrante. La capa que se forma es en realidad una capa biológica está formado principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plankton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Las algas muertas, así como las bacterias vivas del agua cruda son también consumidas en este proceso. Al mismo

tiempo que se degradan los compuestos nitrogenados se oxigena el nitrógeno. También se remueve algo de color y una considerable proporción de partículas inertes en suspensión es retenida por cernido.

Después de atravesar la capa biológica el agua entra al lecho filtrante y es forzada a atravesarlo en un proceso que normalmente toma varias horas y en el que se desarrollan diversos procesos físicos y biológicos que constituyen el proceso final de purificación.

2.3. Marco conceptual.

Agente de lixiviación

Es el reactivo que se emplea para extraer los componentes solubles en el durante el proceso de lixiviación.

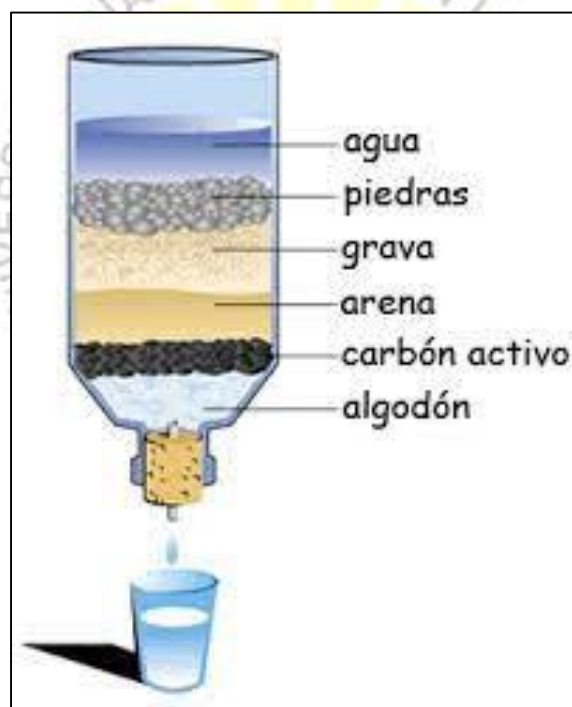


Figura 6. Esquema de un típico filtro lento de arena

Cianuración

Método hidrometalúrgico que requiere el uso de cianuro de sodio o de potasio para extraer el oro y la plata a partir de minerales.

Lixiviación

Método de extracción sólido-líquido mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado.

Lixiviado

Extracto que contiene el compuesto rico y que resulta de la lixiviación.

Lixiviar

Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.

2.4. Estrategia metodológica.

La presente investigación por su tipo es aplicada, ya que trata de solucionar un problema que afecta al medio ambiente y la salud de las personas debido a la presencia de cianuro y compuestos de cianuro en los efluentes de cianuración. Por su nivel la investigación es explicativa puesto que busca la relación entre las variables de estudio y por su diseño esta investigación es experimental ya que se manipula la variable independiente: Eliminación del cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero. La población estuvo representada por los efluentes cianurados que salen de las plantas de cianuración de minerales auríferos; mientras que la muestra estuvo representada por 20 litros de efluente líquido artificial elaborado en laboratorio y que consiste en una solución que contiene 50 ppm de cianuro de sodio y que ha sido empleada para los análisis y para llevar a cabo la filtración lenta empleando la materia vegetal como sustrato. Después de la filtración el filtrado fue analizado para establecer la concentración de cianuro en las muestras.

Las técnicas empleadas fueron las analíticas y los instrumentos, los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente, se seleccionarán los resultados obtenidos, se interpretarán y se discutirán de acuerdo con los valores obtenidos.

2.5. Desarrollo experimental.

2.5.1. Generalidades.

La parte experimental de esta tesis ha empleado como sustrato filtrante para captar el cianuro de los efluentes líquidos de la cianuración, materia orgánica muerta obtenida a partir de la planta de la yuca, empleando toda la planta incluyendo sus raíces comestibles para lo cual previamente se acondicionó mediante tratamiento físico con el fin de eliminar de ella un máximo de cianuro, lo cual se hizo por calentamiento para

luego emplearlo como material filtrante con el fin de comprobar su capacidad de adsorción de cianuro durante una filtración lenta.

2.5.2. Procedimiento experimental.

a. Recolección del material biológico.

En la chacra donde se cultiva la yuca se extrajo 5 plantas con todo y sus raíces y hojas, haciendo al mismo tiempo una selección de las plantas se escogieron las que tenían un mayor follaje, ya que las hojas poseen un mayor contenido de cianuro. Se eliminó todo material biológico que no pertenecía a la especie, y se sacudió lo mejor posible la tierra que cubría las raíces. En tales condiciones las plantas fueron llevadas al laboratorio para acondicionarlas para el análisis y las pruebas de campo.

b. Acondicionamiento de la planta.

En el laboratorio se separaron primero las partes de la planta, se deshojaron, se cortaron las raíces, los tallos se trozaron de tal forma que por separado se pudieran lavar. El lavado se hizo con agua corriente abundante y frotación mecánica con el fin de eliminar toda la tierra, el mismo tratamiento se le dio a cada una de las partes de la planta. Una vez limpias las partes por separado se escurrieron y se dejaron secar al sol.

Una vez libres de agua, las partes se trozaron en pequeños pedazos, tanto las hojas, los tallos y las raíces. Estos trozos debieron ser lo mas pequeños y finos posibles para luego colocarlos en bandejas dentro de hornos de secado con termostato regulable que permitió mantener una temperatura estable de 60°C hasta el secado total de todas las partes de la planta.

Las muestras secas se llevaron luego al molino de martillos para pulverizarlos a malla #10 (2,0 mm), granulometría con la cual se hicieron los diversos ensayos de adsorción de los compuestos cianurados.

c. Análisis realizados.

ANALISIS AL AGUA CIANURADA.

La muestra de agua que se preparó con una concentración de 100 ppm de cianuro de sodio se analizó no solo para comprobar la concentración del cianuro, sino que además se determinó:

- pH
- Conductividad,
- Dureza,
- Cloruros,

- Sulfatos.
- Cianuro total.

ANÁLISIS DE LA PLANTA.

A la planta se le hizo análisis proximal, que consistió en determinar: humedad, fibra, cenizas, proteínas, carbohidratos y cianuro total.

Para la determinación del cianuro total de la planta se preparó una muestra representativa de todo el material molido y homogenizado que tuvo un peso de 200 g, del cual se tomó 20 gramos y se puso en un vaso de precipitados con 100mL de agua destilada y se llevó a calentamiento por 20 minutos a 60°C para extraer el cianuro, se dejó enfriar y luego se tomó una muestra de 10mL para determinar cianuro total. Este procedimiento se repitió antes y después de los ensayos de captación.

PRUEBAS DE CAPTACIÓN DEL CIANURO.

Las pruebas experimentales para comprobar la adsorción del cianuro en la materia orgánica empleada se realizaron en una columna de vidrio de 5 cm de diámetro con llave de paso en la parte inferior, la parte superior tiene una boca esmerilada donde se puede adaptar un embudo dosificador desde el cual se dejó caer el agua cianurada de manera controlada a fin de evitar el rebose en la columna, en la parte inferior de la columna hay una placa filtrante que evita que el material orgánico molido pase hacia la llave de paso y la obstruya.

a. Preparación del equipo.

El equipo se coloca en un soporte universal asegurándolo en posición vertical, luego se llena con el material orgánico molido. Este material debe de ocupar aproximadamente las tres cuartas partes de la columna sin compactar para evitar que haya problemas hidráulicos y el agua no pueda circular con facilidad. Una vez que se ha llenado la columna se agrega agua destilada hasta que se cubra totalmente el material orgánico dejándolo en reposo durante 30 minutos, esto con el fin de que no se taponee el material al hincharse por rehidratación. Después de los 30 minutos se descarga el agua de rehidratación, se deja escurrir y se llena con la solución cianurada que se ha preparado para estudiar la captación de cianuro en la materia orgánica y se regula la velocidad del flujo a: 1000mL/h; 800mL/h; 600mL/h; 400mL/h y 200mL/h. Estos flujos se regulan abriendo y cerrando la llave de paso según se requiera, comprobando el tiempo con un cronómetro.

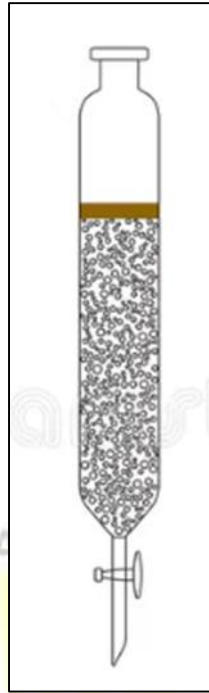


Figura 7. Columna de filtración.

b. Pruebas de captación del cianuro.

Se comenzó los ensayos con el flujo de 1000mL/h y luego se fue descendiendo la velocidad hasta los 200mL/h. El filtrado se recibe en un vaso de precipitados de un litro de capacidad y de él se toman 5 muestras de 10mL para realizar 5 ensayos de cianuro total, de esos cinco resultados se calculará el promedio de captación en cada ensayo.

Para cada velocidad se cambió el material orgánico procediendo de la misma manera que en la ya descrita en el punto (a).

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



III. RESULTADOS

3.1. Resultados del análisis del efluente líquido artificial y de la materia orgánica.

Tabla 1

Reporte del análisis fisicoquímico de la solución cianurada

Parámetro	Unidad	Resultados
Temperatura,	°C	20,0
pH a 20°C	-	7,1
Conductividad a 25°C	μS/cm	Menor de 0,1
Dureza total, como CaCO ₃	ppm	Menor de 1
Densidad	ppm	1,00987
Sólidos Suspendidos Totales	ppm	No existe
Cloruros (Cl)	ppm	Menor a 1,0
Sulfatos (SO ₄)	ppm	0,00
Cianuro total (CN)	ppm	50

Fuente: Datos experimentales

En la tabla 1 se reportan los resultados del análisis de la solución cianurada utilizada en las pruebas de adsorción de cianuro en materia vegetal, como se observa el pH de la solución es 7,1, su conductividad es menor a 0,1μS/cm, la dureza es menor a 1 ppm de CaCO₃, la densidad es de 1,00987 g/mL no posee SST ni sulfatos y la concentración de cianuro total es de 50 ppm.

NOTA: La preparación de la solución cianurada se hizo después de determinar los parámetros del agua destilada.

Tabla 2

Análisis proximal de la materia orgánica fresca

Componente	Unidad	Resultado
Proteínas	%	0,55
Cenizas	%	1,15
Grasas	%	0,25
Fibra	%	1,78
Humedad	%	63,49
Carbohidratos	%	33,40
Cianuro total	ppm	97

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis proximal de la materia orgánica fresca empleada en la filtración lenta para captar cianuro, en ella se observa que esta posee un 0,55% de proteínas, fibra 1,78%, grasa 0,25%, cenizas 1,15%, carbohidratos 33,40%, humedad 63,49% y cianuro total 97 ppm.



3.2. Acondicionamiento de la materia orgánica para la filtración lenta.

Tabla 3

Temperatura de secado de la materia orgánica y eliminación del cianuro

Temperatura, °C	Cianuro total, ppm
50	83
60	65
70	47
80	31
90	19
100	0

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 3 se reportan los datos obtenidos del análisis del cianuro total en la muestra orgánica después del secado, como se observa conforme aumenta la temperatura de secado va disminuyendo la concentración del cianuro total, a tal punto que a una temperatura de 100°C se elimina totalmente.

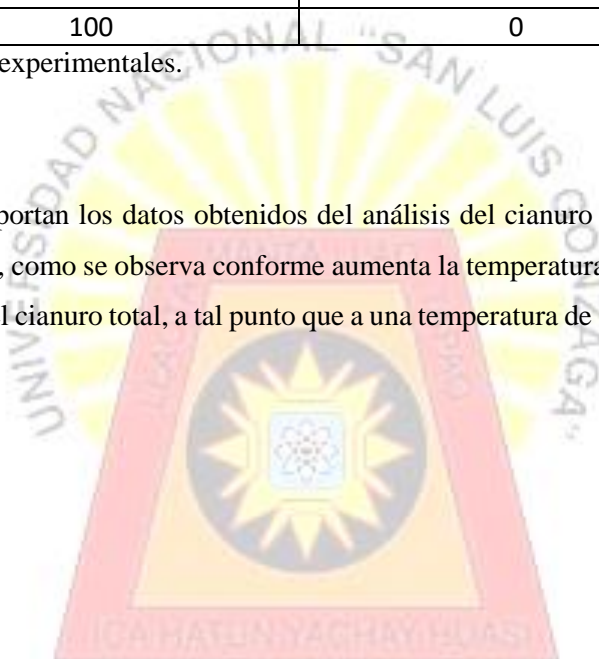


Tabla 4

Tiempo de secado de la materia orgánica a 70°C y concentración del CN

Temperatura, °C	Tiempo, h	Cianuro total, ppm
70	3	53
70	4	46
70	5	41
70	6	35
70	7	29
70	8	23

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4 se reportan los datos obtenidos del análisis del cianuro total en la muestra orgánica secada a 70°C durante varios tiempos, como se observa conforme aumenta el tiempo de secado va disminuyendo la concentración del cianuro total, pero en 8 horas a 70°C no se puede eliminar totalmente el cianuro.



Tabla 5

Tiempo de secado de la materia orgánica a 80°C y concentración del CN

Temperatura, °C	Tiempo, h	Cianuro total, ppm
80	3	48
80	4	41
80	5	36
80	6	28
80	7	17
80	8	3

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 5 se reportan los datos obtenidos del análisis del cianuro total en la muestra orgánica secada a 80°C durante varios tiempos, como se observa conforme aumenta el tiempo de secado va disminuyendo la concentración del cianuro total, en 8 horas a esa temperatura aún queda 3ppm de cianuro en la muestra tratada.



Tabla 6

Tiempo de secado de la materia orgánica a 90°C y concentración del CN

Temperatura, °C	Tiempo, h	Cianuro total, ppm
90	3	43
90	4	34
90	5	25
90	6	14
90	7	0
90	8	0

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 6 se reportan los datos obtenidos del análisis del cianuro total en la muestra orgánica secada a 90°C durante varios tiempos, como se observa conforme aumenta el tiempo de secado va disminuyendo la concentración del cianuro total, en 7 horas a esa temperatura se ha eliminado todo el cianuro de la muestra tratada.



Tabla 7

Tiempo de secado de la materia orgánica a 100°C y concentración del CN

Temperatura, °C	Tiempo, h	Cianuro total, ppm
100	3	31
100	4	18
100	5	0
100	6	0
100	7	0
100	8	0

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 7 se reportan los datos obtenidos del análisis del cianuro total en la muestra orgánica secada a 100°C durante varios tiempos, como se observa conforme aumenta el tiempo de secado va disminuyendo la concentración del cianuro total, en 5 horas a esa temperatura se ha eliminado todo el cianuro de la muestra tratada.



3.3. Resultados de las pruebas de filtración lenta para eliminar CN del agua cianurada.

Tabla 8

Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 1000mL/h

Muestra	Concentración de cianuro, en ppm		CN eliminado, ppm
	Inicial	Final	
01	50	44	6
02	50	44	6
03	50	45	5
04	50	43	7
05	50	44	6
Promedio		44	6

Fuente: Datos de laboratorio.

Peso del sustrato (materia orgánica): 100g

La tabla 8 muestra los resultados del análisis realizado a la solución cianurada tratada por filtración lenta para adsorber cianuro en la materia orgánica a una velocidad de flujo de 1000mL/h, como se observa en la tabla a esa velocidad de flujo se logra adsorber un máximo de 6 ppm de cianuro.

Tabla 9

Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 800mL/h

Muestra	Concentración de cianuro, en ppm		CN eliminado, ppm
	Inicial	Final	
01	50	29	21
02	50	29	21
03	50	28	22
04	50	29	21
05	50	29	21
Promedio		29	21

Fuente: Datos de laboratorio.

La tabla 9 muestra los resultados del análisis realizado a la solución cianurada tratada por filtración lenta para adsorber cianuro en la materia orgánica a una velocidad de flujo de 800mL/h, como se observa en la tabla a esa velocidad de flujo se logra adsorber un máximo de 21 ppm de cianuro.



Tabla 10

Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 600mL/h

Muestra	Concentración de cianuro, en ppm		CN eliminado, Ppm
	Inicial	Final	
01	50	21	29
02	50	22	28
03	50	20	30
04	50	21	29
05	50	21	29
Promedio		21	29

Fuente: Datos de laboratorio.

La tabla 10 muestra los resultados del análisis realizado a la solución cianurada tratada por filtración lenta para adsorber cianuro en la materia orgánica a una velocidad de flujo de 600mL/h, como se observa en la tabla a esa velocidad de flujo se logra adsorber un máximo de 29 ppm de cianuro.



Tabla 11

Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 400mL/h

Muestra	Concentración de cianuro, en ppm		CN eliminado, Ppm
	Inicial	Final	
01	50	13	37
02	50	13	37
03	50	14	36
04	50	13	37
05	50	12	38
Promedio		13	37

Fuente: Datos de laboratorio.

La tabla 11 muestra los resultados del análisis realizado a la solución cianurada tratada por filtración lenta para adsorber cianuro en la materia orgánica a una velocidad de flujo de 400mL/h, como se observa en la tabla a esa velocidad de flujo se logra adsorber un máximo de 37 ppm de cianuro.



Tabla 12

Adsorción del CN en la biomasa a velocidad de flujo 200mL/h

Muestra	Concentración de cianuro, en ppm		CN eliminado, Ppm
	Inicial	Final	
01	50	5	45
02	50	5	45
03	50	6	44
04	50	5	45
05	50	5	45
Promedio		5	45

Fuente: Datos de laboratorio.

La tabla 12 muestra los resultados del análisis realizado a la solución cianurada tratada por filtración lenta para adsorber cianuro en la materia orgánica a una velocidad de flujo de 400mL/h, como se observa en la tabla a esa velocidad de flujo se logra adsorber un máximo de 37 ppm de cianuro.



Tabla 13

Datos comparativos de adsorción del CN según la velocidad de flujo

Velocidad de flujo, mL/h	Cianuro eliminado, ppm
1000	6
800	21
600	29
400	37
200	45

Fuente: Datos de las tablas anteriores.

La tabla 13 muestra los datos comparativos de la adsorción de cianuro en relación con la velocidad de flujo del agua cianurada, como se observa al disminuir la velocidad del flujo aumenta la capacidad de adsorción de este reactivo hasta los 45 ppm, quedando en el agua un total de 5 ppm.



IV. DISCUSIÓN

En los últimos tiempos los estudios dirigidos a buscar nuevos métodos para eliminar o minimizar las sustancias tóxicas y contaminantes que se eliminan como efluentes de diversas industrias incluyendo a la industria metalúrgica, están optando por el uso de tecnologías pasivas las cuales mediante la utilización de desechos vegetales los cuales contienen ciertos componentes pertenecientes al grupo de los carbohidratos o las proteínas, pueden captar mediante la bioadsorción metales pesados y sustancias tóxicas como los compuestos del grupo de los cianuros y en este sentido se ha planteado en esta tesis el uso de materia orgánica vegetal lo que se llama en los estudios ambientales biomasa muerta como sustrato para la filtración lenta en donde por bioadsorción se captan contaminantes. Se ha usado como material biológico la planta de la yuca, una especie conocida y cultivada en el Perú, de uso masivo en la alimentación humana pero que en su composición química hay cianuro especialmente en la corteza (tallo, hojas y la cáscara del tubérculo comestible que constituye la raíz), según los reportes de laboratorio la variedad que se cultiva en la zona contiene hasta 97 ppm de este compuesto químico.

El diseño experimental de la tesis ha partido de la hipótesis de que la biomasa de esta especie puede ser tratada térmicamente para eliminar el cianuro y luego por rehidratación en una solución que contiene cianuro sea nuevamente captado por las células vegetales. Para demostrar esta hipótesis la planta previamente lavada y trozada se sometió a secado artificial en horno de secado de laboratorio a temperaturas cada vez más alta, desde 50°C hasta los 100°C, se ha podido comprobar que conforme se aumenta la temperatura va disminuyendo la concentración del cianuro, hasta los 100°C donde se elimina totalmente.

Con la materia orgánica seca y pulverizada libre de cianuro se preparó el equipo de filtración, en el cual se empleó la biomasa como sustrato o medio filtrante a través de él se hizo pasar el efluente cianurado artificial (Solución acuosa cianurada) con una concentración de cianuro de 50 ppm.

La velocidad del flujo de la solución cianurada se reguló en 1000mL/h, 800mL/h, 600mL/h, 400mL/h y 200mL/h. Se comprobó que conforme disminuía la velocidad del flujo se reducía también la concentración del cianuro en el agua. Después de cada ensayo se hicieron los ensayos correspondientes para determinar la concentración de cianuro en el agua filtrada, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuando la velocidad de flujo fue de 1000mL/h se eliminó 6ppm de cianuro.

Cuando la velocidad de flujo fue de 800mL/h se eliminó 21ppm de cianuro.

Cuando la velocidad de flujo fue de 600mL/h se eliminó 29 ppm de cianuro.

Cuando la velocidad de flujo fue de 400mL/h se eliminó 37 ppm de cianuro.

Cuando la velocidad de flujo fue de 200mL/h se eliminó 45 ppm de cianuro.

Estos resultados nos permitieron concluir que el 90% del cianuro ha sido retenido en esta materia orgánica empleada y por tanto su uso a gran escala puede ser posible.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado experimentalmente que la materia orgánica obtenida a partir de la yuca previamente tratada si puede eliminar el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero mediante filtración lenta.
2. Se ha determinado que la concentración promedio de cianuro residual en los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero es aproximadamente de 120 ppm.
3. Un medio filtrante orgánico puede adsorber el cianuro de los efluentes de la lixiviación del mineral aurífero previamente tratado mediante un procedimiento térmico y la molienda necesaria para reducir el tamaño de sus partículas hasta malla # 10.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda recolectar y procesar la parte arbustiva de la yuca, que no tiene uso alguno en nuestro medio y se desecha como leña o alimento para los animales, para usarlo como sustrato en el tratamiento de los efluentes cianurados de alguna planta de cianuración a fin de comprobar su eficiencia en la captación del cianuro.
2. Se recomienda hacer otros ensayos de acondicionamiento de la materia orgánica a fin de potenciar su capacidad de adsorción de cianuro con el fin de poder emplear dicho sustrato en la eliminación de dicho compuesto.



VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

SMIT A., AND MUDDER, T. "The Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes" Mining Books Limited, London, 1991, pp 1-20.

LOROSCH, J., VICKELL, G. Y NORCROSS, R. "Peroxide Assited Gold Leaching" Degussa Corp., Engineering and Mining Journal, June 1991, pp. 36-37.

KNORRE, H. Y GRIFFITHS, A. "Cyanide Detoxification with Hydrogen Peroxide Using The Degussa Process" Degussa Ag. Werk Wolfgang, Dept. FC-ATA, Germany. 1983.

GRIFFITHS, A.M Detoxification of Total Cyanide With Hydrogen Peroxide, Randol Gold Forum 88, 1988, pp 89-90.

LOGSDON, Mark J.; HAGELSTEIN, Karen y MUDDER, Terry. The Management of Cyanide in Gold Extraction. The International Council on Metals and the Environment. Ontario: s.n., 2001. p.1-36.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Minería Química. Madrid: ITGE, 1991. p. 171-181.

MONTOYA OCHOA, Carlos Arturo. Estudio de la contaminación por cianuro (NaCN) en las plantas de tratamiento de minerales auríferos en el municipio de Segovia y biorremediación de arenas contaminadas. Medellín, 2001. 201 páginas. Tesis (Magíster en ingeniería ambiental). Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería. Ingeniería Ambiental.

ASTM, 1985. Annual Book of Standards *Libro Anual de Normas*. Sección D2036-98 Standard Test Methods for Cyanide in Water

VIDAL, A y VICENT, M. Oxidación solar fotocatalítica: aplicación al tratamiento de efluentes cianurados. En: Ingeniería Química (España). V 33 N 375 (enero,2001); p. 161-165.

L.YURRAMENDI, et al. Eliminación de cianuros presentes en efluentes industriales: análisis y comparación de los diferentes procesos de tratamiento. Tratamientos electroquímicos. En: Ingeniería Química. N 306 (octubre, 1994); p.129-134.

GONZALEZ, L., PULIDO, J. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en la planta de beneficio de la empresa Mineros Nacionales, Marmato, Caldas, T.D.G., Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 2004

Caro's Acid technical Brochure, PDF, Philadelphia. FMC corporation. 2004-04-10. Avalaible from internet
Caro's Acid detoxification of cyanide in a gold mine tailing pond a plant demonstration. PDF, Philadelphia. FMC corporation. 2004-04-10. Avalaible from internet.

Hydrogen peroxide and Caro's Acid Powerful Oxidants for Cyanide Destruction, PDF, Philadelphia. FMC corporation. 2004-04-10. Avalaible from internet

United States Patent and Trademark Office. Method for producing caro's acid. html. Philadelphia. FMC corporation, U.S.Pat No 5,470,564. .

United States Patent and Trademark Office. Peroxoacid manufacture html. London. Interlox Chemicals Limited, U.S.Pat No 5,304,360. .

United States Patent and Trademark Office. Treatment of cyanides in effluents with Caro's acid. .html. Philadelphia. FMC corporation, U.S.Pat No. 5,397,482.

United States Patent and Trademark Office. Method for treating tailing slurries with Caro's acid. .html. Philadelphia. FMC corporation, U.S.Pat No. 6,090,297.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para determinación de cianuros en agua potable. Primera edición. Santa fe de Bogotá. D.C.: ICONTEC. 1978. 5 p. NTC 1312



ANEXOS

Anexo 1

Métodos para determinar la composición porcentual de vegetales

a. Grasas.

(Método Soxhlet - AOAC - 1984).

En un cartucho de papel filtro se coloca 10 g de muestra seca y pulverizada, en la cámara extractora del equipo Soxhlet, se echa hexano hasta que tape el cartucho dejando macerar por 12 horas, tapando la salida superior del tubo refrigerante para evitar que el solvente se evapore. Después de las 12 horas se destapa el tubo refrigerante, se retira y se agrega una cierta cantidad de solvente para permitir que el extracto que se ha formado en la cámara sea sifonado hacia el matraz de destilación, cuando todo el extracto pasa al matraz, se agrega solvente en la cámara hasta que tape el cartucho que contiene la muestra, se vuelve a colocar el tubo refrigerante y se inicia el calentamiento para que este recircule 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 80°C para eliminar el solvente residual que queda con la grasa, se enfría y pesa. El resultado (%G) se calcula con la fórmula siguiente:

$$\% G = [(W \text{ balón} + \text{grasa} - W \text{ balón vacío}) / \text{Peso de la muestra}] \times 100$$

b. Cenizas.

(Método de la Incineración Directa - AOAC - 1984).

En un crisol de porcelana seco y tarado, se echan 2 g de muestra pulverizada, seca y desgrasada. En un mechero a gas se calienta hasta 200°C hasta completa carbonización luego se lleva a mufla a 600°C por 12 horas. Concluido este tiempo se retira el crisol y se coloca sobre una cerámica para que enfríe hasta los 80 o 100°C y luego se coloca en el desecador durante 30 minutos para que enfríe hasta temperatura ambiente, después de lo cual se pesa. 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 del porcentaje de cenizas (%C) se realiza con la siguiente fórmula:

$$\% C = (W \text{ de las cenizas} / W \text{ de la muestra}) \times 100$$

c. Proteínas.

(Método de micro Kjeldahl - AOAC - 1984).

0,3 g de muestra pulverizada, seca y desgrasada, pesada en balanza analítica, se echa en el balón Kjeldahl, al cual se adicionando 1 g de catalizador (Mezcla de $\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$) y 4 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se calienta primero a temperatura moderada, luego hasta ebullición y se mantiene a esa temperatura hasta que el líquido se torne transparente o de un color verde esmeralda.

Durante la digestión la boca del matraz Kjeldahl se conecta mediante una manguera de látex a una trompa de vacío para extraer el dióxido de azufre y mezclarlo con el agua, a fin de que no se propague por el ambiente del laboratorio.

Terminada la digestión y fría la muestra se añaden 100mL de agua destilada y se trasvasa a un balón de 500mL, se agrega 100 de NaOH al 40% y se destila, recibiendo el destilado en un Erlenmeyer con 50mL de ácido bórico al 2%, y gotas de indicador rojo de metilo. La destilación se prolonga hasta la total destilación del amoníaco. La adición del hidróxido de sodio debe de hacerse en un equipo totalmente hermético, para evitar la fuga de amoniaco. Para ello se emplea un embudo de separación que se adapta al matraz de destilación, en un orificio del tapón. Cuando se inicia la ebullición del contenido del matraz, se abre la llave del embudo y se deja caer poco a poco el hidróxido de sodio, hasta que caiga todo e inmediatamente se cierra la llave para evitar fuga de vapores. Este tipo de destilación se denomina “destilación destructiva”, el NaOH rompe la molécula de sulfato de amonio y deja libre el amoniaco que se recibe en ácido bórico.

El exceso de amoníaco que no ha reaccionado con el ácido bórico se titula con ácido sulfúrico 0,1 N. El porcentaje de proteínas (%P) se calcula con la fórmula:

$$\%P = (\text{Gasto} \times 0,014 \times F \times 100) / \text{Peso de la muestra}$$

Dónde:

F - es el factor de la sustancia a analizar.



Anexo 2

Métodos de análisis del agua

CONDUCTIVIDAD.

Equipo: Conductímetro.

Fundamento:

La concentración de las sales disueltas en el agua conduce la corriente eléctrica que circula por el puente de Wheatstone, del conductímetro generando una señal que es leída en la pantalla.

Procedimiento:

Los envases empleados en los ensayos deben estar totalmente limpios de huellas dactilares. Se enciende el aparato, se ajusta a escala correspondiente y se selecciona el patrón más adecuado, el mismo que se agita y se coloca en la celda de medición. Se mueve la aguja de la perilla de ajuste "Standardize" hasta obtener el valor de conductividad en la escala. Se retira la muestra patrón y colocar la muestra problema, para hacer la lectura correspondiente.

CLORUROS.

Fundamento.

El método empleado se basa en que, en una solución neutra o ligeramente alcalina, el ion cloruro es precipitado por el nitrato de plata como cloruro de plata, el cual se precipita antes de que se forme cromato de plata (color rojo) a partir del cromato de potasio.

Procedimiento.

Coloque 100 mL de la muestra en un Erlenmeyer y en otro 100 mL de agua destilada (libre de cloruros) que servirá como testigo para la comparación. Si la muestra es coloreada se decolora por la adición de 3 mL de suspensión de hidróxido de aluminio con agitación. Después de unos 10 minutos se filtra y se lava con 10 a 15 mL de agua destilada. Si la muestra contiene sulfuro o tiosulfato, se alcaliniza, 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.

Agregue unas gotas de fenolftaleína y ajuste a un ligero color rosado (pH entre 7-10) agregando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, según sea necesario. Agregue 1 mL de K_2CrO_4 . Titule con la solución valorada de nitrato de plata hasta que aparezca una coloración amarillo-rojiza. Determine el gasto de titulante de la muestra testigo, siguiendo el método de titulación descrito.

Cálculo.

$$Cl = \frac{(\text{mL AgNO}_3 (\text{muestra}) - \text{mL AgNO}_3 (\text{testigo})) \times \text{mL de muestra}}{N_{\text{AgNO}_3} \times 35,46 \times 1,000}, \text{ mg/L}$$

MEDICION DE pH.

Fundamento:

La medición del pH se hace con el pH-metro (fig.4) que consta de dos electrodos. El elemento sensible es el electrodo de vidrio, que consta de un tubo con un bulbo muy delgado de vidrio especial en su extremo inferior. El bulbo y parte del tubo se llenan con HCl de concentración definida, en el cual se introduce un alambre de plata. Cuando el electrodo de vidrio se pone en una solución acuosa, los iones hidrógeno se desplazan de esta solución hacia la superficie de la membrana de vidrio del bulbo; análogamente los iones hidrógeno del ácido clorhídrico se desplazan también hacia la membrana. El número de iones hidrógeno que llegan está relacionado con el pH de la solución. Por consiguiente, (a menos que el pH interior sea idéntico al exterior), se desarrolla una diferencia de cargas eléctricas entre las superficies interior y exterior de la membrana. Esta diferencia de cargas representa un potencial que se mide comparándolo con un potencial constante de un electrodo de referencia, que es de calomel, ambos conectados al pH-metro. Para un determinado electrodo de vidrio, y puesto que las condiciones imperantes en el interior de su bulbo, así como el potencial del electrodo de calomel, son constantes, la diferencia de potencial que se mide depende solamente del pH de la solución problema. De hecho, la diferencia de potencial es una función lineal del pH de la solución. Por lo tanto, la escala del medidor puede graduarse linealmente en unidades de pH.

Procedimiento:

- a) Tome la muestra de agua que se desea analizar.
- b) El ajuste y calibración del aparato se efectúa según el procedimiento indicado en el manual del fabricante. En forma general se puede proceder de la siguiente manera:
 - Enjuague el electrodo con agua destilada.
 - Coloque el corrector manual térmico en el valor de temperatura que tiene la muestra de agua.
 - Introducir el electrodo en la solución buffer seleccionada y mueva el botón de encendido hasta la posición de pH.
 - Lleve la aguja del medidor al valor de pH que corresponde a la solución buffer según la temperatura, moviendo el botón de calibración en el sentido de las manecillas del reloj o viceversa.
 - Regrese el botón de encendido a la posición de 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 la posición de apagado.

- Enjuagar el electrodo con agua destilada y mantenerlo sumergido en ella mientras no esté en funcionamiento.
- El valor de pH se lee directamente en la pantalla del potenciómetro.

DUREZA TOTAL.

(Método: titulación con EDTA).

Fundamento:



El EDTA forma un quelato complejo soluble cuando se agregan a una solución que contiene ciertos cationes metálicos. Si se agrega una pequeña cantidad de un colorante como el Negro Cromo T, a una solución acuosa que contenga iones de calcio y magnesio, a un pH 10, la solución vira al rojo vino; si entonces se agrega el EDTA como titulador, se forman complejos de calcio y magnesio, virando el color de la solución al azul, que se considera punto final de la titulación.

Procedimiento:

- a) Se toman 50 mL de la muestra, se agrega 1 mL de solución amortiguadora.
- b) Se adicionan posteriormente 4 gotas de la solución indicadora.
- c) Se titula con EDTA.

Si en la titulación no se consigue un viraje preciso de color, hay que agregar el inhibidor. El tiempo no debe exceder los 5 minutos, a partir de cuando se agrega la solución amortiguadora.

Calculo:

Dureza total (DT) como mg/L carbonato de calcio, se calcula con la fórmula:

$$DT = \text{mL EDTA} \times 20.$$

CALCIO.

(Método titulación con EDTA).

Fundamento:

El EDTA se combina rápidamente con el calcio y puede ser determinado al elevar el pH lo suficiente para precipitar el magnesio como hidróxido, usando un indicador que se combine solamente con el calcio como por ejemplo la murexida.

Procedimiento:

- a) Tome 50 mL de la muestra.
- b) Agregue 2 mL de hidróxido de sodio 1N para producir un pH de 12 a 13 unidades.
- c) Añada 0,1 ó 0,2 g de mezcla indicadora.
- d) Titule con EDTA. El color de la solución deberá cambiar gradualmente de rosa a púrpura y finalizar en este punto.

Cálculos:

$$\text{mg/L Ca} = \frac{A \times B \times 400,8}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A - mL del titulante.

B - mg de carbonato de calcio, equivalente a 1 mL de EDTA.



	Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (M S D S)		MBM-PQ-015 F.Elaboración: 10 Enero 2002 F. Revisión: 15 Abril 2006.	
Nombre del Producto CIANURO DE SODIO	U N 1689	GR 157		
Sección 1 Identificación del Producto Químico y Compañía.				
Nombre de Material: Cianuro de Sodio. Fórmula Química : NaCN Numero CAS : 143-33-9 Sinónimos : Cianuro de Sodio, Prusiato de Soda. Usos : Extracción de oro y metalurgia, pilas de Lixiviación. Fabricante / Manufacturero : DUPONT - COMPANY. Telefono: 1 (800) 441-7515				
Sección 2 Composición / Información de Ingredientes				
Ingredientes: +Cianuro de Sodio, otras sales de Sodio Proporción : 99% típico, 1% - 4% máximo. Compañía: DUPONT - COMPANY.				
Sección 3 Identificación de Peligros				
Clasificación de Riesgos: Agudo: Si Crónico: No Fuego: No Reactividad: Si Presión: No Lista de elementos Químicos Peligrosos. SARA Sustancia Extremadamente Peligrosa: Si CERCLA Sustancia Peligrosa: Si SARA Elemento Químico Tóxico: Si Inhalación: Puede ser fatal si se inhala, se traga o se absorbe a través de la piel. El contacto con ácidos, agua o álcalis débiles libera gas cianuro hidrógeno venenoso. Puede causar quemaduras a los ojos. Puede irritar la piel y causar quemaduras alcalinas y los síntomas son: Enrojecimiento en los ojos, irritación en la garganta, palpitations, dificultad para respirar, salivación, desorientación, náuseas, dolor de cabeza, debilidad de extremidades, vértigo, colapso, convulsiones. Piel: El contacto con la piel puede causar irritación con molestias y sarpullidos; soluciones fuertes pueden causar quemaduras en la piel o ulceraciones. La evidencia sugiere una permeabilidad significativa en la piel puede ocurrir. No existen registros de sensibilización en humanos. Ojos: Puede causar irritación, lagrimeo, o dificultades para ver. Prolongadas				

exposiciones pueden causar corrosión con ulceración corneal y/o conjuntivitis. **Efectos Crónicos:** Inhalación, ingestión o contacto con la piel con cianuro de sodio puede causar molestias no específicas tales como náuseas, dolor de cabeza, y desfallecimiento, tanto como vómitos, baja en la presión sanguínea, debilitamiento, hemorragia nasal y pérdida de la consciencia. Estimulación del sistema nervioso central seguido por una depresión puede ocurrir con convulsiones, hipoxia y muerte debido a la interrupción de la respiración. Altas exposiciones pueden acelerar la respiración y el pulso, cianosis, acidosis y algunos efectos en la tiroides (observados en individuos con deficiencia nutricional, síntomas asociados con el síndrome de Parkinson o edema pulmonar y muerte en grandes exposiciones). En algunos casos con problemas en la visión o daño en el nervio óptico o retina, atribuibles al cianuro de sodio, el daño en el nervio óptico o de incremento en el insomnio, sueño agitado, temblores, dermatitis y hemorragia nasal en trabajadores de electrogalvanizado. Personas con enfermedades preexistentes al sistema nervioso central pueden aumentar su susceptibilidad a la toxicidad en exposiciones excesivas.

Sección 4 Medidas de Primeros Auxilios.

Inhalación: Si hay pérdida de consciencia, se debe administrar oxígeno y nitrilo de amilo. Traslade al paciente a una atmósfera no contaminada, mantenga al paciente abrigado y tranquilo. Llame al médico.

Contacto con la piel: Si el trabajador está inconsciente, se debe administrar oxígeno y nitrilo de amilo. Lave inmediatamente con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos después del contacto o sospecha de contacto, saque completamente toda la ropa contaminada. (incluyendo los zapatos y botas). Lave con agua por lo menos 5 minutos para sacar el cianuro de la piel del paciente. Llame al médico.

Contacto con los ojos: Lave inmediatamente los ojos con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos manteniendo los ojos abiertos. No trate de neutralizar con ácidos o álcalis. El contacto con los ojos va a requerir una evaluación en más profundidad y posiblemente un tratamiento. Continúe lavando los ojos durante el traslado al hospital. Consulte con el médico.

Ingestión: Si hay pérdida de consciencia, el oxígeno y el nitrilo de amilo deberá administrarse. Si el paciente está inconsciente, suministre de inmediato un preparado de agua con carbón.

No haga tragar nada por la boca si el paciente está inconsciente. Llame al médico continúe administrando oxígeno. No suministre JARABES ni otros inductores del vómito ya que esto podría interferir con el uso de resucitador.

Sección 5 Medidas para Combatir Incendios.

Fuego/Explosión: No se quema. El cianuro puede no destruirse completamente en un fuego normal que comprometa a materiales combustibles tales como papel o madera. Como el cianuro no induce la combustión se puede oxidar en un incendio. Respete los códigos de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA).

Elementos de extinción: Use agua en los incendios cercanos al cianuro pero reduzca la cantidad de agua si los contenedores están abiertos o quemados, para evitar la fuga de cianuro. NO USE Dióxido de carbono (CO₂) con el cianuro húmedo ya que el ácido carbónico (H₂O + CO₂) podría liberar cianuro.

Instrucciones para el combate de incendios: El cianuro de sodio se disuelve rápidamente con el agua; por lo tanto puede haber fuga de solución de cianuro

si el contenedor se quema se abre o se quema. La fuga debe ser controlada para evitar problemas de seguridad y de medio ambiente. La solución de cianuro de sodio. En algunos casos podría ser aconsejable dejar que el fuego se consuma solo ya que el cianuro de sodio normalmente no se verá afectado por el fuego.

Sección 6 Medidas para Derrames Accidentales.

Limpieza de derrame: Usando palas y escobas, limpie el área derramada y dejando el material recuperado en un contenedor cerrado y en bolsa plástica para ser eliminado. Cubra y seque el área derramada. Lave el área derramada con una solución diluida de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. Para destruir el cianuro. Llame a DUPONT COMPANY para obtener asesoría.

Sección 7 Manejo y Almacenamiento.

Manipulación: La planificación de emergencia y el entrenamiento son necesarios antes de comenzar a trabajar con el cianuro ya que el tratamiento inmediato es esencial en casos de envenenamiento con cianuro. Mantenga siempre los Kits de Antídoto de Cianuro a mano. No respire el polvo, el rocío ni el gas de cianuro. Evite que entre a los ojos. Evite el contacto con la piel y la ropa. No lleve alimentos, bebidas ni tabaco cuando sea posible la contaminación con cianuro. Lave completamente después de manipular. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

Almacenado: Almacene en contenedores bien etiquetados en áreas secas, bien ventiladas y seguras. Mantenga los contenedores cerrados y secos. No almacene con ácidos o sales ácidas contenedores con agua o álcalis débiles o agentes oxidantes. No manipule ni almacene comida, bebidas ni tabaco en las áreas con cianuro o almacene cerca de combustibles ni inflamables ya que el consecuente procedimiento para apagar incendios con agua puede llevar a fugas de cianuro. No almacene bajo sistemas de sprinklers.

Sección 8 Control de Exposición / Protección del Personal.

Controles de Ingeniería: Use la suficiente ventilación como para mantener la exposición de los empleados bajo los límites recomendados.

Equipo de Protección Personal: Use protección ocular contra sustancias químicas y guantes de goma. Cuando existan exposiciones en el aire potencialmente mayores a los límites aplicables, use el equipo de protección respiratorio aprobado por NIOSH, incluyendo el sistema autónomo. Tenga a mano y use: protección para el rostro, ropa de goma, delantales y botas; aparatos de respiración desechable para el polvo y rocío tóxico, equipos de respiración autónomo (en caso de emergencia); detector de cianuro de hidrógeno, elementos de Primeros Auxilios y de Tratamiento Médico, incluyendo resucitadores de oxígeno.

Sección 9 Propiedades Físicas y Químicas.

Forma: Sólido, granulado, briquetas. Color: Blanco.	PH: 11.3 - 11.7 Olor: leve olor a amoníaco.
Punto de Ebullición: 1496°C(2725F) 760 mm.Hg Punto de Fusión: 564C (1047F). Solubilidad en agua: -37 WT% @ 20 C (68F)	Gravedad Específica: 1.6 Presión de Vapor: Minimo. Densidad en bruto (embalado): 50-55 lbs/pies3.
Sección 10 Estabilidad y Reactividad.	
<p>Estabilidad: Muy estable cuando esta seco. Polimeración / Polimerización: No habrá polimerización. Incompatibilidades Químicas: Grandes cantidades de gas cianuro de hidrógeno inflamable y venenoso (HCN) se producirá por el contacto con ácidos, reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes cuando se calienta. El agua o las soluciones alcalinas débiles pueden producir cantidades peligrosas de cianuro de hidrógeno en áreas confinadas. Descomposición: La humedad causara una lenta descomposición, liberando cianuro hidrógeno venenoso y gases de amoniaco.</p>	
Sección 11 Información Toxicológica.	
<p>Oral LD50: 15 mg/kg en ratas. Dermico LD50: 11.28 - 14.63 mg/kg en conejos. Inhalación LC50 : Información no disponible pero se considera altamente tóxico como CN por inhalación.</p>	
Sección 12 Información Ecotoxicológica.	
<p>Toxicidad Acuatica: Cianuro de Sodio. 96 horas LC50 - Fathead minnows: 0.43 - 0.66 mg/L. 96 horas LC50 - Trucha arcoiris : 0.46 - 0.75 mg/L. 96 horas LC50 - Bluegill sunfish : 0.28 mg/L.</p>	
Sección 13 Consideraciones Relativas a la Eliminación.	
<p>Eliminación de desperdicios: Este material puede ser un desecho peligroso. No vacíe cianuro en alcantarillas que puedan contener un ácido. Desintoxique usando hipoclorito de sodio diluido, peróxido de hidrogeno o hipoclorito de calcio, cumpla con la legislación que establece el método de eliminación.</p>	
Sección 14 Información para el Transporte.	
<p>DOT Nombre del producto de embarque : CIANURO DE SODIO. Clase de Riesgo: 6.1 No I.D UN/NA: UN1689 Rotulo DOT: TOXICO Información Especial: Contaminante Marino. Grupo Del Embalaje: I DOT/ IMO Nombre del producto de embarque : CIANURO DE SODIO SOLIDO.</p>	

Clase de Riesgo: 6.1
No I.D UN/NA: UN1689
Rotulo DOT: TOXICO
Información Especial: Contaminante Marino.
Grupo Del Embalaje: I
Cantidad Reportable: 10 lb (4.54 kg.)