

Minería de Oro



Manual de Gestión del Recurso Hídrico

Cuando proteges el agua, proteges la vida

Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico **MINERÍA DE ORO**

Convenio 1506 – 93

Aunar esfuerzos para el monitoreo y seguimiento a usuarios objeto de tasa retributiva y la infraestructura de descontaminación, que se enmarcan las políticas de GIRH, producción y consumo sostenible

Alejandro González Valencia Director General Corantioquia	Natalia Echavarría Nicolás Atehortúa Olga Tobón Investigación CNPMLTA
Juan David Ramírez Soto Subdirector Calidad Ambiental Corantioquia	Olga Tobón Textos
Diana Jaramillo Sebastián López Gómez Carlos David Rodríguez Edgar de Jesús Vélez Gloria Cecilia Araque Supervisores Convenio	Comunicaciones CNPMLTA Diseño y Diagramación Edgar Vélez Revisión

2016

Tabla de contenido

5	1. Introducción
6	2. ¿La Minería Sostenible?
6	3. Marco Jurídico
6	4. Métodos de Extracción de Oro
6	5. La Minería de Oro en el Departamento de Antioquia
	5.1 Producción
	5.1.1 Distrito minero Nordeste y Bajo Cauca
	5.1.2 Distrito minero de Puerto Nare
	5.2 Impactos de la minería de oro en antioquia
	5.2.1 Consumos de agua
	5.2.2 Consumo de mercurio
	5.3 Consumo de cianuro y mercurio en los municipios de segovia y remedios
6	6. Opciones de Mejora en las Actividades Mineras
	6.1 Recomendaciones generales en la gestión del agua
	6.2 Recomendaciones Generales En El Proceso De Beneficio
	6.3 Recuperación de oro por concentración gravimétrica y cianuración
	6.3.1 Circuito de producción de oro sin mercurio propuesto por CIMEX Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
	6.3.2 Uso de concentradores JIG y en espiral para recuperación de oro
	6.3.3 ORO ECO 100V y ECO-100H – Recuperación de oro sin mercurio
	6.3.4 Alternativas de disminución del uso de mercurio en plantas de beneficio de oro
	6.4 Manejo de colas contaminadas
	6.4.1 Recomendaciones para el control del pH en el deproceso de cianuración:
	6.5 Sistemas de tratamiento de soluciones cianuradas y recirculación del agua
	6.5.1 Proceso SO ₂ – aire
	6.5.2 Proceso del Peróxido de Hidrógeno
	6.5.3 Remoción de cianuro en relaves auríferos utilizando BIOCHAR producido a partir de tallos de Gliricidia sepium.
	6.6 Recuperación de oro con carbón activado

5

7. Posibles Fuentes de Financiación para Desarrollar Proyectos de Producción más limpia

6

8. Anexos

8.1 ANEXO 1. Límites permisibles minería

8.2 ANEXO 2. Modelo de cálculo tasas retributivas

8.3 ANEXO 3. Módulos de consumo y factor de vertimiento

8.4 Módulos de consumo de agua y factor de vertimiento

8.4.1 Metodología cálculo de módulos de consumo

6

9. Bibliografía

Listado de Tablas y Figuras

TABLAS

- | | |
|----|--|
| 10 | 3.1 Marco legal ambiental |
| 15 | 5.1 Producción de oro distrito minero nordeste – bajo cauca |
| 17 | 5.2 Producción de oro distrito minero de puerto nare |
| 19 | 5.3 Consumo promedio de agua en los distritos mineros en jurisdicción de Corantioquia |
| 21 | 5.4 Cantidades de mercurio utilizadas de acuerdo al tipo de establecimiento de beneficio mineral |
| 22 | 5.5 Consumo de mercurio por departamento |
| 23 | 5.6 Mercurio no recuperado por la minería artesanal e informal en Antioquia |
| 43 | 6.1 Resultados de análisis realizados al relave aurífero |
| 45 | 7.1 Fuentes de financiación – organismos nacionales |
| 51 | 8.1 Límites permisibles sub – sector minería de oro |
| 48 | 8.2 Formato consumo de agua en un entable minero y una mina |
| 59 | 8.3 Formato registro de vertimiento entable minero |

FIGURAS

- | | |
|----|---|
| 9 | 3.1 Marco legal minero |
| 12 | 4.1 Circuito de extracción de oro en los entables mineros de antioquia |
| 15 | 5.1 Ubicación del distrito minero aurífero nordeste y bajo cauca |
| 16 | 5.2 Ubicación distrito minero Puerto Nare |
| 18 | 5.3 Impactos ambientales de las etapas de la minería en los componentes agua, suelo y biodiversidad |
| 20 | 5.4 Distribución del consumo de agua por municipio |
| 22 | 5.5 Consumo de mercurio/departamento por año |
| 23 | 5.6 Mercurio no recuperado en los municipios distritos mineros jurisdicción de corantioquia |
| 28 | 6.1 Circuito de producción sin amalgamación con cianuración de colas |
| 29 | 6.2 Recuperación de oro sin mercurio |
| 33 | 6.3 Circuito de recuperación de oro con concentradores jig y en espiral |
| 35 | 6.4 Diagrama de flujo utilizando cocos como remoladores sin mercurio. |
| 36 | 6.5 Diagrama de flujo de beneficio de oro sin uso de mercurio |
| 37 | 6.6 Reacción del cianuro de sodio en $\text{ph} < 8$ |

FIGURAS

- 37 6.7 Formación del complejo de oro $\text{ph} > 9$
- 38 6.8 Equilibrio del cn^-/hcn con el ph
- 39 6.9 Diseño simplificado del proceso inco so_2 - aire
- 41 6.10 Proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno
- 44 6.11 Diseño sistema remoción de cianuro con bochar
- 47 6.12 Esquema para la aplicación del proceso cic en una mina artesanal
- 50 8.1 Sector minería resolución 631 de 2015
- 59 8.2 Control de consumos de agua en el proceso

1. Introducción

A partir de las visitas técnicas y el seguimiento realizadas a las minas y entables de oro en los Municipios de la jurisdicción de CORANTIOQUIA, se elabora el presente manual de con el objeto de impulsar el desarrollo de procesos de beneficio de oro que impulsen a los productores a proteger, preservar y cuidar el medio ambiente para conseguir la sostenibilidad ambiental, social y económica de las zonas mineras del Departamento.

Antioquia es el primer productor de oro de Colombia, en el departamento están ubicados los dos distritos mineros más grandes: Nordeste – Bajo Cauca y Puerto Nare, en donde se destacan los Municipios del Bagre, Caucasia, Segovia y Remedios como los de mayor producción, en el 2013 la producción en estos distritos fue de 88.747 kg de oro, como es de esperar al ser el mayor productor se ubica en el primer puesto en consumo de mercurio, con un promedio de 129,22 Toneladas/año que representa el 67% del consumo del país (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) – UNIVERSIDAD DE CORDOBA 2014).





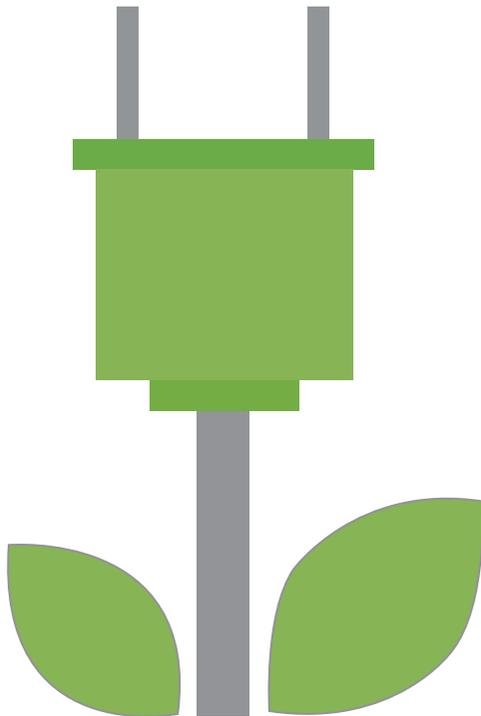
La cantidad de mercurio no recuperado en el 2013 en Antioquia fue de 141.944 kilogramos, (UPME 2014), de este cálculo se excluyen la minería formal, los municipios donde se recupera menos mercurio son el Bagre, Cauca y Segovia. Igualmente, el consumo de agua en los entables mineros es muy alto el volumen de agua que se consume en un mes es de aproximadamente 448.876 m³, igual que con el mercurio los municipios que presentan mayor consumo son el Bagre, Cauca y Segovia. El cálculo de consumo de agua se hace con un módulo de consumo de 0,22 m³/gramo de oro producido (UPME – Universidad de Córdoba 2014).

La carga contaminante se desconoce dado que no hay valores de referencia de carga de SST y DBO₅, pero resultados de DBO encontrados en los entables mineros son en su gran mayoría menores de 30 mg/l, pero las cargas que si son representativas son las de mercurio y Cianuro, uno de los entables monitoreados reporta carga de mercurio de 620 gramos/día y de cianuro en una mina reportó carga de 961,81 gramos día, con concentraciones de 7,84 mg/L de Hg y 3,99 mg/L de cianuro respectivamente, esto indica que las estrategias de mejora deben enfocarse a la eliminación de estos reactivos en la actividad minera. Por lo anterior el manual hace énfasis en la gestión del recurso hídrico con recomendaciones enfocadas al cambio de la recuperación de oro con mercurio por tecnologías sin mercurio, al tratamiento de colas contaminadas con cianuro y al reuso del agua, con la implementación de las medidas se podrá reducir la carga contaminante que vierte la minería y optimizar el uso del agua.

2. ¿La minería sostenible?

El sector minero fue afrontado por primera vez como una de las preocupaciones centrales de los gobiernos en la Cumbre sobre el Desarrollo Sostenible realizada en Johannesburgo en 2002.

Desde una perspectiva básica, el progreso de las civilizaciones ha ido de la mano del uso de los recursos minerales, mediante la incorporación de sus elementos, como fuente de riqueza e insumo para las actividades productivas. Desde la cumbre del desarrollo sostenible (Johannesburgo 2002), se destacó la importancia de emprender acciones enfocadas en el desarrollo de la minería sostenible, acciones tales como:



La minería, los minerales y los metales –en particular– son fundamentales para el desarrollo económico y social de muchos países e indispensables para la vida actual

Geólogo Roberto Mario Sarudiansky:
 “ninguna actividad productiva humana es sostenible por sí misma. Lo que sí existen, son actividades que contribuyen a un Desarrollo Sostenible, la minería es una de ellas”.

¹ Ceresole, Julieta, LA MINERÍA SOSTENIBLE COMO FACTOR DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO

1

•Cooperación entre los estados: Apoyo de tipo financiero – técnico orientado a la capacidad de producción de los países en desarrollo, por parte de los países desarrollados.

2

La transparencia, la participación ciudadana y el desarrollo de prácticas sostenibles en minería (Responsabilidad social empresarial). La sostenibilidad de la minería depende de un uso responsable de los recursos no renovables permitiendo que estos sirvan para el desarrollo socioeconómico genuino, controlando los efectos nocivos sobre el ambiente.

En este sentido, la Minería Sostenible al igual que el Desarrollo Sostenible, implica la relación armónica entre sociedad, economía y medio ambiente. En el contexto del “Desarrollo sostenible” el cual se entiende como un proceso que pretende la transformación productiva para mejorar la calidad de vida, haciendo uso racional del capital humano, natural, físico, financiero y cultural, sin poner en riesgo la satisfacción de las generaciones futuras, en un marco de equidad social, se resaltan los siguientes aspectos de la sostenibilidad de la minería:

3

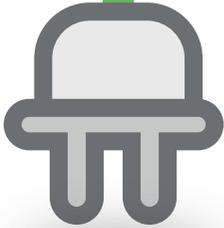
La minería siempre ha sido una actividad nómada: se realiza donde se encuentra un yacimiento, y cuando el yacimiento está explotado se traslada hacia otros lugares. Por lo tanto, su sostenibilidad debe ser evaluada no en un contexto local, sino regional. La historia de la humanidad (con miles de años de explotación minera) no deja la duda, que la actividad minera es una actividad sostenible.

4

¿Quién puede dudar que las futuras generaciones no utilizarán y explotarán metales como el hierro, cobre, zinc, oro, plata, materiales pétreos para la construcción, o minerales no-metálicos para diferentes usos? Tal vez lo harán, explotando yacimientos de menor ley y a mayor costo o en otros yacimientos; pero seguramente lo harán.

5

El oro producido contribuye al poder adquisitivo de la sociedad y así al desarrollo



Las consideraciones anteriores permiten afirmar que la explotación minera al momento actual no pone en riesgo la satisfacción de las generaciones futuras con recursos minerales. Desde este punto de vista la minería puede ser considerada como absolutamente sostenible. Los riesgos más bien se encuentran en otro nivel, el de la gestión ambiental de varios subsectores de la minería, y los consecuentes conflictos relacionados con el uso del suelo y la contaminación ambiental. La que no es sostenible es la degradación del medio ambiente.

La sostenibilidad de la explotación minera, no es un problema de agotamiento de los recursos minerales, sino más bien un problema social, ambiental y político, éste último por los intereses económicos involucrados.

La minería de oro no pone en riesgo la satisfacción de las generaciones futuras con recursos minerales, desde este punto de vista la minería puede ser considerada absolutamente sostenible.

LA QUE NO ES SOSTENIBLE ES LA DEGRADACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Al adoptar una perspectiva global y múltiple en vez de local y monosectorial, se puede afirmar que la minería es una actividad sostenible siempre y cuando se la practique adecuadamente, aplicando tecnologías idóneas, además de reciclar los beneficios en el desarrollo regional y nacional.

Si los beneficios de la minería son efectivamente invertidos en el desarrollo de la sociedad, esta actividad puede garantizar una mejor calidad de vida con el aprovechamiento de recursos geológicos. Las ganancias mineras pueden resultar en una mejor educación y en la ampliación de las oportunidades de desarrollo en distintos ámbitos, lamentablemente esto no sucede en los distritos mineros en Colombia, en donde la inversión es muy baja y al no haber ésta se potencializa la degradación del medio ambiente.

El principio

del desarrollo sostenible aplicado al sector minero debe diferenciarse claramente del aplicado a los recursos renovables, en el sector minero se debe considerar todo el ciclo del proceso minero, desde la exploración hasta el cierre y rehabilitación del espacio afectado por las actividades mineras, pasando por las etapas de extracción, producción, refinado y comercialización de productos minerales y metales, uso y posterior reciclado del metal, realizando esta actividad de la forma más eficiente posible y manteniendo o mejorando la calidad del medio ambiente para las generaciones futuras. Para alcanzar la meta de una minería sostenible, en primer lugar, el sector minero, debe ganarse el reconocimiento de la comunidad y de las Autoridades en aquellos lugares donde desea invertir, tiene que integrar criterios operacionales que sean uniformes en las distintas etapas del proceso, y que se traducen actualmente en estándares ambientales internacionales del tipo ISO 14.000 u otros sistemas de gestión ambiental adoptados voluntariamente por las empresas, es muy importante que los mineros adopten compromisos sociales y ambientales voluntarios, autorregulándose si es necesario, porque ya se las está exigiendo que trabajen con mentalidad de buenos ciudadanos corporativos y que apliquen, al menos, sistemas de gestión ambiental. Un estándar de gestión ambiental voluntario es la CERTIFICACIÓN ORO VERDE, proyecto que se adelanta con los mineros artesanales del Chocó, los objetivos del programa son:

Enfoque hacia el desarrollo minero sostenible

- Fortalecimiento y sostenibilidad de las comunidades mineras afroco lombianas.
- Conservación y restauración de ecosistemas del Chocó Biogeográfico.
- Concientización en consumidores (nacionales e internacionales).
- Incentivos económicos para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Los objetivos de este programa pueden ser aplicados a los mineros artesanales que operan actualmente en los distritos mineros del departamento de Antioquia, impulsando así una minería sostenible, los criterios de certificación de ORO VERDE son:

- No debe haber destrucción ecológica masiva que genere cambios al ecosistema que impidan la posibilidad de restauración.
- No deben utilizarse químicos como mercurio, cianuro u otros contaminantes tóxicos, en los procesos de extracción y refinación.
- Las áreas explotadas deben obtener estabilidad ecológica en los siguientes (3) años.
- La capa orgánica del suelo removida debe ser restablecida con el desarrollo de la explotación.
- El material de grava estéril y los pozos producidos por la explotación minera no pueden exceder la capacidad de rehabilitación del ecosistema local.
- La carga de sedimentos aportados a las quebradas, ríos, lagos y otros cuerpos de agua debe ser controlada en cantidad y frecuencia de tal forma que el ecosistema acuático nativo no sea deteriorado.
- Las actividades mineras realizadas por los explotadores deben tener el consentimiento de los Consejos comunitarios.
- La declaración del origen del oro producido debe hacerse a nombre del municipio correspondiente.
- Se establecerán en el proceso indicadores de biodiversidad de ecosistemas intervenidos.
- En áreas boscosas no se intervendrán más del 10% de una (1) hectárea durante un periodo de dos (2) años.
- Dar cumplimiento a la normatividad nacional, regional y local.

Por último, es importante resaltar que, entre todos los recursos naturales, los minerales son considerados como la base de los recursos materiales y energéticos que sustentan la civilización moderna y la existencia del hombre. No existe la posibilidad de pensar en calidad de vida ni en desarrollo económico sin la amplia utilización de recursos minerales (minería).

Cada vez más evidente que, conforme avanza la sociedad, la minería deberá asumir el reto de operar de otra forma.



3. Marco Jurídico

La legislación colombiana en el área minero-ambiental incluye dos marcos jurídicos el minero y el ambiental, dichos marcos jurídicos en el 2015 se compilan en el decreto único reglamentario 1073 de 2015 del sector administrativo de minas y energía, la Ley 685 de 2001 - Código minero y en el decreto 1076 del 2015 del sector ambiente y desarrollo sostenible Respectivamente. En la Figura 3.1 se muestra la estructura del marco legal minero y en la Tabla 3.1 se describe la normatividad ambiental que le aplica este sector.

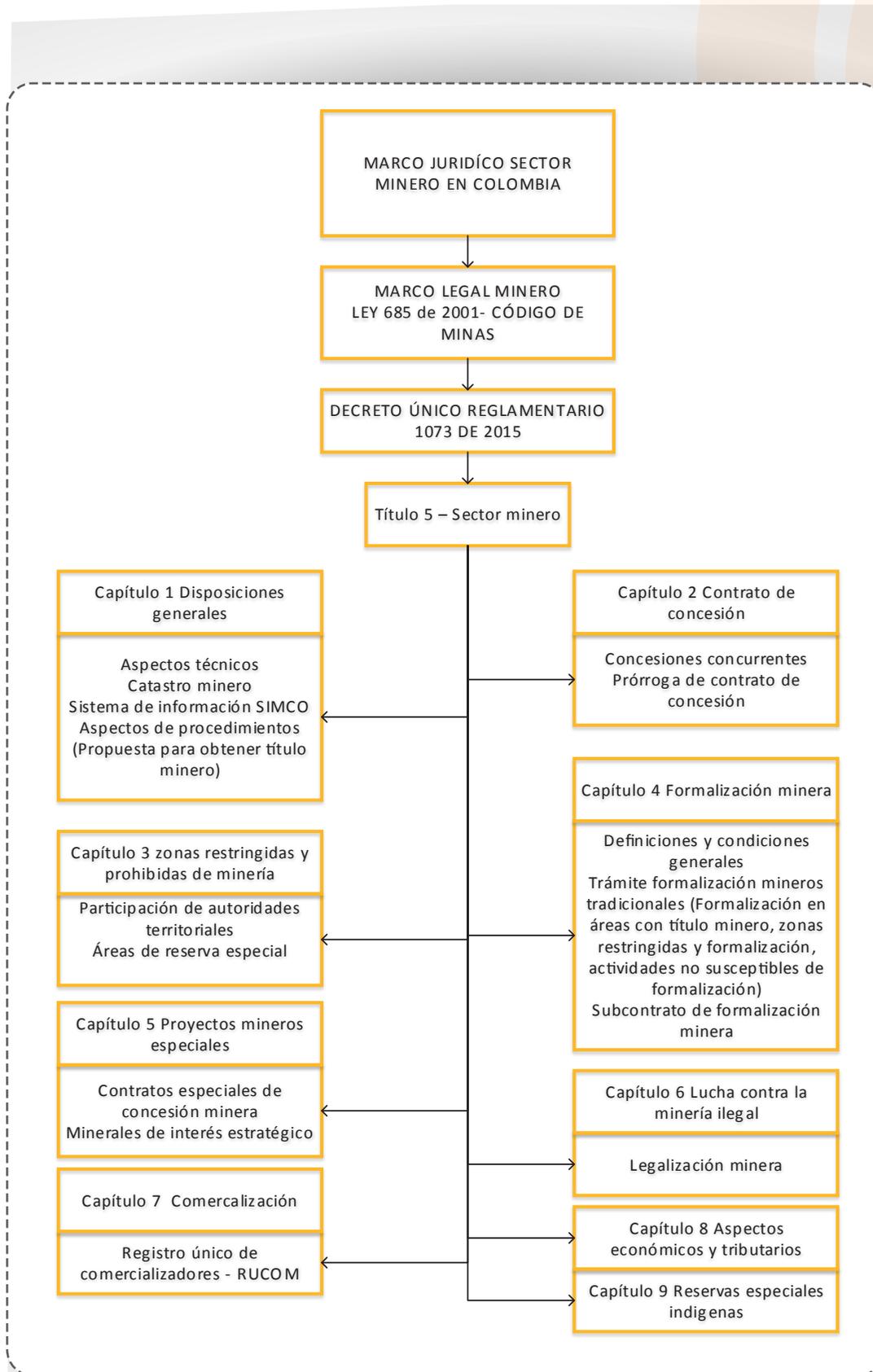


Figura 3.1 Marco legal minero

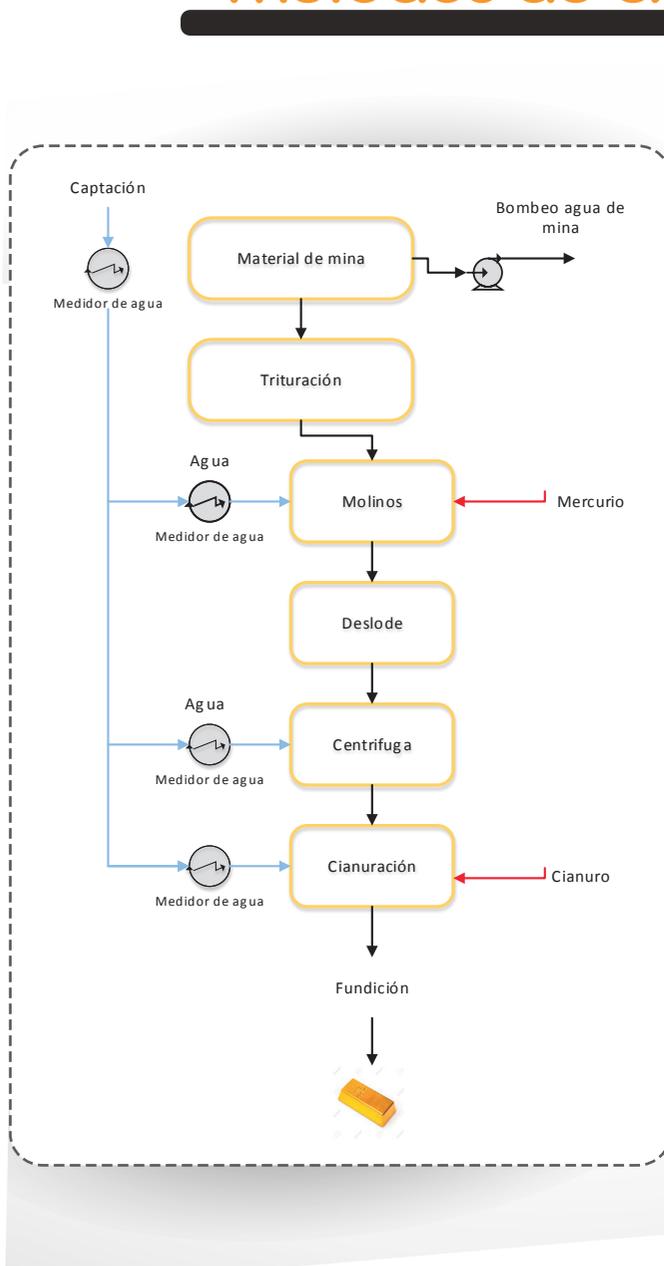
	NORMA	OBJETO	NORMAS DEROGADAS Y MODIFICADAS
NORMAS GENERALES, LICENCIAS AMBIENTALES Y PERMISOS	Decreto 2811 de 1974	Reglamenta el uso de los recursos Naturales Renovables	
	Decreto 1076 - Capítulo 3, Licencias ambientales.	Se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales" Explotación minera: En lo que respecta a la definición de explotación minera se acogerá lo dispuesto en la Ley 685 de 2001, o la que la modifique, sustituya o derogue.	Deroga el decreto 2041 de octubre de 2014
	Decreto 1076, capítulo 11 Departamento de gestión ambiental de las empresas a nivel industrial	Reglamenta el departamento de gestión ambiental de las empresas a nivel industrial.	Deroga el decreto 1299 de 2008.
	Ley 1658 15 de Julio de 2013	En la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones".	
USOS DEL AGUA	Decreto 1076 de 2015 CAPÍTULO 4. Registro de usuarios del recurso hídrico	Establece todo lo relativo a permiso para aprovechamiento o concesión de aguas, normas específicas para los diferentes usos dados al recurso hídrico.	Deroga el decreto 1541 de 1978. Igualmente se deroga el decreto 303 de 2012 que reglamento parcialmente el artículo 64 del Decreto - Ley 2811 de 1974., en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico.
	Decreto 1076 de 2015 CAPÍTULO 6 Tasas por utilización del agua.	Por el cual se reglamentó el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.	Deroga el decreto 155 de 2004
	Ley 373 de 1997	Fija obligaciones sobre ahorro y uso eficiente de agua a quienes administran y/o usan el recurso hídrico.	

Tabla 3.1 Marco legal ambiental

VERTIMIENTOS	Decreto 1076 de 2015: CAPITULO 3 ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	Deroga el decreto 3930 de 2010. Deroga partes del decreto 1594 de 1984 que no había sido derogados por el 3930.
	Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones".	Deroga el Decreto 2667 de 2012
	Decreto 1076 de 2015: CAPÍTULO 7 tasas retributivas por vertimientos puntuales al agua.	Por el cual se reglamentó la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.	
RESIDUOS SÓLIDOS	Decreto 605 del 27 de marzo de 1996	Por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.	
	Decreto 1713 de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	
	Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.	
		Reglamenta en materia ambiental lo referente a desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.	
	Decreto 1076 de 2015: Título 6 - RESIDUOS PELIGROSOS, Capítulos 1 y 2, Anexos 1 y 2 y 3.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	Deroga el Decreto 4741 de 2005

USO DEL SUELO	Ley 388 de 1997	Reglamenta mecanismos que permiten al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial.	
---------------	-----------------	--	--

3. Métodos de extracción



El circuito del proceso de extracción de oro actual se muestra en la Figura 4.1.

Figura 4.1
Circuito de extracción de oro en los entables mineros de Antioquia

5.

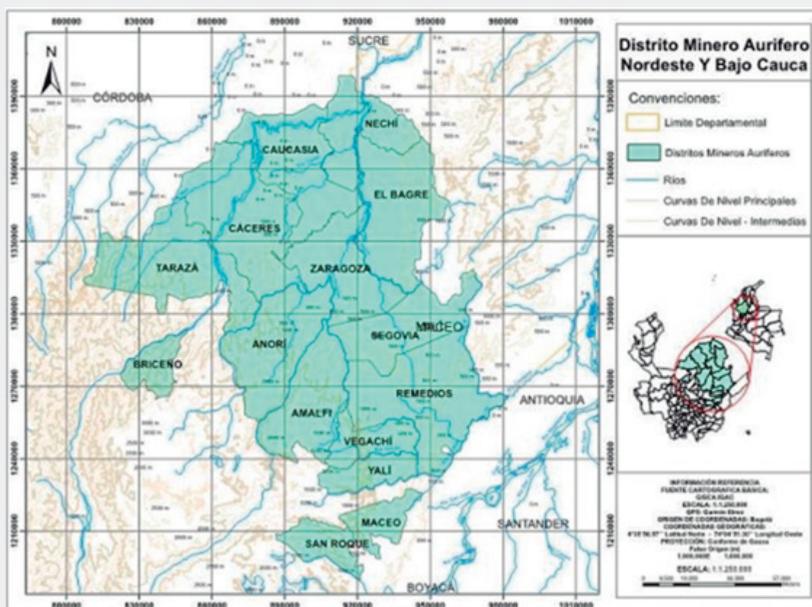


La minería de oro en el departamento de Antioquia

Producción

La producción de oro en el Departamento de Antioquia se concentra en los distritos mineros de Frontino (Jurisdicción de CORPOURABA), distrito minero del Nordeste y Bajo Cauca (Jurisdicción de CORANTIOQUIA) y el distrito minero Puerto Nare (en jurisdicción de CORANTIOQUIA, los Municipios de Puerto Berrío y Puerto Nare), a continuación, se describe cada uno y la producción de oro en cada distrito.

Distrito minero Nordeste y Bajo Cauca



Ubicado en el occidente del país y al nordeste del departamento de Antioquia. Se caracteriza por ser el principal productor de oro del país (Ver Figura 5.1).

Figura 5.1 Ubicación del distrito minero aurífero Nordeste y Bajo Cauca

Fuente: ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Universidad de Córdoba - UPME



El distrito está conformado por los municipios: Amalfi, Anorí, Briceño, Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Maceo, Remedios, San Roque, Segovia, Tarazá, Vegachí, Yalí y Zaragoza.

Las vías que conectan el distrito con el país son: La troncal del Nordeste, la troncal de la Paz y el cordón vial del Bajo Cauca, que permite el acceso a los municipios de Zaragoza, Bagre, Caucasia, Taraza, Cáceres y Nechí.

El distrito cuenta con vías de acceso fluvial, en los puertos ubicados en el río Cauca y el río Porce; el primero conecta los municipios de Caucasia y Nechí, mientras que el segundo con los municipios de Bagre y Zaragoza. También, se cuenta con tres aeropuertos pequeños ubicados en Caucasia, Remedios y Amalfi.

Actividades Minero Metalúrgicas

Los dos tipos de depósitos que existen en el distrito, son explotados dependiendo de si es por parte de mineros pequeños o por empresas. En general los depósitos filoneanos son explotados por métodos subterráneos.

Los depósitos ubicados en los municipios de Segovia y Remedios son explotados por pequeños empresarios por el método de guías. De acuerdo a las condiciones económicas de los mineros utilizan, desde taladros manuales hasta perforadoras neumáticas o eléctricas, cargue manual, tracción humana de las carretillas o coches y malacates, en los casos que sea una inclinada.

Los pequeños productores de oro en la zona del valle del río Nechí, utilizan motobombas de gasolina y realizan la recuperación del mineral aurífero con bateas o a partir de procesos de amalgamación, en pequeñas plantas artesanales llamadas Entables. En los municipios de Caucasia, Cáceres y Tarazá, los depósitos son explotados por pequeñas empresas y personas naturales con menor grado de organización.

Producción de Oro

La producción promedio/año del 2010 al 2013 en el distrito minero del Nordeste – Bajo Cauca fue de 19.793 Kg, el mayor productor es el Bagre (22,4%) seguido de los municipios de Tarazá (18,5%), Caucasia y Segovia con el 14,3% y 13,8% respectivamente (Tabla 5.1).

Tabla 5.1
Producción de oro distrito minero Nordeste – Bajo Cauca

Gramos de Oro						
Nordeste y bajo cauca	2010	2011	2012	2013	Promedio	% Participación
Amalfi	235.215,01	184.674,83	362.227,51	295.212,66	269.332,50	1,4%
Anorí	254.223,77	150.119,02	97.161,20	273.117,83	193.655,46	1,0%
Briceño	17.651,24	63.676,83	74.415,52	2.922,16	39.666,44	0,2%
Cáceres	1.160.968,58	261.816,61	843.556,40	904.196,50	792.634,52	4,0%
Caucasia	763.174,30	1.231.921,77	3.628.812,96	5.657.161,38	2.820.267,60	14,3%
El Bagre	2.413.563,82	2.997.045,86	5.548.356,27	6.774.193,67	4.433.289,91	22,4%
Nechí	2.314.825,78	1.618.891,82	514.298,42	543.059,01	1.247.768,76	6,3%
Maceo	1.672,00	5.100,61	9.036,85	1.232,69	4.260,54	0,0%
Remedios	933.415,90	1.329.401,94	1.994.515,52	1.847.385,57	1.526.179,73	7,7%
San Roque	178.101,24	108.804,32	71.479,12	13.680,40	93.016,27	0,5%
Segovia	1.707.979,75	1.409.732,79	2.619.803,16	5.150.498,57	2.722.003,57	13,8%
Tarazá	5.622.609,16	4.811.966,97	2.847.181,93	1.397.024,37	3.669.695,61	18,5%
Vegachí	832.927,71	299.891,41	1.065.356,37	272.636,01	617.702,88	3,1%
Yalí	60.005,69	29.396,04	15.641,26	1.728,49	26.692,87	0,1%
Zaragoza	844.960,48	1.143.259,54	2.081.285,84	1.241.054,91	1.327.640,19	6,7%

Fuente: ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Universidad de Córdoba – UPME

Distrito minero de Puerto Nare

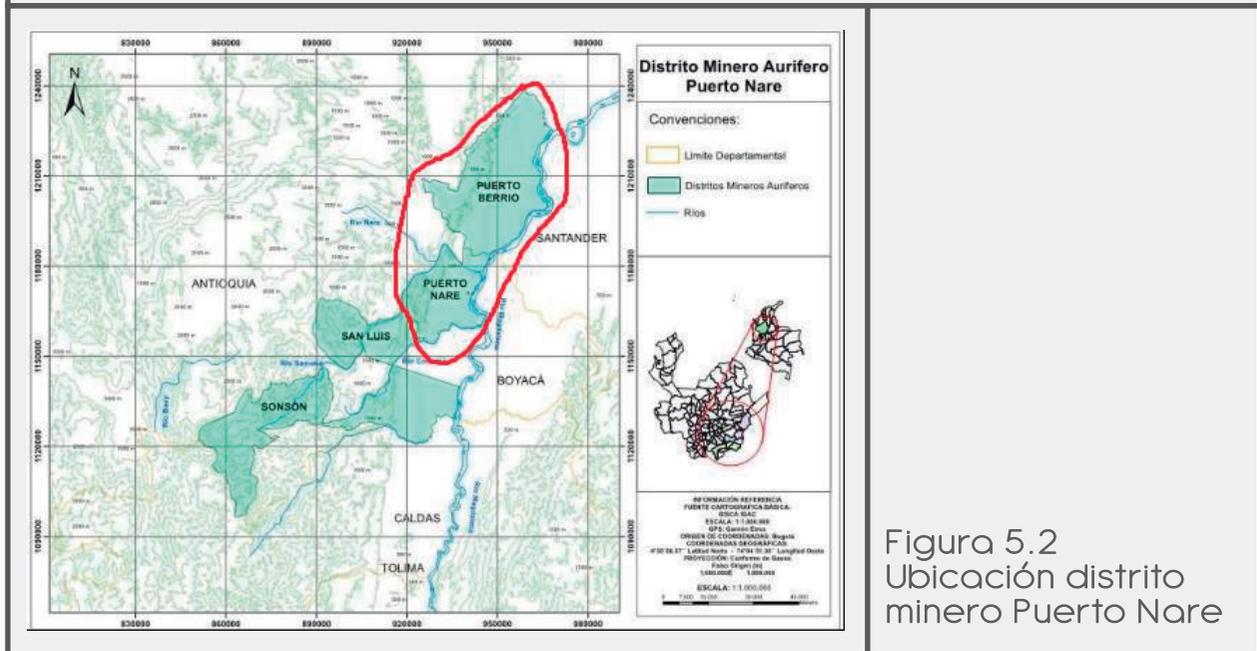


Figura 5.2
Ubicación distrito
minero Puerto Nare

Fuente: ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Universidad de Córdoba - UPME

El distrito comprende dos zonas, una parte se encuentra en el flanco oriental de la cordillera central y en el sector medio del Valle del río Magdalena, en el suroeste del departamento de Antioquia. Los municipios que lo conforman son: Puerto Berrio, Puerto Nare, San Luis y Sonsón. El sistema hidrográfico lo componen los ríos: Magdalena, Samaná, Cocorná, Nus, Nare, Porce y Buey. A la jurisdicción de CORANTIOQUIA pertenecen los Municipios de Puerto Berrio y Puerto Nare. Ver Figura 5.2

Para acceder a los municipios que componen el distrito se utilizan las siguientes vías de acceso: carretera Medellín - Puerto Berrio, Carretera Medellín - Bogotá (sector puerto triunfo), el corredor del río Magdalena donde se tienen la carretera Puerto Salgar - San Alberto. Además, se puede acceder por vía aérea a través del Aeropuerto de Puerto Berrio.

Producción de Oro

La producción promedio de oro/año del 2010 al 2013 fue de 146,94 Kg, de los cuales el 83,97% (123,4 Kg) se produce en Puerto Berrio, en jurisdicción de CORANTIOQUIA

Gramos de Oro						
Puerto Nare	2010	2011	2012	2013	Promedio	% Participación
Puerto Berrio	8.750,60	10.186,72	412.430,86	62.223,27	123.397,86	83,97%
Puerto Nare	7.717,31	16.867,44	4.186,56	2.149,34	7.730,16	0,03%
San Luis	1.680,13	1.898,60	9.001,93	1.838,35	3.604,75	0,01%
Sansón	19.380,37	13.971,03	12.424,25	3.078,20	12.213,46	0,05%

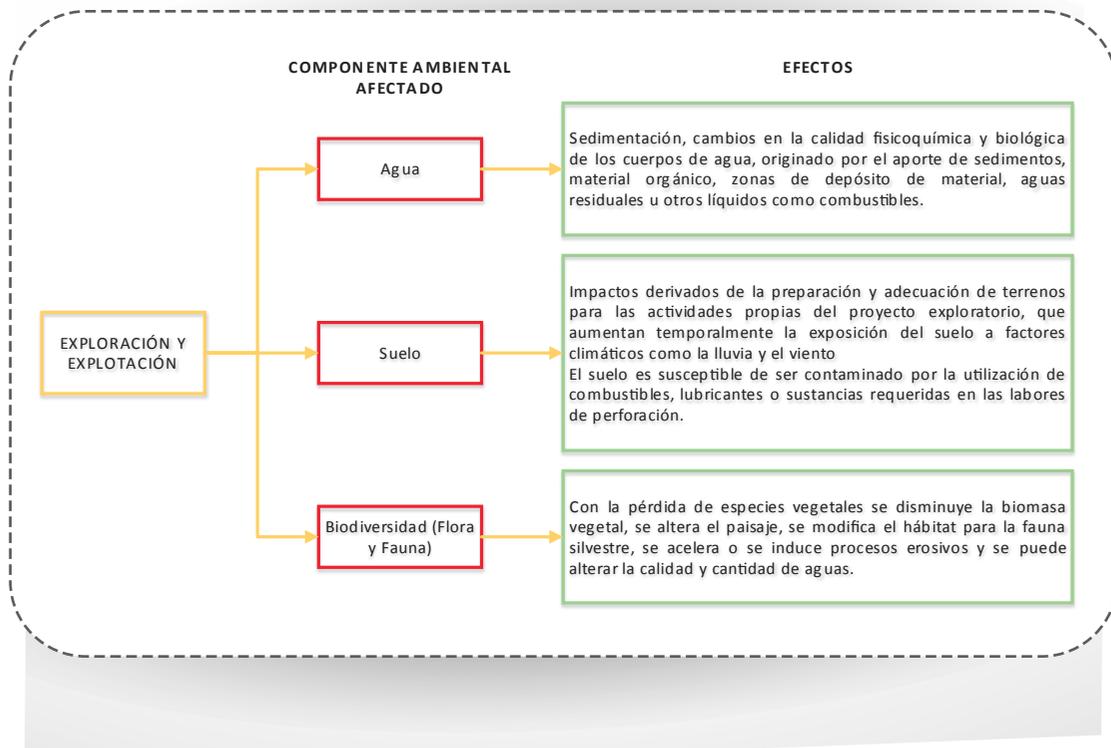
Fuente: estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro Universidad de Córdoba – UPME

Actividades Minero Metalúrgicos

El distrito se caracteriza por ser una zona de explotación de caliza para la producción de cementos. Sin embargo, existen dos explotaciones mineras de oro de veta que extraen el material de interés por métodos subterráneos (CORANTIOQUIA, 2008). La minería de aluvión es realizada por el método de terrazas con maquinaria como retroexcavadoras y volquetas.

Impactos de Minería de Oro en Antioquia

La minería de oro consta de cuatro etapas: exploración, explotación, transformación y beneficio, cada una de las etapas genera impactos ambientales, en la Figura 5.3 se muestran los efectos al agua, suelo y biodiversidad éstos son los que en última instancia perjudica la disponibilidad de recurso hídrico que es el objeto principal de este manual.



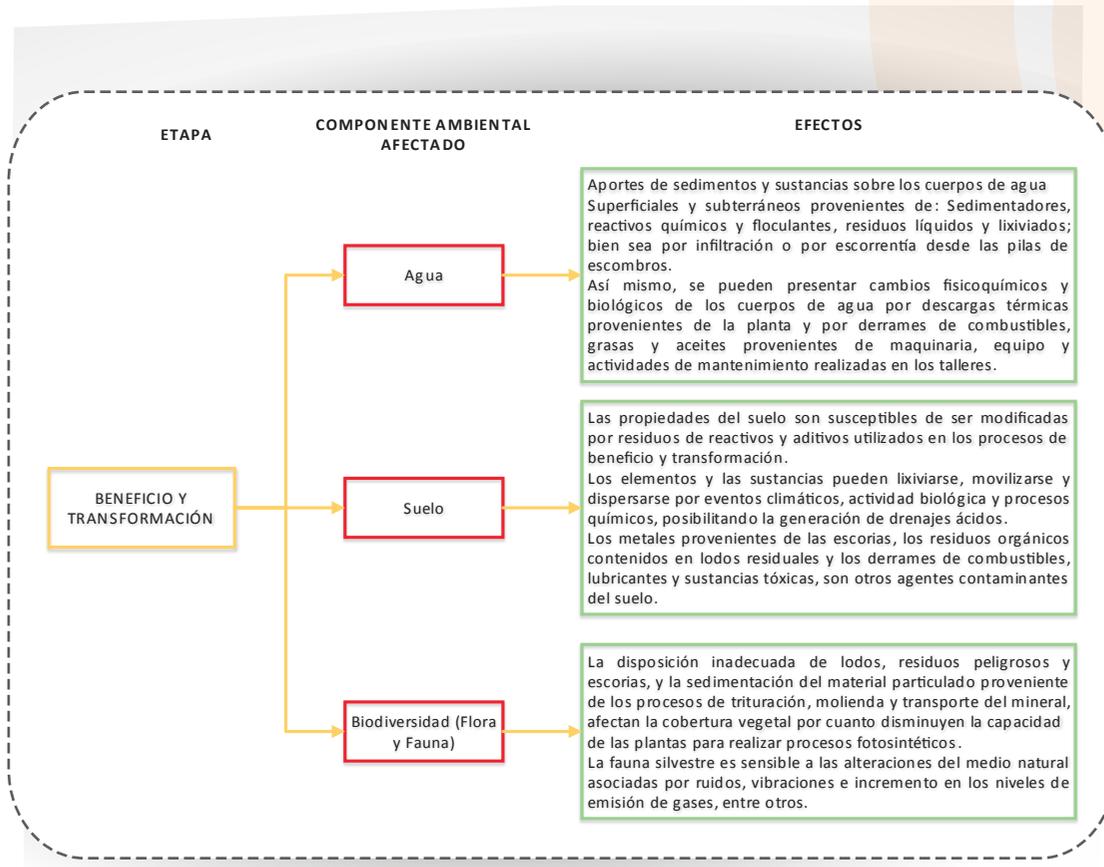


Figura 5.3
Impactos ambientales de las etapas de la minería en los componentes agua, suelo y biodiversidad

Con las visitas técnicas realizadas en el marco del convenio de asociación N° 1506-93-CORANTIOQUIA - CNPML, se verifica que en la actividad minera en los distritos mineros de Antioquia se consume mercurio y cianuro, igual se observa un alto deterioro del suelo, no se registran los consumos de agua, pero todos los entables y minas tienen altos consumos de agua.

Confirmado el uso de mercurio y cianuro, teniendo en cuenta el convenio de Minamata y la Ley 1658 de 2013, a continuación, se evalúa la magnitud del impacto en el recurso hídrico por el consumo y el vertimiento de aguas contaminadas a las corrientes de agua.

Consumos de Agua

En el 2014 la UPME en convenio con la Universidad Industrial de Santander adelantó el estudio ESTIMACIÓN DE ÁREAS INTERVENIDAS, CONSUMO DE AGUA, ENERGÍA Y COSTOS DE PRODUCCIÓN EN LA ACTIVIDAD MINERA, se estimó el consumo de agua en todo el proceso minero (explotación, en algunos casos para beneficio y transformación, también se consideró como agua utilizada el agua que es evacuada de la mina y que es vertida a alguna fuente de agua superficial o bien podría ser utilizada en la planta de beneficio, con base en estas hipótesis para la minería de oro el módulo de agua es de:

$$\text{Módulo de consumo} = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{gramo de oro}}$$

Con este módulo de consumo y la producción de oro en los distritos mineros localizados en la jurisdicción de CORANTIOQUIA el consumo promedio de agua entre el 2010 y el 2013 fue de 4.352.437 m³ y en el distrito Puerto Berrio- Puerto Nare fue de 28.848 m³.

Año	Nordeste - Bajo Cauca		Puerto Berrio-Puerto Nare	
	Producción gramos/año	Consumo agua [m ³ /año]	Producción gramos/año	Consumo agua [m ³ /año]
2010	17.341.294,43	3.815.084	16.467,91	3.622
2011	15.645.700,36	3.442.054	27.054,16	5.951
2012	21.773.128,33	4.790.088	416.617,42	91.655
2013	24.375.104,22	5.362.522	64.372,61	14.161
Promedio m³/año		4.352.437,50		28.848,17

Tabla 5.3
Consumo promedio de agua en los distritos mineros en jurisdicción de CORANTIOQUIA

En el 2013 el consumo de agua en los Municipios de la jurisdicción de CORANTIOQUIA productores de oro fue de 5.362.522,23 m³, los mayores consumidores son en su orden el Bagre, Cauca y Segovia con más del 20%, ver la figura 5.4.

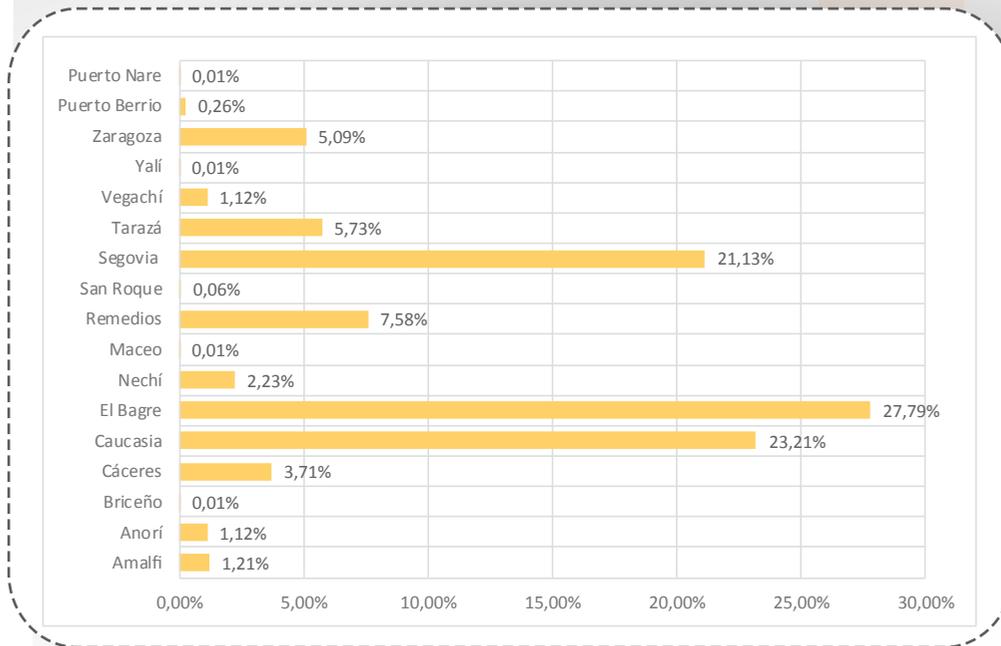


Figura 5.4 Distribución del consumo de agua por Municipio

La presión sobre el recurso hídrico en la cuenca del Río Nechí (El Bagre, Segovia) y en el río Cauca es muy alta, esto indica la importancia de crear estrategias para la reducción de los consumos en la minería.



Consumo de Mercurio

El consumo de mercurio (Hg) depende del método de producción del oro, en Antioquia la producción es 27% y 73% de aluvión.²

En el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 – 35 g Hg/g de oro recuperado cuando se utilizan canalones, de 7 – 10 g Hg/g de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 – 30 g Hg/g de oro recuperado con molinos de cocos, como ejemplo para mostrar la variabilidad que se presenta en el uso de mercurio. Se resalta que en las visitas de reconocimiento a entables en Segovia y Remedios se verificó que el método más común de recuperación de oro es con molinos de cocos, siendo este el método de mayor consumo de mercurio.

El beneficio de oro para el caso de minería de aluvión a escala pequeña y artesanal en circuito abierto, las cantidades de mercurio utilizadas son en algunos casos del orden de 20,0 g Hg/g de oro recuperado. La minería aluvial que utiliza retroexcavadoras y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes, utiliza en promedio 11,8 g Hg/g de oro recuperado; en el caso de los barequeros que utilizan bateas, el uso de mercurio es del orden de 8,7 g Hg/g de oro recuperado.

En el estudio de la “Cadena del Mercurio”, para estimar las cantidades de mercurio utilizadas en los procesos de beneficio de oro se asumieron como valores de referencia los que se muestran en la Tabla 5.4, a partir de estos valores de referencia se estimó el consumo de mercurio en Toneladas/año por departamento, el resultado indica que Antioquia consumo 129,22 Toneladas/año que representan el 67% de consumo de mercurio de Colombia (Ver Figura 5.5 y Tabla 5.5).

Tabla 5.4
Cantidades de mercurio utilizadas de acuerdo al tipo de establecimiento de beneficio mineral

Tipo de establecimiento de beneficio mineral	Usos (g Hg/g Au)	Descargas (g Hg/g Au)
Minería de Filón [1]	36,04	12,41
Minería Retroexcavadoras [2]	11,84	4,14
Minidragas [3]	3,28	1,15
Mineros de batea (Barequeros)	8,33	2,91
Elevadoras [4]	11,69	4,09
Dragones modificados [5]	3,43	2,62
Promedio	12,44	4,55

Fuente: UPME – Universidad de Córdoba. Cadena del Mercurio en Colombia

²UPME – Universidad de Córdoba, CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA pág. 56

- (1): Molinos amalgamadores, promedios de la información recibida en las diferentes regiones. ONUDI realizó en Segovia un balance másico de pérdidas de mercurio: 25 g.
- (2): Placas amalgamadoras y/o Amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes
- (3): Concentración de oro en las mini-dragas se realiza en canales y amalgamación en pequeños
- (5): Placas amalgamadoras y/o Amalgamación de concentrados en pequeños canalones, utilizan retroexcavadoras para alimentar mineral a un sistema de clasificación por amañes

Departamento	Ton/año	% de participación
Antioquia	129,22	67%
Chocó	24,29	13%
Cauca	16,85	9%
Bolívar	15,71	8%
Nariño	5,03	3%
Córdoba	1,96	1%

Tabla 5.5 Consumo mercurio por de departamento

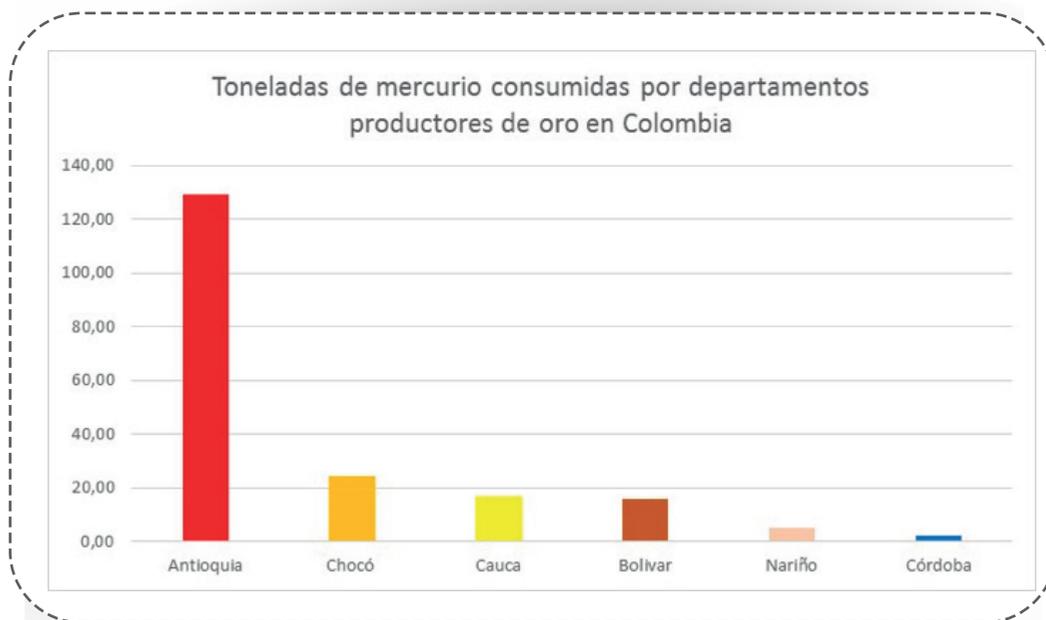


Figura 5.5 Consumo de mercurio/departamento por año

No todo el mercurio consumido se recupera, para evaluar la cantidad de mercurio no recuperado se hizo el balance de masa para el Departamento de Antioquia³, el resultado en promedio la relación de mercurio no recuperado es:

$$\frac{\text{gramos de Hg}}{\text{gramos de oro}}$$

³ UPME UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA

Ahora bien, las descargas de mercurio provienen principalmente de la minería artesanal y de la minería informal, para calcular la cantidad de mercurio no recuperado por este tipo de minería se restó de la producción total de oro la cantidad producida por la minería legal (se estima que el 20% es producción legal)⁴, debido a que esta no usa mercurio para el beneficio. La producción de oro en el Departamento de Antioquia, según el SIMCO, y la cantidad promedio de mercurio no recuperado correspondiente a los años 2010 a 2013, se muestra en la Tabla 5.6, la cual se proyectó teniendo en cuenta la relación hallada en este estudio para Antioquia (7,26:1).

Año	Producción de Oro en minería de pequeña escala (Kg)	Mercurio promedio no recuperado (Kg)
2010	13.664,47	99.204
2011	13.415,47	97.396
2012	21.307,79	154.694
2013	14.127,24	102.563
Total		113.464

Tabla 5.6
Mercurio no recuperado por la minería artesanal e informal en Antioquia

Los anteriores resultados muestran que el impacto por el uso del mercurio es muy alto en los Municipios de Antioquia, a partir de la producción de oro por Municipio en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA y asumiendo que el 80% de la producción es minería artesanal e informal, los municipios con mayor cantidad de mercurio no recuperado, para el año 2013 son El Bague, Caucasia y Segovia en su orden (ver Figura 5.6).

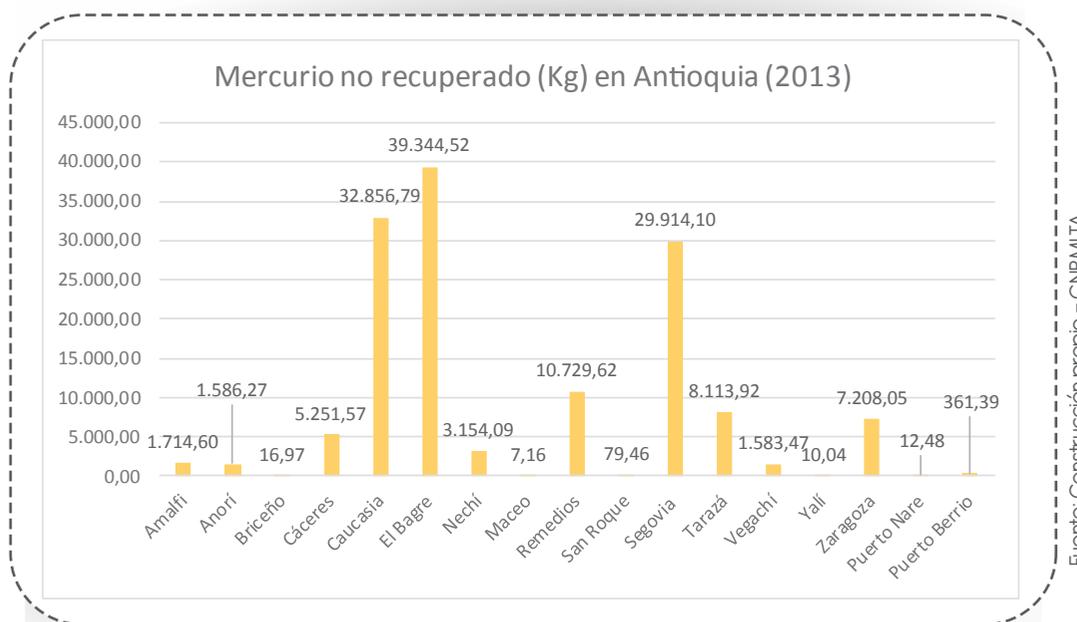


Figura 5.6
Mercurio no recuperado en los municipios distritos mineros jurisdicción de CORANTIOQUIA

⁴ Cálculo CNPMLTA a partir de los datos del estudio de la cadena del mercurio.

Consumo de cianuro y mercurio en los municipios de segovia y remedios

En el 2011 CORANTIOQUIA en convenio con TEKNIDATA CONSULTORES realizó el diagnóstico de las plantas de beneficio de oro en los Municipios de Segovia y Remedios, los Municipios donde se concentra la mayor producción de oro en Antioquia.

En este diagnóstico se encontró, al cuantificar el consumo de cianuro, que en 11 entabes visitados se consumen en promedio 308 kg de Cianuro para cianurar un promedio de 84 Toneladas/mes de material, lo que equivale a un consumo per cápita de 3,7 Kg de cianuro/Ton de material cianurado, y un consumo de 0,4 kg de mercurio/tonelada de material amalgamado, ver Tabla 5.7 Consumo de Mercurio y Cianuro en los Municipios de Segovia y Remedios

Planta de Beneficio de oro	Capacidad	Mineral	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mineral	Cianuro	H ₂ O ₂ Usado	Zn Usado	Oro
	Ton/mes	Amalgamado	Usado	Recuperado	Perdido	Cianurado	Usado	Kg/mes	Kg/m	Producido
		Ton/mes	Kg/mes	Kg/mes	Kg/mes	Ton/mes	Kg/mes	Kg/mes	Kg/m	Kg/m
PomoPinal	400	23	16	0	16	55	75	144	20	0,6
Seg. M. Gold	350	50	34,5	4	30,5	-----	-----	-----	-----	3
El Cogote	180	125	12	2	10	140	250	72	12	2,5
Poma Rosa	360	0	0	0	0	136	200	70	50	0,8
Valencia II	300	0	0	0	0	46	100	144	10	1
Palmichala	20	20	12	6	6	80	100	52,5	10	5
Asomarmajito	250	40	10	4,5	5,5	63	100	122	6	3
Escalantes	30	9	2	1,33	0,7	40	50	72	70	--
Valencia Cor.	80	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--
La Cecilia	480	-----	-----	-----	-----	-----	30	12	-----	2,5
Las Aves	300	20	10	0	10	100	400	72	50	...
San Nicolás	450	40	24	4	20	100	1500	72	150	--
Total	3200	327	121	21	99	760	2775	821	378	----
Promedio	267	41	15	2	10	84	308	91	42	--
Kg/Tonelada de material			0,4				3,7			

Fuente: Unión Temporal HS&E – Teknidata, Trabajo de Campo septiembre 2011

6.

Opciones de mejora

en las
actividades
minerías



Es una realidad que se debe eliminar el mercurio en los procesos de recuperación de oro y que en esta línea vienen trabajando a través investigaciones con las Universidades CORANTIOQUIA y la Gobernación de Antioquia, es así como con EL Instituto de minerales - CIMEX de la Universidad Nacional sede Medellín se desarrollaron métodos alternativos al mercurio para la extracción del oro libre.

Durante el desarrollo de este proyecto se dictaron talleres de sensibilización sobre el uso del mercurio en los procesos de extracción de oro y sobre el uso de las tecnologías limpias, teniendo en cuenta los avances en la implementación de las tecnologías⁵ de recuperación de oro sin mercurio; el presente manual se enfoca en tecnologías para minimizar el impacto ambiental del manejo del cianuro y a los re-usos del agua con el objeto de obtener reducciones importantes en el consumo de éste líquido.

Recomendaciones generales en la gestión del agua

Instalar macro medidores de agua que permitan llevar un registro del agua que se extrae de los socavones de la mina, además del consumo de agua en los procesos de molienda y cianuración.

Hacer recolección y aprovechamiento de aguas lluvias mediante la instalación de canales en los tejados de la empresa, dirigiéndolos a un tanque de almacenamiento y reutilizarlos en los procesos.

⁵ CIMEX - Universidad Nacional de Colombia - Medellín, CORANTIOQUIA, Gobernación de Antioquia - TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN UNIDADES MINERAS.

Dictar capacitaciones a los operarios en cuanto a la importancia del recurso hídrico y formas de ahorro del agua, por ejemplo, cerrar la llave del lavamanos cuando se estén enjabonando las manos, informar de cualquier fuga al administrador o área de mantenimiento, cerrar las llaves cuando no se esté usando el agua. Ahorro estimado del 40%.

Corregir las fugas que se presenten en los diferentes tomas de agua como mangueras tan pronto como se detecten. Estas fugas generalmente se deben a empaques desgastados y son de fácil reparación. Reducción estimada en el consumo de 40%.

Instalar en las mangueras de la empresa, pistolas que permitan controlar el flujo, evitar desperdicios cuando no se esté usando y generar presión para hacer más eficiente el uso del agua.

Las actividades de los entables no son continuas o diarias, se recomienda llevar un registro de las actividades como purga de las aguas de cianuración y uso del hidroseparador, donde se registre la fecha, duración de la actividad, uso de insumos químicos, material que entra al proceso (Kg/día), ver metodología en módulos de consumo (Anexo 3), los registros de información.

Revisar las tecnologías actuales para el tratamiento de efluentes líquidos y evaluar sistemas para optimizar el tratamiento, para esta evaluación en este capítulo se presentan tecnologías viables para la optimización de las PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) además del uso posterior del agua.

Recomendaciones generales en el proceso de beneficio

El beneficio del mineral se hace de tres formas:

– Sin amalgamación y sin cianuración:

Esta práctica es la ideal, se debe iniciar un plan de reconversión a tecnologías sin cianuro y sin mercurio, la técnica de recuperación por métodos de flotación está siendo investigada por el CIMEX – Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, CORANTIOQUIA y la Gobernación de Antioquia.

- Con amalgamación y sin cianuración:

El proceso de amalgamación debe ser suprimido de las unidades mineras, la Ley 1658 de 2013 da un periodo de 10 años contados a partir del 2013 para que se deje de usar el mercurio en las actividades productivas en el país, aquí aplica empezar a usar la técnica de recuperación sin mercurio propuesta por la Universidad Nacional y otras tecnologías que se describirán más adelante en este manual

- Con amalgamación y con cianuración:

Esta tecnología debe ser suprimida en todas las unidades mineras. En conclusión, las unidades mineras deben hacer un cambio de tecnología para cumplir con la legislación actual y mejorar la imagen de la minería aplicando nuevas tecnologías, el cambio que se propone en periodo de reconversión total en un circuito de producción sin amalgamación y con cianuración, (CIMEX), en este aspecto este documento presenta alternativas para eliminar el cianuro y recircular las soluciones pobres de cianuro, estas tecnologías se describen más adelante en este manual.



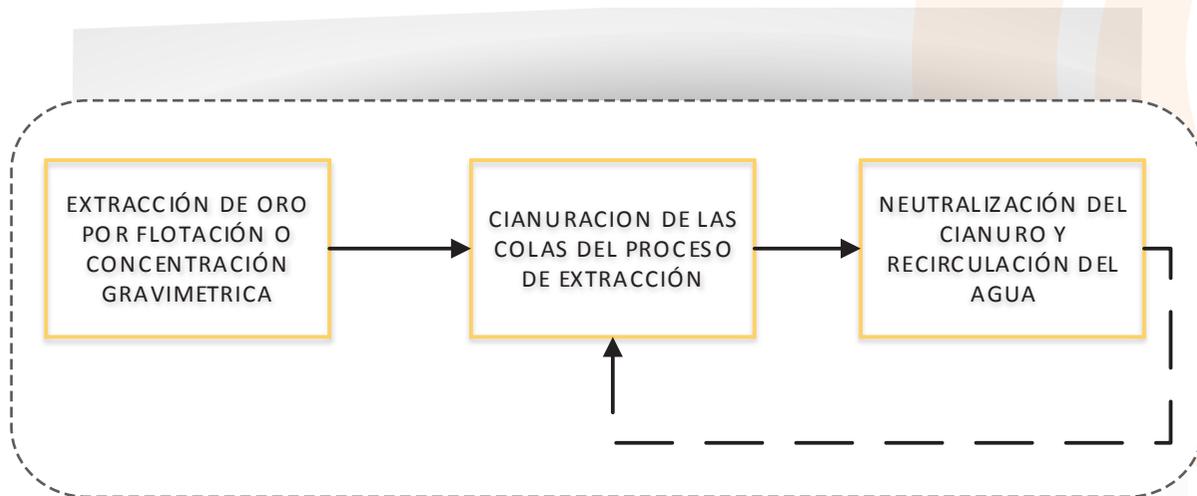


Figura 6.1
Circuito de producción sin amalgamación con cianuración de colas

Recuperación de oro por concentración gravimétrica y cianuración

Esta técnica tiene tres bases:

- Una molienda adecuada, menos fina que para cianuración directa, de acuerdo a las características del material (resultando en enormes ahorros de costos).
- Utilización de procesos gravimétricos eficientes (generalmente espirales y/o concentradores centrífugos) para producir un preconcentrado.
- Una molienda fina del preconcentrado (normalmente 10-20% del material bruto) para luego cianurarlo por agitación (que resulta en un ahorro alto de costos para reactivos como cianuro, cal, etc.)

La combinación de procesos gravimétricos con cianuración es perfectamente apropiado tanto en la minería industrial como en la minería artesanal, lo que significa mejorar los procesos gravimétricos para producir un concentrado con alta recuperación. En una segunda etapa de concentración gravimétrica, se recupera de este concentrado el oro libre grueso (fundición directa) y el resto del concentrado se lixivia con cianuro (agitación), después de molerlo más fino donde no se hace necesario amalgamar.

La recuperación de oro en procesos de cianuración pueden incrementarse notablemente con el empleo de peróxido de hidrogeno, mayor concentración de cianuro, una dilución menor y una granulometría más fina mediante cianuración intensiva.

Las condiciones operacionales de cianuración intensiva son: granulometría del concentrado mineral de malla 200 a 270, concentración de cianuro 3.0 a 3.5 kg/ton de mineral, cantidad de cal: 2.5 a 3.0 kg/ton de mineral para llevar el pH a 10.5 - 11.0, dilución de pulpa, 2:1 (33% de sólidos), peróxido de hidrogeno: 4 L/ton de mineral. Tiempo de peroxidación, 4 h y tiempo de cianuración 6 h. Estas condiciones de cianuración han sido exitosas en diferentes plantas y entables en la región. (Unión temporal HS&E - Teknidata 2011).

Circuito de producción de oro sin mercurio propuesto por CIMEX Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

El circuito de extracción de oro sin mercurio propuesto por CIMEX se muestra en la Figura 6.2.

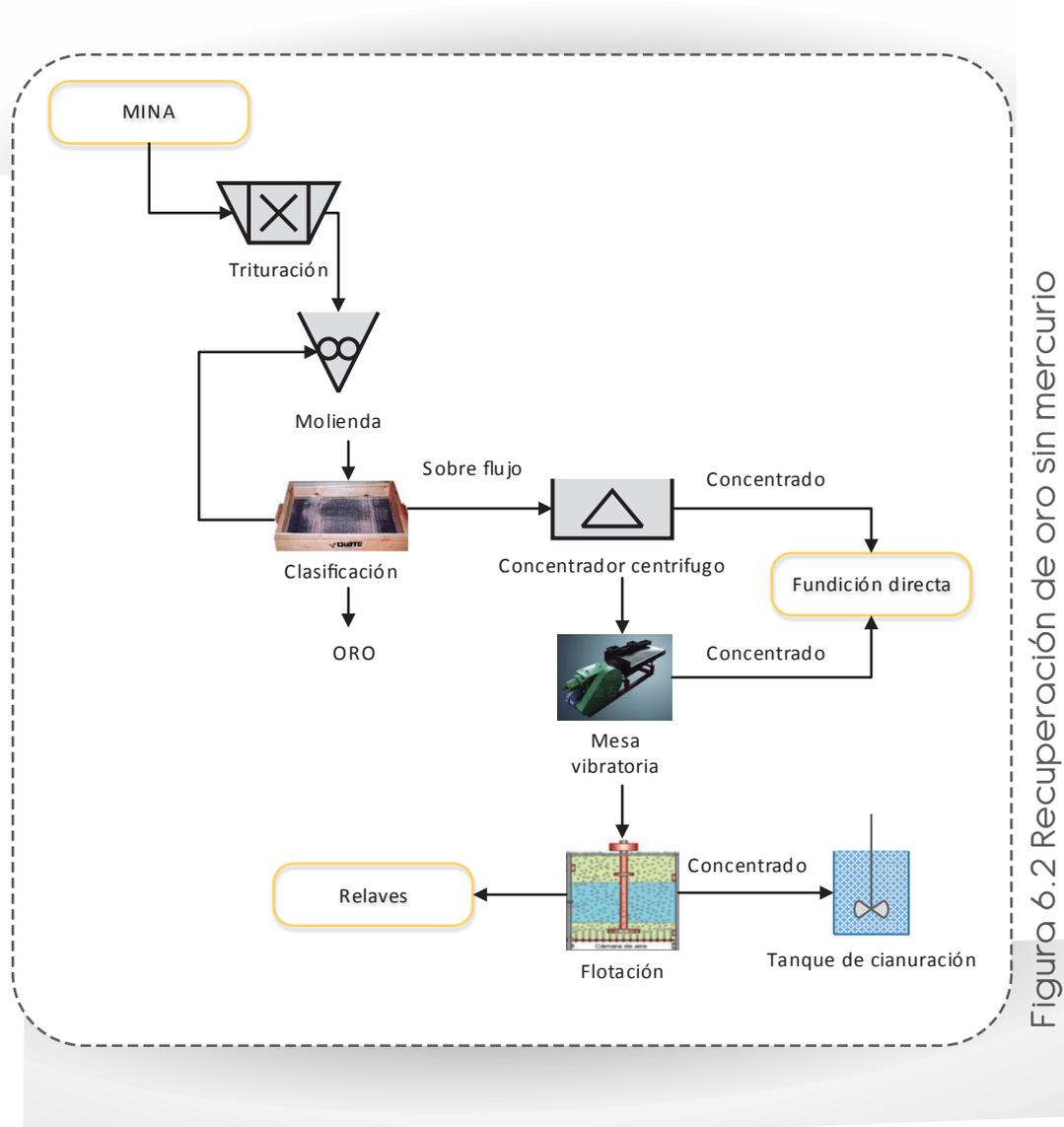


Figura 6.2 Recuperación de oro sin mercurio

Una de las principales causas de la amalgamación ineficiente es la presencia de minerales acompañantes o impurezas que impiden una reacción perfecta entre el metal y el mercurio, las medidas propuestas por CIMEX para eliminar estas contaminaciones y aumentar la recuperación del oro, están orientadas a mejorarlos diseños y la eficiencia de los procesos de beneficio con los métodos alternativos que se describen a continuación:

Concentración Gavimétrica

Luego de la molienda y la clasificación el mineral pasa al proceso de concentración gravimétrica, que consiste en la separación de dos o más especies de diferente peso específico o densidad, la cual es originada por movimiento relativo de las fuerzas gravitacionales, fuerzas de arrastre y empuje.

Para una concentración gravitacional eficiente es necesario considerar una buena liberación de partículas, la distribución de tamaños en la alimentación, la forma de las partículas y esencialmente las diferencias de densidad de los sólidos a separar (Bustamante et al 2005).

El proceso de concentración se hace en dos etapas, el concentrador centrífugo separa el oro grueso que sale para a fundición, las colas de este sistema pasan a la mesa concentradora, que permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente El oro recuperado en la mesa concentradora pasa a fundición y las colas pasan a la última etapa de separación física en el sistema de flotación.

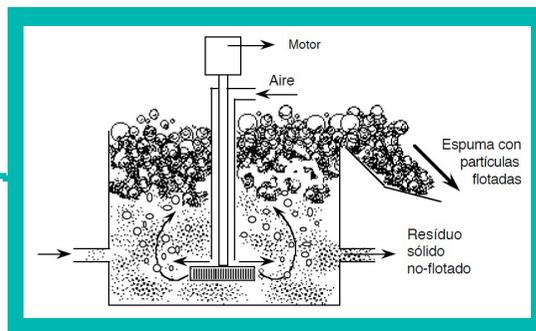


Concentrador centrífugo
Fuente <https://www.google.com.co/search/concentrador+centrifugo+para+oro>

Flotación de Minerales

Es un método fisicoquímico para concentrar o separar partículas, el cual mediante una diferencia de características superficiales de partículas en suspensión acuosa separa las hidrófobas (no afines con el agua) de partículas hidrófilas (afines con el agua), asistida por una inyección de burbujas de aire (Bustamante, Gaviria y Restrepo (2005).

Con este método se recupera el oro libre presente tanto en depósitos aluviales como en filonianos (vetas), eliminando el uso del mercurio y aumentando el porcentaje de recuperación, ya que es más selectiva y amigable con el medio ambiente. En la flotación se concentra el mineral, el cual pasa a la etapa final donde se recupera el oro que se encuentra asociado con otros metales en el proceso de cianuración.



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=Flotación+de+oro>



Mesa Concentradora
Fuente: PML minería UPME (2007)

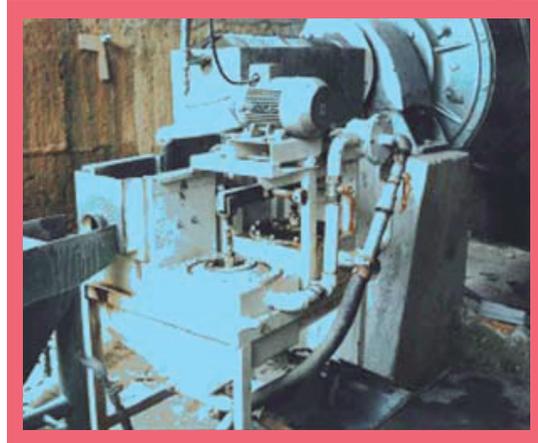
Uso de concentradores JIG y en espiral para recuperación de oro

JIG

Permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación producida por diferentes mecanismos. En el proceso primario el JIG puede instalarse inmediatamente después del molino primario para recuperar el oro grueso, el oro laminar o esponjoso y los sulfuros gruesos liberados para impedir su retorno innecesario al molino en un circuito cerrado, evitando una mayor laminación del oro y la sobre molienda de los sulfuros.

El JIG tiene las siguientes ventajas:

- Versátil, se puede adecuar a todo tipo de materiales
- Recupera oro y sulfuros auríferos
- No necesita energía eléctrica
- Eficaz para oro laminado
- Produce un concentrado rico
- Descarga continua de producto
- El JIG requiere sin embargo de personal experimentado y no recupera oro muy fino.



JIG Fuente PML Minería (UPME 2007)

Concentradores de Espiral

Los concentradores de espiral son artefactos de concentración utilizados principalmente para la preconcentración de oro y sulfuros auríferos. El típico concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal que tiene entre cuatro a seis vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro, o se puede considerar al concentrador de espiral como una serie de bateas superpuestas y conectadas. Las espirales pueden ser utilizadas para una variación de tamaño de grano desde 1 mm hasta 30 μm . Por lo general, las espirales se caracterizan por su alta recuperación y son utilizadas exitosamente en la fase de preconcentración o para la recuperación de minerales residuales.

Sin embargo, no hay duda que las espirales pueden ser utilizadas efectivamente incluso como un reemplazo de las canaletas, combinadas con otro equipo para la concentración secundaria de preconcentrados como las mesas concentradoras.

En la Figura 6.3 se muestra el circuito de recuperación de oro usando concentradores JIG y en espiral.



Concentrador en Espiral
Fuente PML minería (UPME 2007)

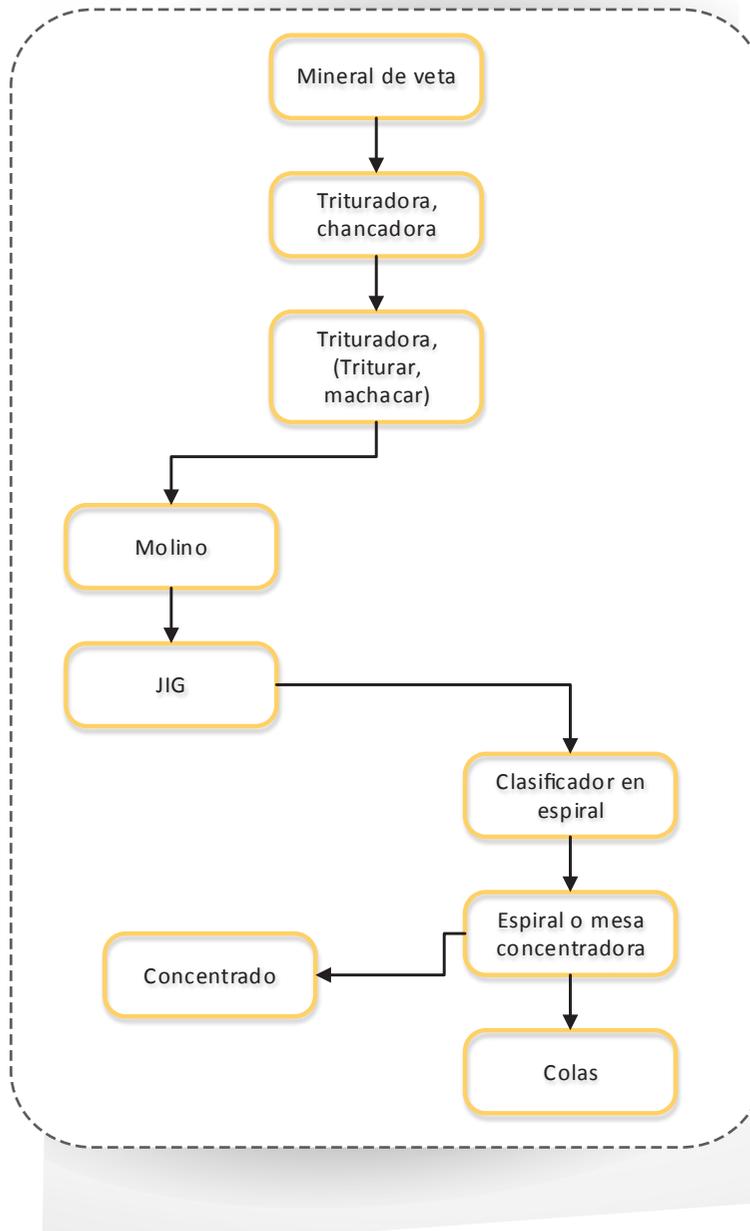


Figura 6.3
Circuito de recuperación de oro con concentradores JIG y en espiral



ORO ECO 100V y ECO-100H – Recuperación de oro sin mercurio⁶

En el Perú desarrollaron novedosos equipos para recuperar el oro sin utilizar mercurio, se llaman: Oro ECO-100V y Oro ECO-100H, con estos equipos se evita en el proceso de la extracción de oro el uso de mercurio. La máquina ha sido probada con éxito en la región amazónica de Madre de Dios, Perú.

El ECO-100V opera con gasolina, aunque este combustible podría ser reemplazado o adaptado al gas natural o gas licuado de petróleo. Asimismo, usa reactivos no contaminantes, recircula el 90% del agua de proceso, consume 0,2 galones de gasolina por ciclo productivo y tiene alta resistencia a la abrasión y corrosión.

El ECO 100V fue desarrollada en un principio para las operaciones aluviales de oro, "el ECO-100H, es aplicable a la pequeña minería, que explota yacimientos de oro en roca (filón).

⁶ <http://es.investing.com/fundamental/analisis/innovadora-m%25C3%25A1quina-para-extraer-oro-sin-utilizar-mercurio-40483>

Alternativas de disminución del uso de mercurio en plantas de beneficio de oro⁷

El objetivo principal de la consultoría de la Unión Temporal HS&E – Teknidata fue proponer alternativas que condujeran a la disminución de empleo de mercurio en la recuperación de oro en las plantas de beneficio. En este sentido, se propusieron dos alternativas (ver Figura 6.4 y Figura 6.5) para cumplir con ese propósito:

•La primera elección es cuando las plantas de beneficio que operan combinado amalgamación en cocos y cianuración por agitación pueden eliminar el uso del mercurio utilizando los cocos como medio molidor de los concentrados gravimétricos para posteriormente enviarlos a los tanques de cianuración por agitación (ver Figura 6.4). Esta es una opción económica que no requiere inversiones sustanciales y no modifica las instalaciones de la planta, solo se requiere el firme propósito de los propietarios de implementarlo.

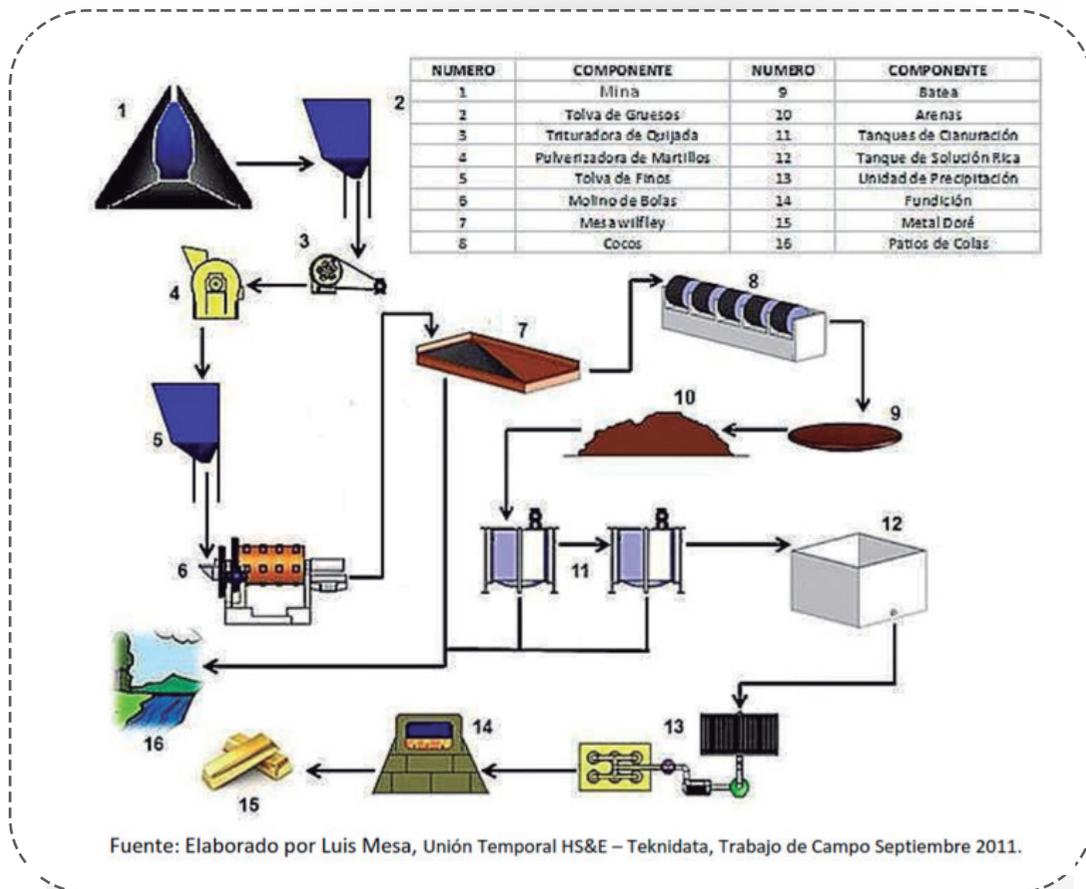


Figura 6.4 Diagrama de flujo utilizando cocos como remoladores sin mercurio

⁷ Cristian Y. Costrillón B. y Luis Mesa, Unión Temporal HS&E – Teknidata.

La segunda alternativa es adaptar remolienda de concentrados auríferos en circuito cerrado con un ciclón y aplicar cianuración por agitación como operan las plantas La Cecilia, La Valencia II y Poma Rosa (ver Figura 6.5).

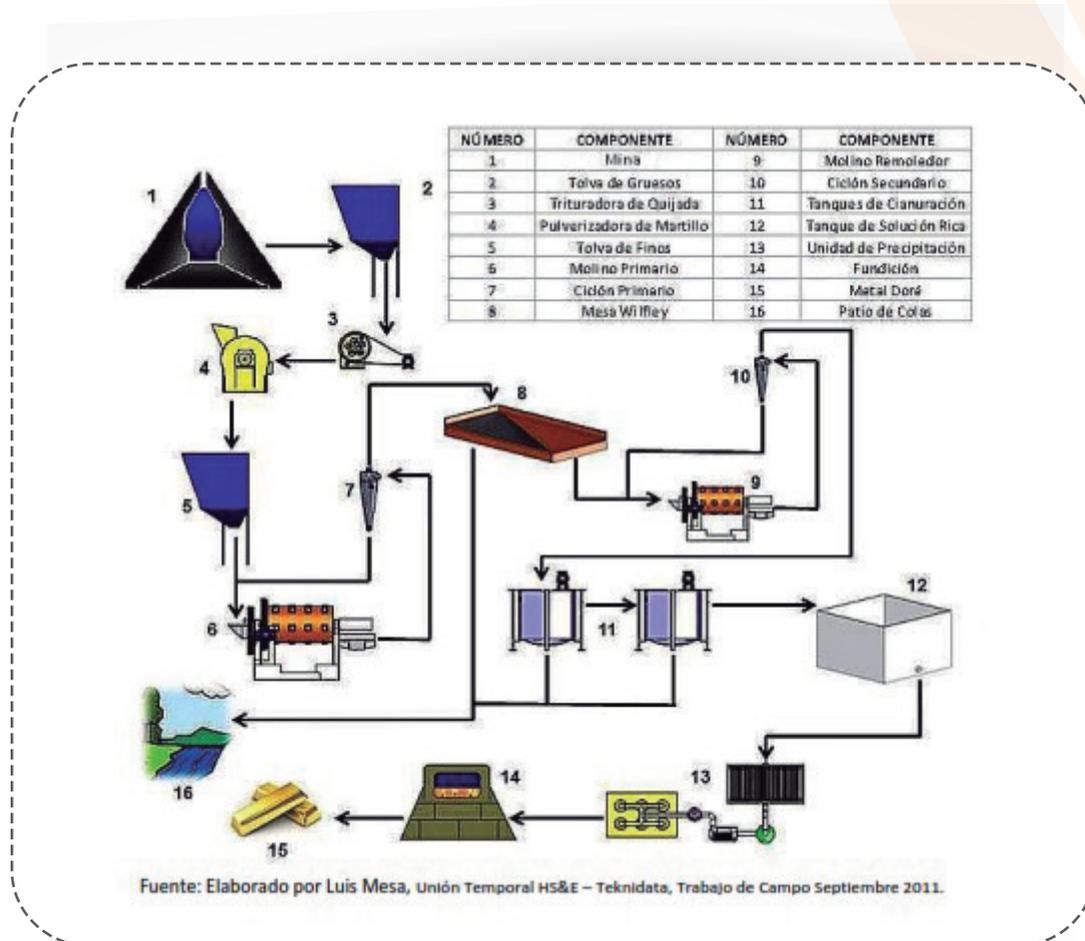


Figura 6.5
Diagrama de flujo de beneficio de oro sin uso de mercurio

Manejo de colas contaminadas

– Recomendaciones para el control del pH en el proceso de cianuración⁸

El primer paso para evitar colas contaminadas con cianuro es prevenir la formación de compuestos de cianuro en el proceso de cianuración. Después de extraer el oro por medio de procesos hidrometalúrgicos, pueden estar presentes tres tipos principales de compuestos de cianuro en los efluentes residuales o en las soluciones de los procesos: cianuro libre, cianuro débilmente complejado

⁸ Guía Ambiental Para el Manejo de Cianuro - disponible en <http://www.ingenierooambiental.com/4014/compendio-cianuro.pdf>

y cianuro fuertemente complejado. Juntos, los tres compuestos de cianuro constituyen el "cianuro total". Al conocer el comportamiento de estos tres tipos de cianuro se puede comprender la seguridad y el ambiente.⁹

Las soluciones de cianuro para la lixiviación de metales preciosos, se preparan por lo general con cianuro de calcio (CaCN) o cianuro de sodio de uso comercial. La estabilidad de estas soluciones depende de su pH; un pH más bajo favorece la pérdida de cianuro por formarse HCN.

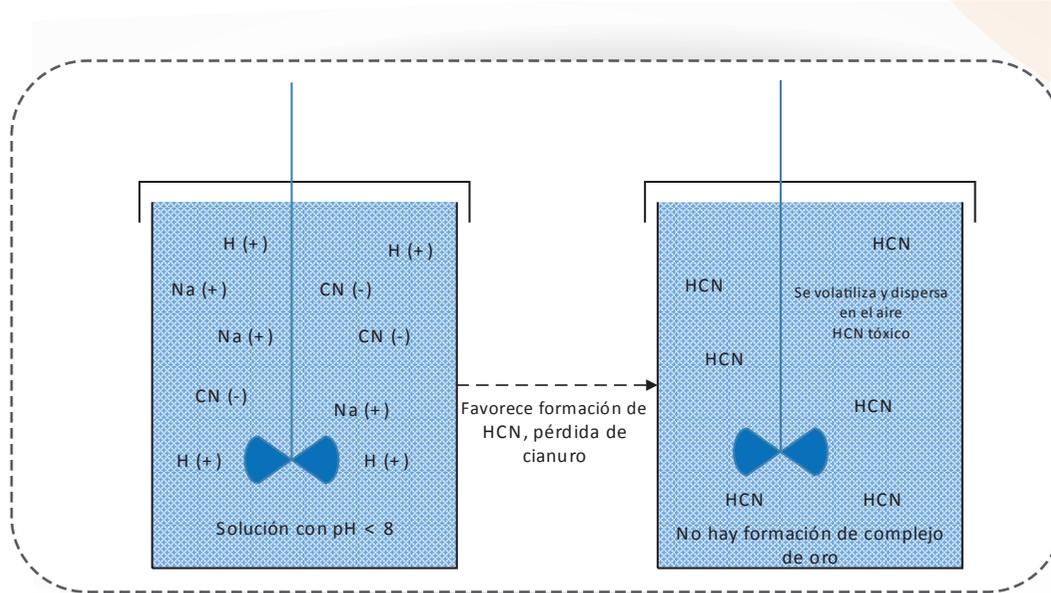


Figura 6.6 Reacción del Cianuro de sodio en pH < 8

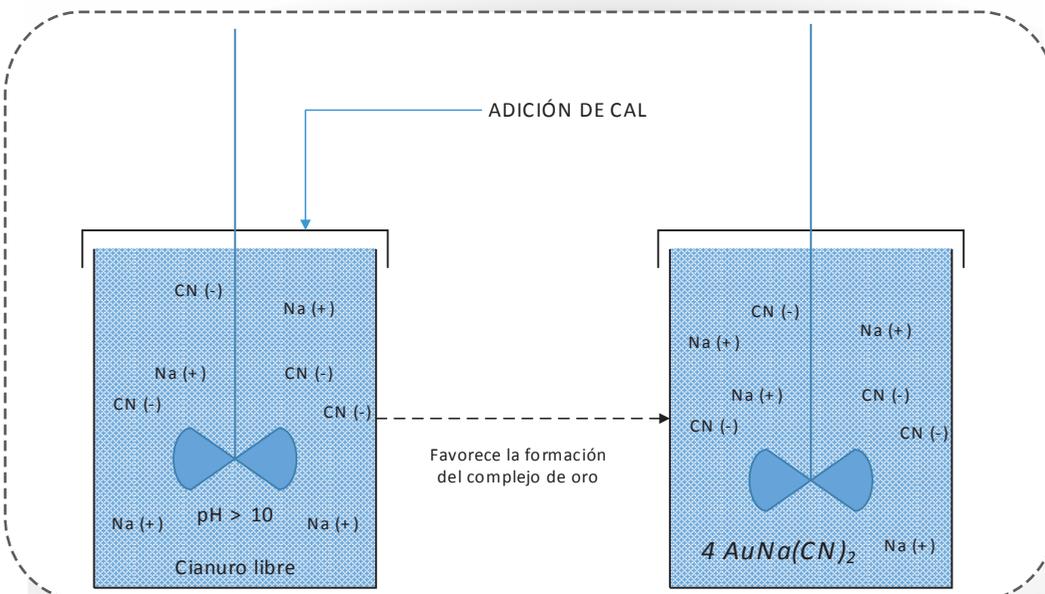


Figura 6.7 Formación del complejo de oro pH > 9

⁹ <http://www.toringa.net/post/ciencia-educacion>

Midiendo el pH y controlando se puede conocer que forma del cianuro predomina en la solución y así prevenir la formación de compuestos no deseados y se pierda el cianuro y no se forme el compuesto de oro.

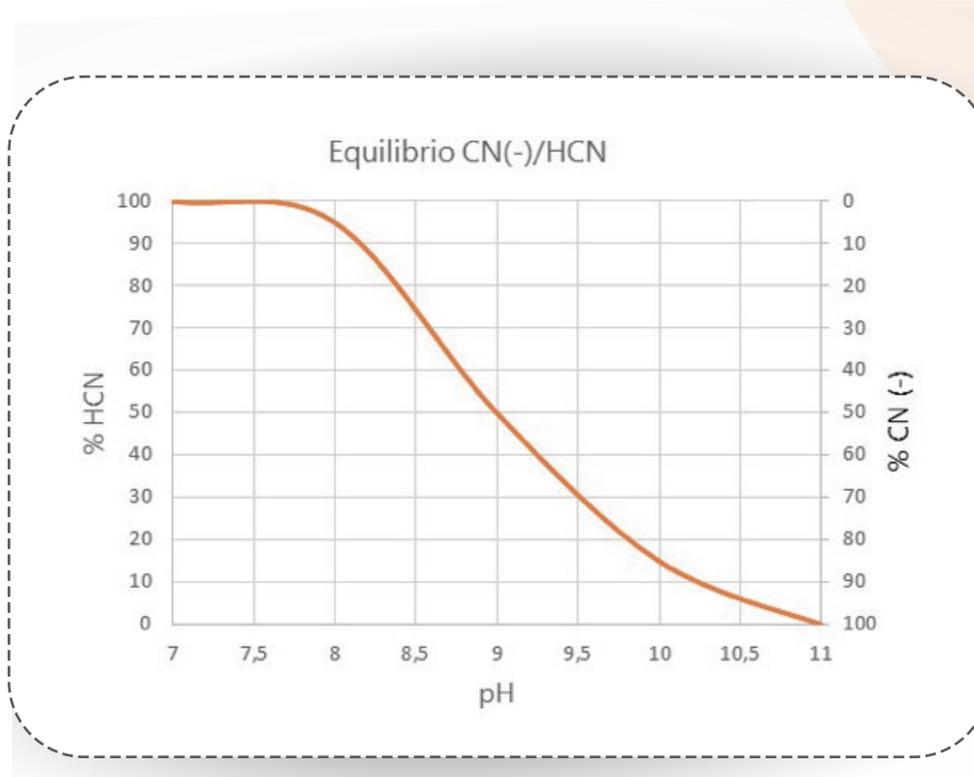


Figura 6.8 Equilibrio del CN (-)/HCN con el pH

Sistemas de tratamiento de soluciones cianuradas y recirculación del agua

Para el tratamiento de cianuro en los efluentes sólidos se propone lavar las arenas y posteriormente tratar la solución de lavado de igual forma que los efluentes líquidos, esto con el fin de evitar consumos excesivos de reactivos.

A continuación, se presenta una breve descripción de algunos métodos de degradación del cianuro que pueden ser implementados en los entables mineros previos ensayos piloto que permiten recircular el agua y conseguir ahorros en el consumo hasta del 80%, el ahorro depende del agua de reposición que se requiera.

Proceso SO₂ – aire¹⁰

El proceso de destrucción de cianuros mediante la aplicación del proceso INCO SO₂ –AIRE fue introducido en 1994 después de que INCO (International Nickel Company's) adquirió la patente canadiense original.

En el proceso es sensible a los siguientes parámetros:

- pH
- Concentración del ion cianuro
- Dosificación de SO₂
- Concentración de metales en solución
- Concentración de metales como el Cu y el Fe
- Presencia de otros aniones como SCN⁻ (tiocianato) y S₂O₃⁼
- La viscosidad y la transferencia de oxígeno.

En la Figura 6.7 se muestra el diseño de un sistema para el proceso.

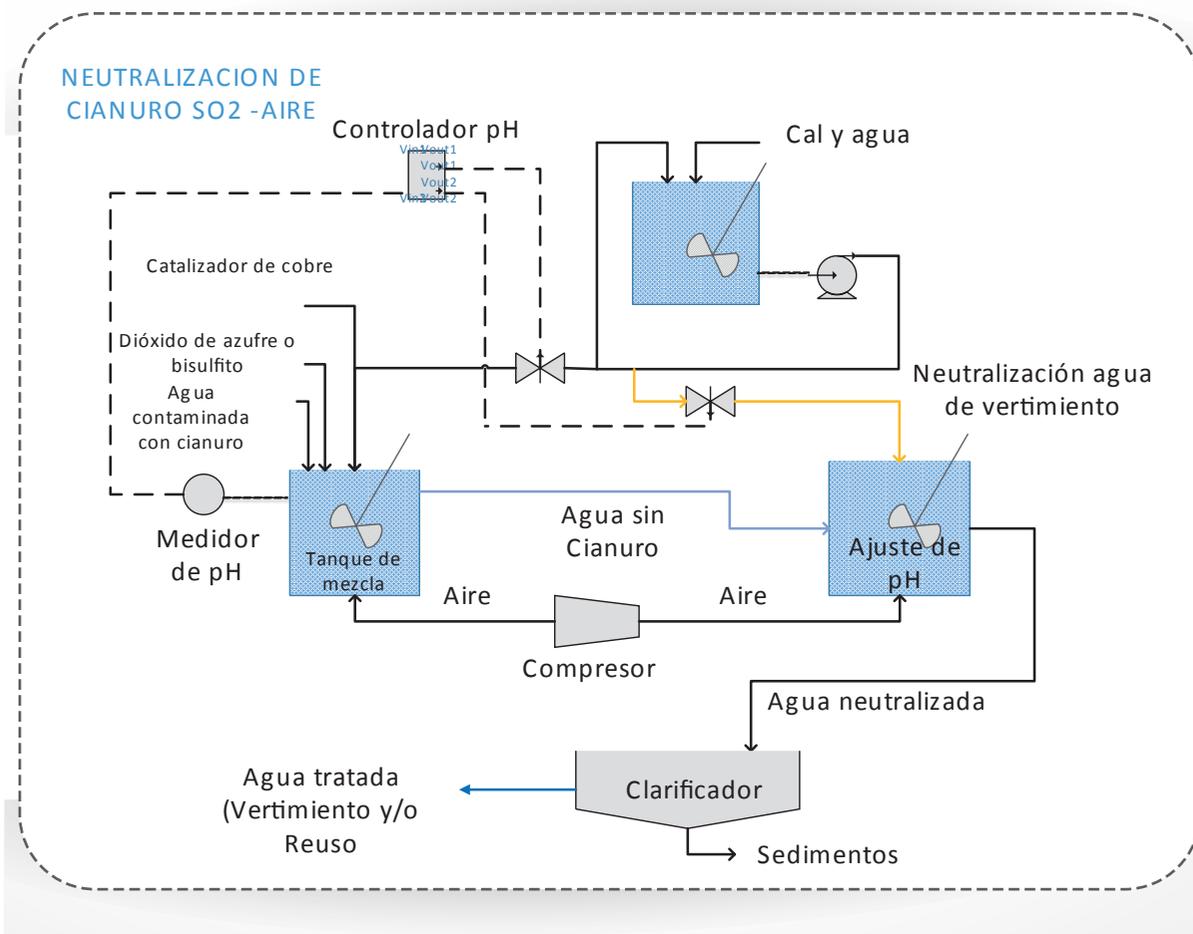


Figura 6.9 Diseño simplificado del proceso INCO SO₂ – Aire

¹⁰ Padilla Camacho Felipe de Jesús – et al. DEGRADACIÓN DE CIANURO EN AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN DE LOBA (SUR DE BOLÍVAR), EMPLEANDO MÉTODOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA.

Industrialmente el equipo requerido por el proceso SO₂ es relativamente simple. Los desechos líquidos a ser tratados son introducidos en un tanque de mezcla, donde esta reacciona con dióxido de azufre. Teóricamente el SO₂ requerido es de 2.46 g/g CN, INCO ha reportado dosis actuales de 3-5 g/g de CN wad para soluciones claras y de 4-7 g/g de CN wad* para suspensiones de colas. El aire es esparcido en el tanque de mezcla y el pH es controlado adicionando cal.

Nota

Cianuro WAD¹¹

Especies de cianuro liberadas con un pH moderado (pH 4,5) como HCN y CN acuosos, la mayoría de los complejos de Cu, Cd, Ni, Zn, Ag y otros con constantes de disociación baja similares.

En general el SO₂ usado es en promedio el doble de la cantidad calculada estequiométricamente. Los reductores químicos derivados del SO₂ que son activos en la destrucción de cianuros son los siguientes:

- Bisulfito de Amonio
- Bisulfito de Sodio
- Meta bisulfito de Sodio
- Sulfito de Sodio
- Tiosulfato de Amonio

La oxidación no es sensible a la temperatura entre 4 y 600 C y generalmente es completa en una hora. El rango preferido de pH es de 9 a 10 pero el proceso puede operar sobre el rango de 6 a 11. Las pruebas de INCO6 muestran que un flujo puede ser reducido de 1680 mg/l CN total a 0.13 mg/l CN total usando un tiempo de retención de 97 minutos en un reactor de una etapa. Una alimentación conteniendo 420 mg/l CN total fue pasada a 0.11 mg/l CN total usando dos reactores en series con un tiempo de retención de 26 minutos en cada uno.

El cianuro total puede ser reducido a 0.5 mg/L o menos en aguas residuales de bajo níquel. Alrededor de 1 mg/L es logrado en aguas residuales con alto níquel. Otro dato de los ensayos del banco de pruebas indica que puede lograrse concentraciones menores de 0.1 mg/l de CN total.

El tiocianato es también oxidado, pero solo lentamente. Aproximadamente el 20% del tiocianato puede ser oxidado antes de completar la oxidación del cianuro. El Ni puede acelerar la descomposición del tiocianato.

¹¹INSTITUTO INTERNACIONAL PARA EL MANEJO DEL CIANURO, Definiciones y Siglas Para el Código Internacional para el Manejo de Cianuro

VENTAJAS:

- La reacción reduce el pH de las suspensiones de las minas de oro hacia el pH óptimo del proceso sin la adición de ácido.
- Los niveles de cianuro son típicamente reducidos a menos de 1ppm (remoción del 99,99% con tiempos de retención entre 50 y 100 minutos)
- Los iones metálicos son normalmente removidos a menos de 1ppm y son también reportados bajos niveles de arsénico.

Proceso del Peróxido de Hidrógeno

El proceso de tratamiento con peróxido de hidrogeno oxida cianuro libre y metales complejos menos estables que los cianuros de hierro. Un catalizador de cobre (generalmente sulfato de cobre) puede ser usado en algunos casos, también se pueden emplear otros metales de transición como vanadio, tungsteno o plata en concentraciones de 5 a 50 mg/L.

El proceso opera habitualmente a un pH de 9.0 a 11. En este proceso, el cianuro en solución es oxidado a cianato. A escala industrial el equipo requerido es similar al del proceso INCO. El agua residual a ser tratada es introducida en un tanque de mezcla donde reacciona con peróxido de hidrógeno. El sulfato de cobre es adicionado como catalizador. El pH es controlado por adición de cal (ver Figura 6.8).

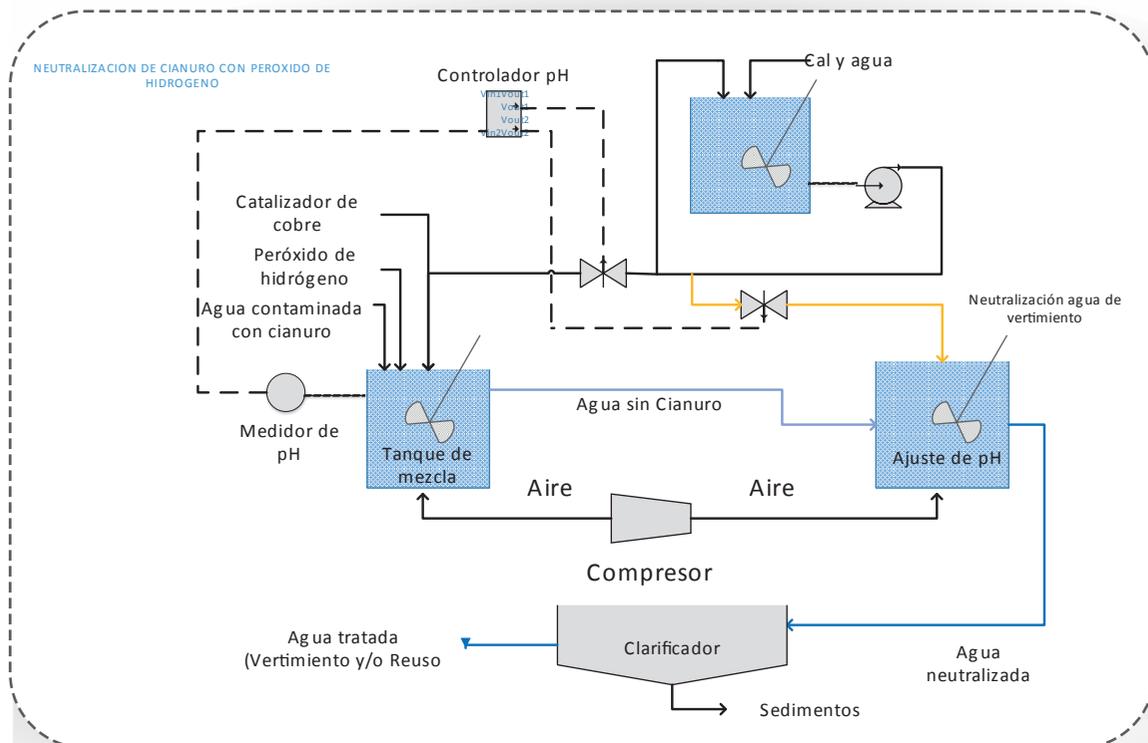


Figura 6.10 Proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno

El producto final de la reacción de oxidación del cianuro por este proceso es cianato, sin embargo, se observa que el cianato puede hidrolizarse generando carbonato y amonio. A pH bajos la hidrólisis es rápida. A pH 2, el cianato es hidrolizado en 5 minutos; a pH 5 en 60 minutos; y a pH 7, 22 horas.

Se destaca la reacción de descomposición del peróxido de hidrogeno porque esta muestra que el H₂O₂ se descompone a O₂ y H₂O, el O₂ se pierde del sistema sin hacer una oxidación eficiente. En la práctica el rango de dosificación es de alrededor de 2.0 a 10.5 g de H₂O₂ por gramo de cianuro oxidado en el proceso se dosifica en solución al 50 %.

La velocidad de reacción puede ser incrementada por varios medios: aumentando la temperatura, incrementando la dosis de catalizador y/o usando exceso de H₂O₂, por ejemplo, a 250 C y sin catalizador, la conversión de cianuro libre a cianato lleva 2 a 3 horas; y a 500C una hora o menos. La adición de 10 mg/L de Cu puede incrementar la velocidad 2 -3 veces. Un 20 % en exceso de H₂O₂ puede incrementar la velocidad en alrededor de un 30 %.

- La habilidad para remover cianuro total y metales tóxicos.
- Productos de reacción e intermediarios no tóxicos y no libera sales como cloruro de sodio o sulfatos de sodio a las aguas colectoras.
- El exceso de H₂O₂ se descompone a agua y oxígeno.
- La reacción de oxidación opera a los pH de los efluentes de las minas de oro.
- No es necesaria aireación.
- No son usados gases tóxicos.
- Datos de plantas muestran que el proceso del peróxido de hidrógeno operando con una relación de H₂O₂: cianuro de 4,6:1 ha logrado 90 a 97 % remoción de cianuro, 55 % de remoción de cobre 15 y 95 % de remoción de cobre y con una remoción de hierro del 57 % [Teck Corona y Con Mines].

VENTAJAS:

El diseño del proceso requiere tener en consideración la dosis de peróxido, requerimiento de mezcla, requerimiento de catalizador, tiempo de retención, pH y porcentaje de sólidos. Está reportado que el costo del peróxido representa el 90 % del costo de operación de un sistema basado en este reactivo. Debe tenerse en cuenta que el peróxido de hidrógeno es un fuerte oxidante que puede dar pie a fuego y violentas explosiones si entra en contacto con material combustible orgánico (madera, trapos viejos). Industrialmente se recomienda el uso tanques de almacenamiento especial y equipo de operación lo cual incrementa el costo del capital total.

Remoción de cianuro en relaves auríferos utilizando BIOCHAR producido a partir de tallos de *Gliricidia sepium*¹²

Esta investigación fue realizada en la Universidad de Cartagena, se investigó la remoción de cianuro en relaves auríferos utilizando Biochar (Biocarbón) producido a partir de tallos de *Gliricidia sepium* (mataratón).

El Biochar fue identificado como un "super sorbent" para compuestos orgánicos neutros, capaz de adsorber eficazmente colorantes catiónicos y aniónicos (Qiu et al., 2009). Tiene mayor capacidad de adsorción para químicos orgánicos hidrofóbico, incluyendo los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos y bifenilos policlorados, que la materia orgánica natural (Zheng et al., 2010). Fue evaluado como precursor del carbón activado y fue hallada en él un área de superficie interna por lo menos 50 veces mayor que la del precursor y es muy microporoso (Azargohar y Dalai, 2008).

En la Tabla 6.1 se muestra el análisis del agua de relave utilizada en la investigación.

Metales analizados	Concentración (mg/L)
1Zn	2,91
Fe	1,59
Cd	0,25
Hg	0,10
Cianuro	779,29

Tabla 6.1
Resultados de análisis realizados al relave aurífero

Nota: La muestra de agua tienen un pH de 11.55

Resultados

Las pruebas experimentales dieron los siguientes resultados:

Variable	Resultado
Área superficial	380 m ² /g
Tamaño de partícula del Biochar	< 0,25 mm
Capacidad de adsorción	3 mg de CN/gramo de Biochar

¹²Ramos Aviléz Heleine. REMOCIÓN DE CIANURO EN RELAVES AURÍFEROS UTILIZANDO BIOCHAR PRODUCIDO A PARTIR DE TALLOS DE *Gliricidia sepium*.

Con base en estos resultados se puede pasar a pruebas piloto con columnas de adsorción en lecho fluidizado usando como adsorbente el brochar, para determinar la cantidad óptima de Biochar que garantice la reducción de los cianuros a los límites permisibles en la resolución O631 de 2015. Para ensayos a escala piloto se propone el diseño que se muestra en la Figura 6.9.

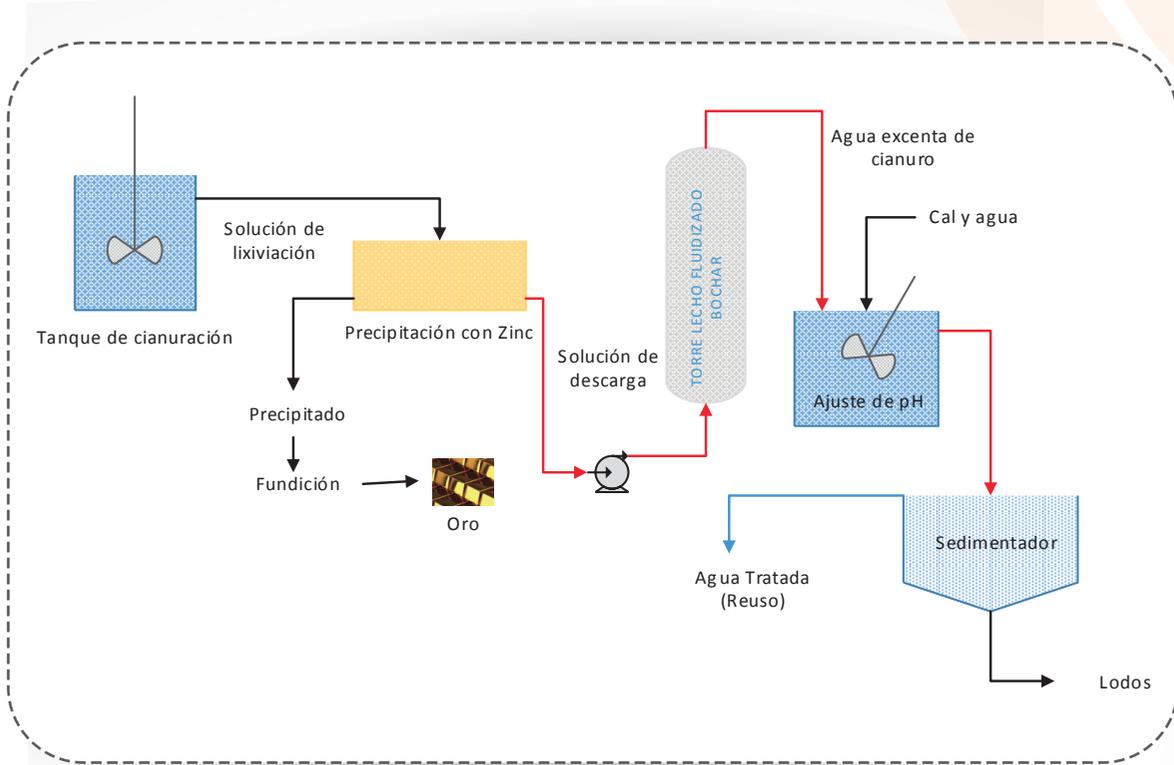


Figura 6.11 Diseño sistema remoción de cianuro con BOCHAR

Recuperación de oro con carbón activado¹³

Esta investigación fue desarrollada en la Universidad de Santander, con el objeto de introducir nuevas alternativas simples y efectivas de recuperación oro tales como el carbón activado mediante técnicas factibles de aplicar en zonas de minería artesanal. (Vetas, Santander).

Para cumplir con el objetivo se realizaron pruebas con carbón activado en columna (CIC), para recuperar el oro disuelto en soluciones de lixiviación y soluciones de descarga para recirculación con soluciones sintéticas de oro con concentraciones de aurocianuro y cianuros similares a las empleadas en la planta de cianuración de la mina artesanal objeto de estudio. Después se evaluó la aplicabilidad del método a soluciones reales de mina en su estado original y también neutralizadas con peróxido de hidrógeno.

¹³ Figueroa Isaza Héctor, Flórez Chavarriaga Sebastián. APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA MINA LA PROVIDENCIA (VETAS - SANTANDER), trabajado de grado de Ingeniería metalúrgica.



Se analizó la influencia de variables como la concentración de oro inicial, concentración de cianuro libre, concentración de metales pesados y el efecto de la neutralización con peróxido y se encontraron valores de recuperación de oro del 80%.

El esquema práctico recomendado para la adaptación de la técnica CIC al proceso actual de recuperación en la minería artesanal, mediante el cual sería viable mejorar los niveles de recuperación de oro y disminuir la carga contaminante en los procesos de cianuración se describe a continuación.

Descripción del proceso de adsorción

En la Figura 6.10 se presenta el diseño del sistema propuestos que consiste en los siguientes pasos (parámetros de diseño en el informe de la investigación)¹⁴:

¹⁴ Ibídem 12

1. Primera etapa de adsorción: Para las soluciones de lixiviación por agitación que deben ser neutralizadas con el fin de remover cianuro libre y metales pesados. Esta columna se debe dimensionar de acuerdo a la concentración de oro de las soluciones.
2. Segunda etapa de adsorción: Aplicada a las soluciones de descarga para recirculación ("solución pobre") neutralizadas previamente, provenientes del proceso de precipitación en las cajas de zinc, igual que la anterior la columna se diseña de acuerdo a la concentración de oro en la solución.
3. Se dispone un tanque de almacenamiento de solución de cianuros pobre para la neutralización del cianuro con peróxido de hidrógeno.

Buscando mantener condiciones de sostenibilidad, las soluciones provenientes de la primera etapa de adsorción se conducen al tanque de solución pobre con el fin de aprovechar el oro que no logro ser adsorbido, a través de una segunda etapa de adsorción en la columna 2 la cual trabaja con bajas concentraciones de oro. Por otra parte, la solución después de adsorción en la etapa 2 (se considera que lleva una concentración muy baja de oro) puede ser conducida al tanque de lixiviación por agitación generando un ahorro en el agua necesaria para el proceso de cianuración por agitación, teniendo en cuenta que el cianuro libre ha sido neutralizado casi en su totalidad y la mayoría de los metales pesados ya han sido precipitados durante la neutralización con peróxido en este tipo de efluentes.

Considerando que aproximadamente por cada tonelada de concentrado procesado en la agitación, se utiliza generalmente 2,5m³ de solución de (NaCN) para la disolución de oro y teniendo en cuenta que aplicando esta técnica CIC-Centro de Instrumentación Científica; se podría disminuir alrededor de un 50% la concentración de cianuro utilizada en esta etapa de disolución, se tendría como resultado un ahorro aproximado del 50% en la cantidad de peróxido de hidrógeno necesaria para llevar a cabo la neutralización, además de los beneficios ambientales que esto traería.

Este proceso puede ser ensayado en plantas piloto de entables mineros en los distritos mineros en Antioquia, dado que ya se ha comprobado a escala de laboratorio que el sistema es viable técnicamente, con el ensayo piloto se determinaría la viabilidad económica, que según resultados obtenidos es una inversión de recuperación entre el corto y mediano plazo.

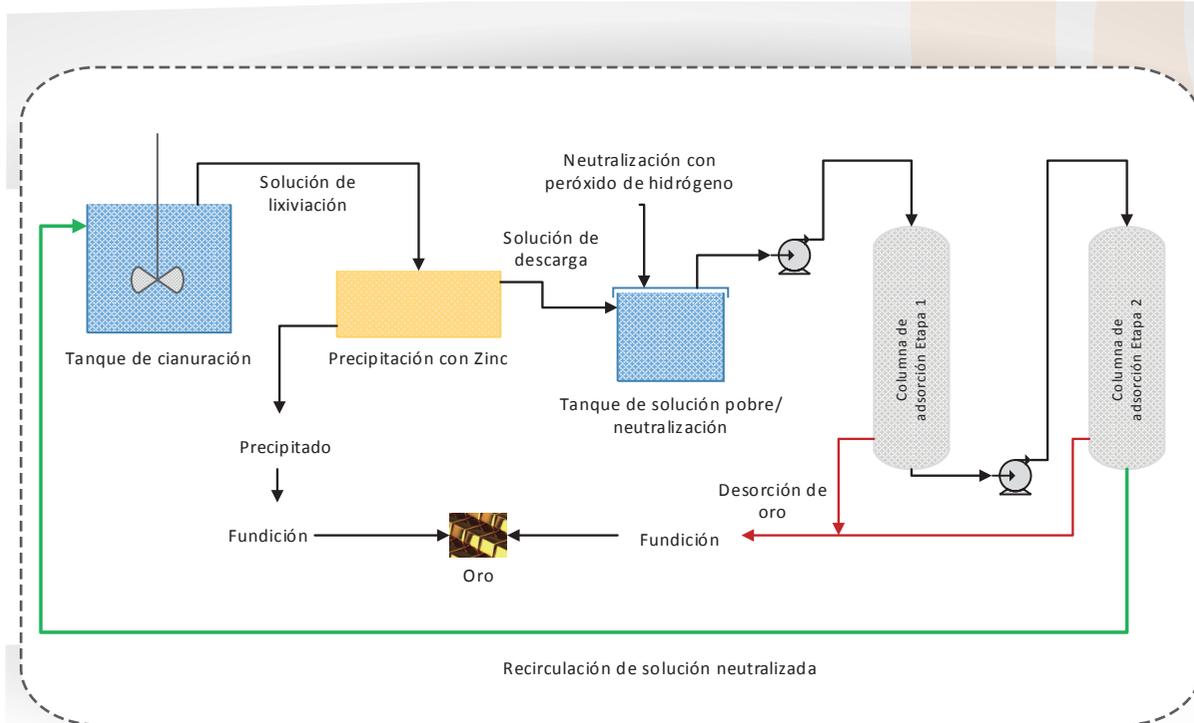


Figura 6.12
Esquema para la aplicación del proceso CIC en una mina artesanal

7. Posibles fuentes de Financiación Para desarrollar proyectos de Producción más limpia

La reconversión tecnológica del sector de la minería en Antioquia requiere fuentes de financiación de estudios y compra de tecnologías, a continuación, se presentan algunas fuentes de recursos que ya han financiado proyectos técnico-ambientales y económicos de Producción Más Limpia en Colombia.

Tabla 7.1
Fuentes de financiación – Organismos nacionales

ORGANISMO	SIGLAS	SIGLAS	FUNCIÓN
Centro Nacional de Producción más limpia y tecnologías ambientales	CNPMLTA	www.lineadecreditoambiental.gov.co	Es el encargado de evaluar el proyecto [económico- Técnico-ambiental] antes y después de implementarlo
Instrumentos de promoción de la innovación y el desarrollo tecnológico	COLCIENCIAS	www.colciencias.gov.co	Financiación de proyectos que se presentan ante Colciencias a través de las diferentes convocatorias y que por su calidad y pertinencia han sido calificados favorablemente por el respectivo Consejo del Programa Nacional
	FINDETER	www.findeter.gov.co	Asesoría en la presentación y elaboración de la estructura financiera de proyectos y acompañamiento en el cierre financiero identificando alternativas óptimas de fondeo, fuentes de pago y garantías, para la exitosa ejecución de los mismos.
Fondo de inversión para la paz	FIP	www.plancolombia.gov.co	Tiene como fin financiar proyectos y programas que generen condiciones de paz en el país.

Fondo para la acción ambiental	FPAA	www.fondoaccion.org	Administrar, supervisar y gestionar recursos para promover las actividades destinadas a preservar, proteger o mejorar los recursos naturales y biológicos del país; fomenta la supervivencia y desarrollo de la niñez.
Fondo Nacional de regalías	FNR	www.cnr.gov.co	Proyectos de fomento a la minería - Proyectos para la preservación del medio ambiente - Proyectos de inversión regional: Los que benefician a dos o más departamentos y que son de carácter estratégico por su impacto, cobertura y promoción.
Fondo Nacional Ambiental	FONAM	www.minambiente.gov.co	Presta apoyo a la ejecución de la política ambiental; financia y co-financia proyectos de utilidad pública e interés social enfocados a la preservación, mejora y recuperación del medio ambiente y de los recursos naturales.

8.

Anexos

Anexo 1

- Límites permisibles minería

En la resolución 631 de 2015 el sector de la minería agrupa todas las actividades de minería, ver Figura 8.1.

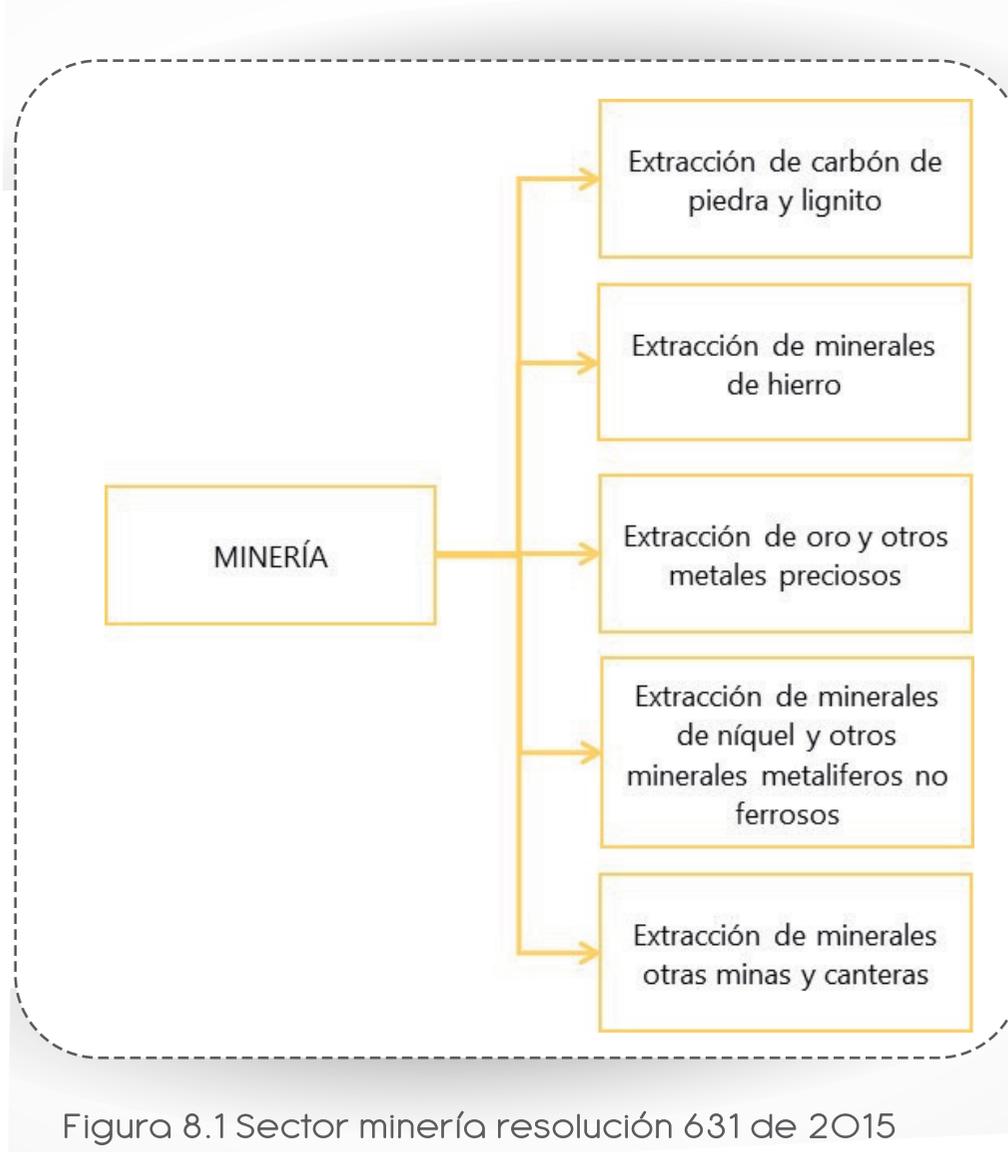


Tabla 8.1 Límites permisibles sub – sector minería de oro

	Unidades	Extracción de oro y otros metales preciosos
GENERALES		
pH	pH	6 a 9
Demanda Química de oxígeno [DQO]	Demanda Química de oxígeno [DQO]	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno [DBO5]	mg/l O ₂	50
Sólidos suspendidos totales	mg/l SST	50
Sólidos Sedimentables [SSED]	mL/l	2
Grasas y aceites	mg/l	10
Fenoles	mg/l	0,2
Sustancias activas al azul de metileno [SAAM]	mg/l O ₂	Análisis y reporte
HIDROCARBUROS		
Aromáticos policíclicos	mg/l	Análisis y reporte
BETEX (Benceno, tolueno, etilbenceno y xileno)	mg/l	Análisis y reporte
Compuestos orgánicos halogenados [AOX]	mg/l	Análisis y reporte
COMPUESTOS DE FÓSFORO		
Ortofosfatos [P - PO ₄ -3]	mg/l	Análisis y reporte
Fósforo total [P]	mg/l	Análisis y reporte
COMPUESTOS DE NITRÓGENO		
Nitratos [N - NO ₃ -]	mg/l	Análisis y reporte
Nitritos [N - NO ₂ -]	mg/l	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal [N - NH ₃]	mg/l	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/l	Análisis y reporte
IONES		
Cianuro total [CN-]	mg/l	1
Cloruros [Cl-]	mg/l	250
Sulfatos [SO ₄ -2]	mg/l	1200
Sulfuros [S-2]	mg/l	1
METALES Y METALOIDES		
Arsénico [As]	mg/l	0,10
Cadmio [Cd]	mg/l	0,50
Cinc [Zn]	mg/l	3,00
Cobre [Cu]	mg/l	1,00
Cromo [Cr]	mg/l	0,50
Hierro [Fe]	mg/l	2,00

Mercurio (Hg)	mg/l	0,002
Níquel (Ni)	mg/l	0,50
Plata (Ag)	mg/l	
Plomo (Pb)	mg/l	0,20
OTROS PARÁMETROS PARA ANÁLISIS Y REPORTE		
Extracción de minerales otras minas y canteras: Aluminio, manganeso, molibdeno		
Acidez Total [mg/l CaCO ₃], Alcalinidad Total [mg/l CaCO ₃], Dureza Cálctica [mg/l CaCO ₃], Dureza Total [mg/l CaCO ₃].		
Color real, medidas de absorbancia a las longitudes de onda de 436, 525, 620 nm		

Anexo 2

- Modelo de cálculo tasas retributivas

Decreto 2667 de 2012 - Tasas retributivas

Por medio de este decreto se reglamenta la tasa retributiva, por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales.

En sus artículos 4 y 5 establece las autoridades ambientales que son competentes para cobrar y recaudar la tasa retributiva. En su artículo 6 establece quienes están obligados a pagar la tasa retributiva.

En los artículos 8 y 9 establece metas globales, individuales y grupales de cargas contaminantes. En sus artículos 12 y 13 establece procedimientos para la fijación de metas globales de carga contaminante y el procedimiento de seguimiento y cumplimiento de esa meta.

En el artículo 18 establece el cálculo del monto a cobrar por concepto de tasa retributiva. En el artículo 19 establece los parámetros contaminantes que son objeto del cobro de la tasa y en el artículo 20 la destinación del recaudo. (República de Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

► Cálculo tasas retributivas

Carga contaminante diaria (Cc):

Es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de una sustancia, elemento o parámetro contaminante por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas por día, es decir:

$$Cc = Q \times C \times 0,0036 \times t$$

C_c = Carga contaminante en Kg/día,

Q = Caudal (Litros/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/l)

$O.OO36$ = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Tarifa de la tasa retributiva (T_{tr}):

Para cada uno de los parámetros objeto de cobro, la autoridad ambiental competente establecerá la tarifa de la tasa retributiva (T_{tr}) que se obtiene multiplicando la tarifa mínima (T_m) por el factor regional (Fr), así:

$$T = T_m \times Fr$$

Tarifa mínima de la tasa retributiva (T_m):

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá anualmente mediante resolución, el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva para los parámetros sobre los cuales se cobrará dicha tasa, basado en los costos directos de remoción de los elementos, sustancia o parámetros contaminantes presentes en los vertimientos líquidos, los cuales forman parte de los costos de recuperación del recurso afectado.

Las tarifas mínimas de los parámetros objeto de cobro establecidas en la Resolución número 273 de 1997 actualizada por la Resolución número 372 de 1998, continuarán vigentes hasta tanto el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible las adicione, modifique o sustituya.

TARIFA MÍNIMA TR A 2014	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	118,54 \$/Kg
Sólidos suspendidos totales (SST)	50,74 \$/Kg

► Factor Regional

Es un factor multiplicador que se aplica a la tarifa mínima y representa los costos sociales y ambientales de los efectos causados por los vertimientos puntuales al recurso hídrico.

Este factor se calcula para cada uno de los elementos, sustancias o parámetros objeto del cobro de la tasa y contempla la relación entre la carga contaminante total vertida en el periodo analizado y la meta global de carga contaminante establecida; dicho factor lo ajustará la autoridad ambiental ante el incumplimiento de la mencionada meta.

Los ajustes al factor regional y por lo tanto a la tarifa de la tasa retributiva, se efectuarán hasta alcanzar las condiciones de calidad del cuerpo de agua para las cuales fue definida la meta.

De acuerdo con lo anterior, el factor regional para cada uno de los parámetros objeto del cobro de la tasa se expresa de la siguiente manera:

$$FR_i = FR_o + \left(\frac{C_c}{C_m} \right)$$

Donde:

$FR_{i=1}$ = Factor regional ajustado, para el primer año del quinquenio $FR_{i=1}$

FR_o = Factor regional del año inmediatamente anterior,

Para el primer año del quinquenio $FR_o = 0$

C_c = Total de carga contaminante vertida por los sujetos pasivos de la tasa retributiva al cuerpo de agua o tramo del mismo en el año objeto de cobro expresada en Kg/año

C_m = Meta global de carga contaminante para el cuerpo de agua o tramo del mismo expresada en Kg/año.

La autoridad ambiental competente cobrará la tarifa de la tasa retributiva evaluando anualmente a partir de finalizado el primer año, el cumplimiento de la meta global del cuerpo de agua o tramo del mismo, así como las metas individuales y grupales.

El monto a cobrar a cada usuario sujeto al pago de la tasa dependerá de la tarifa mínima, el factor regional de cada parámetro objeto de cobro y la carga contaminante vertida, de conformidad con la siguiente fórmula:

$$MP = \sum_{i=1}^n T_{mi} \times FR_i \times C_i$$

Donde:

MP = Total Monto a Pagar.

T_mi = Tarifa mínima del parámetro i.

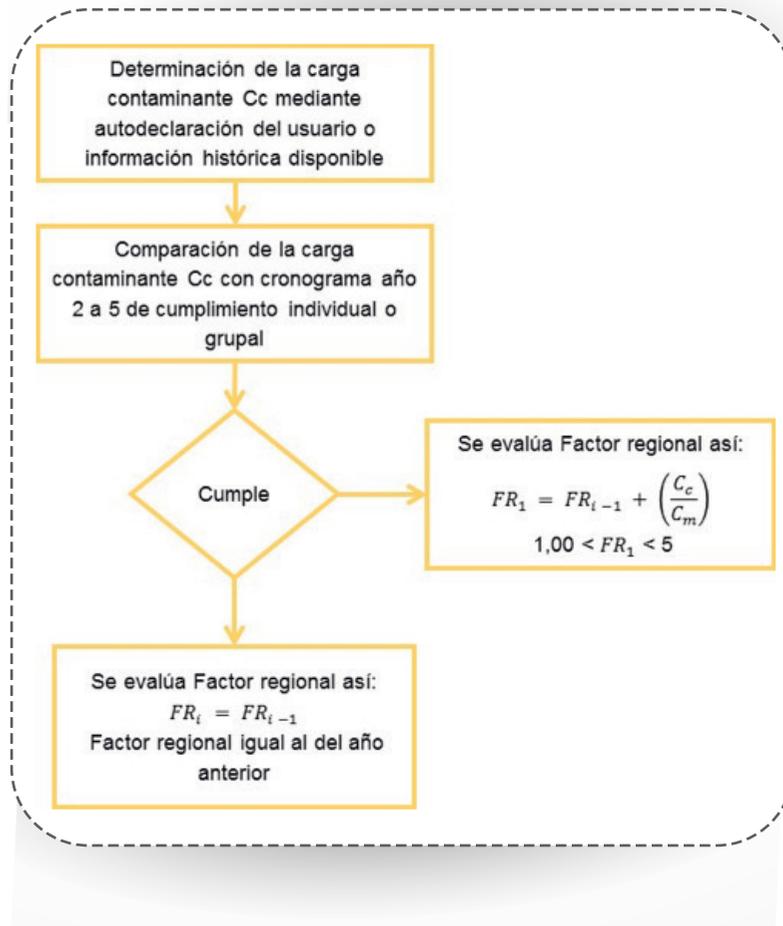
F_ri = Factor regional del parámetro i aplicado al usuario.

C_i = Carga contaminante del parámetro i vertido durante el período de cobro.

n = Total de parámetros sujetos de cobro.

CORANTIOQUIA en el acuerdo 441 de 2013 define la meta global, metas individuales y grupales de carga contaminante para los parámetros DBO5 y SST, en los cuerpos de aguas o tramos de los mismos en su jurisdicción, para el periodo 2014-2018".

Para el cálculo del Factor regional para años 2 a 5 del Quinquenio (2014 - 2018) se sigue el siguiente procedimiento:



Anexo 3

– Modulos de consumo y factor de vertimiento

Módulos de consumo de agua y factor de vertimiento¹⁵

Módulo de consumo:

Es la cantidad de agua que se requiere para el desarrollo de una actividad o la obtención de un producto. Sirve para determinar los caudales o volúmenes de agua que se asignan a personas naturales o jurídicas para el desarrollo de sus actividades domésticas, agropecuarias, industriales, comerciales o de otro tipo; así mismo, sirve como criterio para determinar potenciales de ahorro y uso eficiente del recurso.

Factor de vertimiento:

Se define como la carga contaminante generada por unidad de producción en el sector industrial o por usuario en el sector de servicios. A partir de este se podrán definir criterios para cumplir con las metas de reducción de contaminantes.

Metodología cálculo de módulos de consumo

Para obtener los módulos de consumo del proceso de minería se deben seguir los siguientes pasos:

Recopilar información

Revisión de la información histórica de consumos de agua y vertimientos de la empresa o en su defecto hacer una minuciosa recopilación de información secundaria que permita preparar diagramas de procesos y balances de agua preliminares. Muchas veces no es posible tener datos precisos, sin embargo, se requiere, en la medida de lo posible, tener una buena aproximación al estado actual del consumo de agua y del vertimiento generado.

Diagrama del proceso

Se hace un diagrama del proceso identificando cada una de las etapas donde se consume el mayor volumen de agua y se generan los vertimientos más significativos. Se deben presentar las fuentes de agua utilizada (pozo, quebrada, planta de tratamiento propia, acueducto, etc.).

¹⁵ Metodología cálculo de módulos de consumo y factor de vertimientos Área Metropolitana del Valle de Aburrá - diciembre de 2010

Variables que inciden en el consumo de agua y el vertimiento

Existen muchas variables propias de cada proceso, que inciden directamente en el volumen de agua consumida o en la carga contaminante generada. Se deben identificar aquellas que requieren registrarse o medirse de tal manera que se logre cuantificar su importancia en el uso eficiente del agua. Adicionalmente, existen variables que no son susceptibles de control y sin embargo influyen en el proceso. Lo anterior implica que las mediciones de módulos de consumo tendrán un mayor grado de incertidumbre.

► Medición de consumos de agua

La medición es la herramienta básica del control, la cual sirve de guía para alcanzar eficazmente los objetivos planteados con el mejor uso de los recursos disponibles. Una buena medición permitirá obtener mejores resultados en el proceso de medición y reducirá el tiempo requerido para conocer los módulos de consumo.

Etapas del proceso a medir ◀

Para seleccionar la etapa a la cual se le medirá el módulo de consumo o factor de vertimiento, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El diagrama de proceso presenta porcentajes elevados de agua.
- No se tiene información de su consumo y por lo tanto se requiere medición.
- Es un proceso muy común en la producción o prestación del servicio
- Datos de información secundaria reportan altos consumos o carga contaminante

En el control del consumo de agua en un entable de minería se deben medir los consumos de agua en las etapas de mayor consumo: Molienda, centrifugas y cianuración y el consumo total que entra al entable. En la Figura 8.2 se muestran los puntos donde deben ir instalados los medidores.

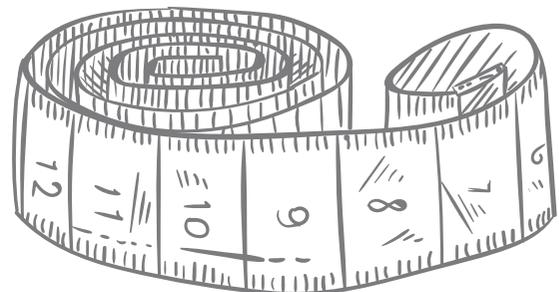
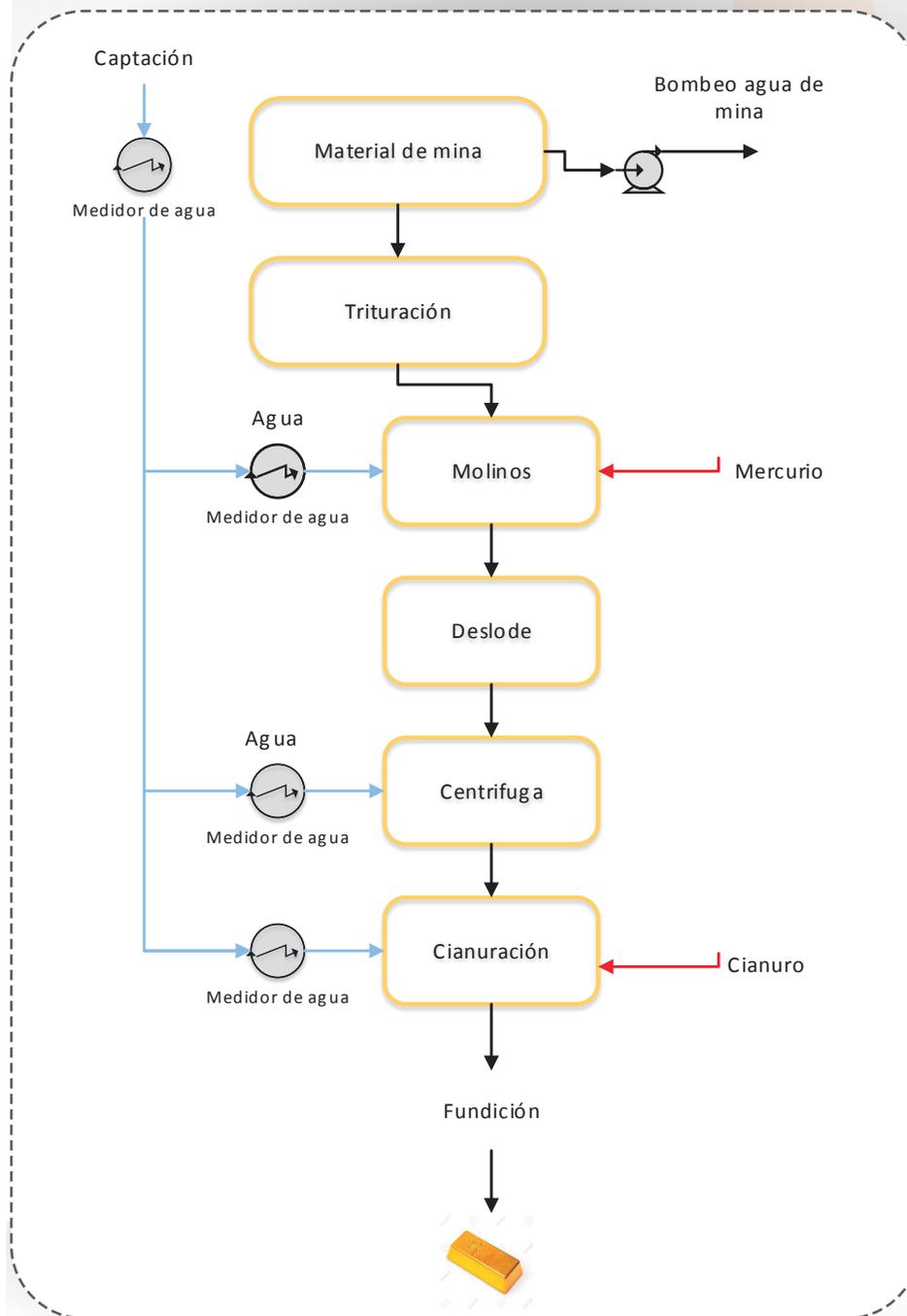


Figura 8.2 Control de consumos de agua en el proceso



Las minas de veta que bombean agua de los socavones deben cuantificar el volumen de agua que sacan, estas aguas se consideran consumo, medir este caudal es relativamente sencillo con la capacidad de bombeo de las bombas, el cual en los catálogos los dan en Litros/min., contabilizando el tiempo que se prende la bomba en un día, se calcula el caudal, por ejemplo si la bomba tiene una capacidad de 2 litros/min., y en una jornada se prende la bomba 4 horas, el volumen de agua que se saca de la mina es:

volumen de agua (litros) = caudal de la bomba

$$\frac{\text{litros}}{\text{min}} \times \text{tiempo (min)} = 480 \text{ litros}$$

En las entradas de cada uno de los procesos se pueden instalar medidores de agua de los usados para medir el consumo en las viviendas, lo importante es que hay que tomar la lectura al inicio del proceso y al final, así se mide el consumo de agua durante el tiempo que dura un proceso.

CONSUMO DE AGUA EN ENTABLE BENEFICIO DE ORO/MINA DE SOCAVÓN			
Responsable de control de consumo de agua			
Fecha de registro			
Kg de material que entra a molienda		KG	
AGUA TOTAL DE ENTRADA AL ENTABLE			
Hora de inicio del proceso		Hora terminación	
Lectura inicial		Lectura final	
Consumo (CT) = Lectura final - lectura inicial		CT	
CONSUMO DE AGUA EN MOLIENDA			
Hora de inicio de molienda		Hora terminación	
Lectura inicial		Lectura final	
Consumo (CM) = Lectura final - lectura inicial		CM	
CONSUMO DE AGUA EN LA CENTRIFUGA (CONCENTRACIÓN)			
Hora de inicio proceso		Hora terminación	
Lectura inicial		Lectura final	
Consumo (CC) = Lectura final - lectura inicial		CC	
CONSUMO DE AGUA EN CIANURACIÓN			
Hora de inicio proceso		Hora terminación	
Lectura inicial		Lectura final	
Consumo (CN) = Lectura final - lectura inicial		CN	
CONSUMO TOTAL PROCESO		CTP= CM + CC + CN	
CONSUMO DEL SOCAVÓN			
Hora de inicio de inicio bombeo		Hora terminación	
Caudal bombeado		Q bomba x tiempo de bombeo	
Modulo de constumo		CTP/KG m ³ /kg	

Tabla 8.2
Formato consumo de agua en un entable minero y una mina

- Notas:

Si la mina tiene solo explotación y el material se lleva a beneficio a un entable externo debe registrar los kilos de material que salen de la mina y el volumen de agua que se extrae de la mina, en el entable le deben registrar los kilos de material que entran a beneficio y terminado el beneficio le deben suministrar el consumo de agua del lote procesado. Cuando el beneficio es en la misma mina se hace el registro de consumo en el beneficio y el agua sacada del socavón, el agua que sale del socavón debe ser utilizada en el beneficio. En el formato de registro se contabiliza el agua total que entra al entable, en operación normal el agua que entra al entable debe ser igual al consumo total del proceso, si lo que entra es mucho mayor que lo que se consume en cada proceso hay desperdicio de agua y hace que se incremente el vertimiento, esto afecta el pago de tasas retributivas y pagos por uso de agua.

► Metodología de cálculo de la Tasa por uso

El decreto 155 de 2004 reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones, CORANTIOQUIA como autoridad ambiental es la entidad competente para recaudar la tasa por utilización del agua.

Todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que utilicen el recurso hídrico en virtud de una concesión de aguas están obligadas al pago de la tasa por utilización del agua. Esta tasa se cobra por el volumen de agua efectivamente captada, dentro de los límites y condiciones establecidos en la concesión de aguas. Si el usuario de la concesión tiene implementado un sistema de medición podrá presentar a CORANTIOQUIA en los términos y periodicidad que esta determine conveniente, reportes sobre los volúmenes de agua captada, en caso de no contar con sistema de medición CORANTIOQUIA liquidará el cobro de la tasa con base en lo establecido en la concesión de aguas.

La tarifa de la Tasa la establece la autoridad ambiental para cada cuenca hidrográfica, acuífero o unidad hidrológica de análisis y está compuesta por el producto de dos componentes: la tarifa mínima (TM) y el factor regional (FR):

$$TU = TM \times FR$$

La tarifa mínima la define anualmente el Ministerio del Medio Ambiente y desarrollo sostenible, en la resolución 240 del 8 de marzo del 2004 el valor de la tarifa mínima quedó en cero punto cinco pesos por metro cúbico (0.5 \$/m³).

En el artículo 3 de la resolución No. 040140319222, CORANTIOQUIA fija la tarifa de la Tasa para el año 2014 en cero punto setenta y seis (0,76 \$/m³). El artículo 12 del decreto 155 establece el valor a pagar por el usuario como el producto de la tasa por uso (TU) en \$/m³ por el volumen captado corregido por el factor de costo de oportunidad, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VP = TU \times (V \times Fop)$$

VP: es el valor a pagar por el usuario sujeto pasivo de la tasa, en el período de cobro que determine por la autoridad ambiental, expresado en pesos.

TU: es la tarifa de la tasa por utilización del agua, expresada en pesos por metro cúbico (\$/m³)

V: es el volumen de agua base para el cobro. Corresponde al volumen de agua captada por el usuario sujeto pasivo de la tasa que presenta reporte de mediciones para el período de cobro determinado por la autoridad ambiental, expresado en metros cúbicos (m³).

Fop: Factor de costo de oportunidad, adimensional.

El factor de costo de oportunidad toma en cuenta si el usuario del agua se encuentra haciendo un uso consuntivo o no consuntivo, generando costos de oportunidad para los demás usuarios aguas abajo. El valor del factor de costo de oportunidad se calculará de conformidad con la siguiente fórmula:

$$Fop = \frac{Vc - Vv}{Vc}$$

V_c: Volumen captado

V_w: Volumen vertido

F_{op}: para los demás casos es igual a 1.

$$0,1 \leq F_{op} \leq 1$$

En los casos que el usuario no presente los reportes sobre los volúmenes de agua captada, el cobro se realizará por el caudal concesionado y la autoridad ambiental para efectos de aplicar la fórmula contenida en el presente artículo en lo referente al volumen de agua, se aplica la siguiente expresión:

$$V = Q \times 86,4 \times T$$

V: Volumen de agua base para el cobro. Corresponde al volumen concesionado en el período de cobro y expresado en metros cúbicos.

T: Número de días del período de cobro.

Q: Caudal concesionado expresado en litros por segundo [lts/seg]

86,4: Factor de conversión de litros/seg a m³/día.

► Metodología cálculo de factores de vertimiento

Para determinar el factor de vertimiento se requiere conocer la concentración de la sustancia contaminante a evaluar y el volumen vertido en el proceso. Los parámetros mínimos para analizar son Demanda Bioquímica de Oxígeno -DBO5- y Sólidos Suspendedos Totales -SST- (Parámetros objeto de cobro de tasa retributiva a la fecha).

Técnicas de muestreo ◀

Para el cálculo del factor de vertimiento se debe hacer la caracterización del vertimiento, las técnicas para la toma de las muestras son tres: simple o puntual, compuesto e integrado.

Técnica de muestreo	Definición	Aplicación específica en determinación del factor de vertimiento
Simple o puntual	Son las que se toman en un tiempo y lugar determinado para su análisis individual.	Esta técnica de muestreo se aplica cuando todas las aguas de proceso son recogidas en un tanque. También cuando se realiza un proceso por bache en donde toda el agua vertida esta homogenizada o cuando las concentraciones de los contaminantes no varían significativamente.
Compuesto	Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en diferentes tiempos.	Es la técnica más aplicada para los vertimientos industriales o generados en la prestación de servicios. Se utiliza para procesos en continuo donde hay variaciones de caudal. También para procesos por lotes que tienen descargas de larga duración. La frecuencia de toma de muestras dependerá de la duración del vertimiento. Se recomienda que para vertimientos de menores a 1 hora se tome una muestra simple cada 5 minutos. Si la descarga es de mayor duración, se pueden tomar muestras cada 20 o 30 minutos.
Integrada	Son las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en puntos diferentes y simultáneamente.	Esta técnica se aplica cuando se conocen los volúmenes vertidos de cada subproceso de tal manera que se pueda integrar con alícuotas proporcionales al volumen. La recolección de la muestra se hace en el momento del vertimiento de la etapa o subproceso. También se utiliza en vertimientos que requieran medición con el molinete para integrar proporcional a las velocidades en las subsecciones de la corriente.

En los vertimientos beneficio de oro peces se debe emplear la técnica de muestreo compuesto, el tiempo para la toma de muestra es el tiempo que dure un proceso de molienda desde el inicio hasta que termine la cianuración, para el cálculo del volumen de cada alícuota se usa la siguiente ecuación:

$$V_i = \left(\frac{Q_i - V}{Q_p - n} \right)$$

V_i = Volumen de cada alícuota

V = Volumen total Litros de muestra requerida para el análisis

$Q_{(p)}$ = Caudal promedio

$Q_{(i)}$ = Caudal instantáneo

n = Número de muestras

Ejemplo:

Para el muestreo del vertimiento de las aguas residuales del entable se utiliza la técnica de muestreo simple o puntual, se toman mediciones de caudal durante 4 horas, para obtener un promedio de caudal y verificar que el caudal no varía durante el muestreo:

Muestra	Hora	Q_i (L/s)
1	08:00	0,5
2	09:00	1
3	10:00	1,5
4	11:00	2
5	12:00	1
Q_p		1,2

Caudal promedio = 1,2 L/s

El V_i de cada alícuota para recoger un volumen total de 10 litros es:

$$V_i = \left(\frac{Q_i - V}{Q_p - n} \right)$$

Muestra	1	2	3	4	5	Total muestra Litros
Volumen (litros)	0,4	0,4	1,3	1,7	0,8	5

► Toma de muestras

El objetivo de un muestreo de agua es obtener una parte representativa del proceso a evaluar, y al cual se le analizarán los diferentes parámetros de acuerdo al interés. Para lograr este objetivo es necesario que la muestra sea relevante, que conserve las concentraciones de todos sus componentes y que no se presenten cambios significativos en su composición antes del análisis.

La selección del punto de muestreo, es un elemento clave para asegurar la representatividad de la muestra. Se deben tomar las precauciones necesarias para evitar otras fuentes de contaminación que la afecten.

Los muestreos deben hacerlos laboratorios certificados por el IDEAM en toma de muestra y análisis de los parámetros fisicoquímicos a analizar seleccionados con base en los límites permisibles de la resolución 631 del 2015.

Tabla 8.3
Formato registro de vertimiento entable minero

FORMATO RECOLECCIÓN DATOS CALCULO FACTOR DE VERTIMIENTO BENEFICIO DE ORO		
Fecha del muestreo		
Responsable		
Datos día del muestreo de vertimientos:		
Kilogramos procesado	a	Kg
Caudal del vertimiento	d	Litros/s
Horas de proceso/día		horas
Días de proceso al mes		días
Resultados análisis de laboratorio:		
DBO ₅ mg/l de O ₂	e	
DQO mg/l de O ₂	f	
SST mg/l	g	
CARGA DE DBO Kg/día	$(e \text{ mg/l} * d \text{ Litros/s} * 10^6 \text{ Kg/mg} * 86400 \text{ s/día}) = h$	
CARGA DE SST Kg/día	$(g \text{ mg/l} * d \text{ Litros/s} * 10^6 \text{ Kg/mg} * 86400 \text{ s/día}) = i$	
FV Kg DBO/kg de material	h/c	
FV Kg SST/kg de material	i/c	

7.

Bibliografía

- Hernández Antolín María Teresa, et al, Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Minero Ambiental, Beneficio y transformación.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia, 2007.
- Ramos Avilez Heleine V. REMOCIÓN DE CIANURO EN RELAVES AURÍFEROS UTILIZANDO BIOCHAR PRODUCIDO A PARTIR DE TALLOS DE *Gliricidia sepium*. Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Química Cartagena De Indias, D.T Y C. 2012. Tesis de grado.
- Figueroa Isaza Héctor, Flórez Chavarriaga Sebastián. APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A LA RECUPERACIÓN DE ORO EN LA MINA LA PROVIDENCIA (VETAS - SANTANDER), trabajado de grado de Ingeniería metalúrgica.
- Padilla Camacho Felipe De Jesús, et - al. DEGRADACIÓN DE CIANURO EN AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN DE LOBA (SUR DE BOLÍVAR), EMPLEANDO MÉTODOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA. Grupo de Carboquímica, Programa de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Cartagena.
- ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO Universidad de Córdoba - UPME 2014.
- Ceresole, Julieta, LA MINERÍA SOSTENIBLE COMO FACTOR DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO.
- CIMEX - Universidad Nacional de Colombia - Medellín, CORANTIOQUIA, Gobernación de Antioquia - TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN UNIDADES MINERAS.
- INSTITUTO INTERNACIONAL PARA EL MANEJO DEL CIANURO, Definiciones y Siglas Para el Código Internacional para el Manejo de Cianuro.

Referencia de Internet

- <http://es.investing.com/fundamental/analisis/innovadora-m%25C3%25A1quina-para-extraer-oro-sin-utilizar-mercurio-40483>.

- Guía Ambiental Para el Manejo de Cianuro - disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/4014/compendio-cianuro.pdf>

- <http://www.taringa.net/post/ciencia-educacion>