

# **DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR MINERÍA AURÍFERA ALUVIAL EN LA RIBERA DEL RÍO SAN PEDRO, PUERTO LIBERTADOR, CÓRDOBA, COLOMBIA**

## **DETERMINATION OF THE DEGRADATION OF SOILS BY ALLUVIAL GOLD MINING ON THE RIVERSIDE OF THE SAN PEDRO RIVER, PUERTO LIBERTADOR, CÓRDOBA, COLOMBIA**

Mónica C. Cantero<sup>1\*</sup>, Vanina I. Rhenals<sup>2</sup>, Argemiro J. Moreno<sup>3</sup>

Recibido para publicación: 18 de mayo 2015 - Aceptado para publicación: 6 de junio 2015

### **RESUMEN**

En la ribera del río San Pedro se practica la minería aurífera aluvial a pequeña escala, desarrollándose sin tener en cuenta los manejos ambientales requeridos, siendo una actividad causante del deterioro de los recursos naturales de la zona. Particularmente el suelo ha sufrido severos procesos de degradación; el propósito del estudio fue evaluar el estado de degradación en que se encuentran los suelos intervenidos por esta minería en el tramo desde la desembocadura de quebrada William hasta la desembocadura de quebrada Las Claras en la ribera del río San Pedro, en el municipio de Puerto Libertador, sur de Córdoba, Colombia. La metodología estuvo fundamentada en una revisión bibliográfica y trabajo de campo, donde se identificaron los sitios afectados, en donde se hicieron observaciones, mediciones y caracterización de los materiales edáficos en cada uno de los sitios afectados. Toda la información recolectada permitió realizar una evaluación cualitativa en la que se estableció el nivel de degradación del suelo asociado a la actividad minera. En el tramo se identificaron 12 sitios afectados que corresponden a 261.145 m<sup>2</sup> de área degradada, que presentan pérdida del perfil de suelo, y una ocupación del área por elementos producto de esta intervención antrópica tales como estéril, lagunas de cola, lodos, residuos de descapote, frentes activos y frentes abandonados, en estos sitios prevaleció el nivel de degradación extremo; por lo que se puede decir que existe conflicto entre uso y aptitud del suelo, ya que estos terrenos no son compatibles con la minería y el desarrollo de esta genera pérdida de potencialidad de los suelos para otros usos.

**Palabras Clave:** Degradación de suelos, minería aurífera aluvial, sitios afectados.

---

<sup>1</sup>M.Sc. Ingeniera Agrónoma de la Universidad de Córdoba, Profesora Asistente de la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia. Cra 14 B – Bis No 41-99. 3002428575. Email: mccantero@correo.unicordoba.edu.co

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería Ambiental, Departamento de ingeniería ambiental de la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia.

<sup>3</sup>Estudiante de Ingeniería Ambiental, Departamento de ingeniería ambiental de la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia.

## ABSTRACT

On the stream of the San Pedro river alluvial gold mining is practiced on a small-scale, which takes place without good mining practices and environmental dealings required, being an activity that causes deterioration of natural resources on the area; particularly, the ground has suffered intense degradation processes. This paper aims to assess the state of degradation of soils affected by this mining in the section since mouth William creek to mouth Las Claras creek, Puerto Libertador town, south of Córdoba, Colombia. The methodology was based on a literature review on the characteristics of the area, mining operations and their impacts as well as fieldwork, in which were identified affected sites by the alluvial gold mining and observations and measurements of the situation were taken. All information collected allowed conducting a qualitative assessment, in which the level and the relative extent of degradation associated with the mining, was established. In the indicated section 12 affected sites were identified, corresponding to 261.145 m<sup>2</sup> of degraded area, that were occupied with waste rock, tailings ponds, sludge, waste removed stripping, active fronts and abandoned fronts; in these sites the degradation level that prevailed the extreme level of degradation; generally in these areas there is a conflict between land use and the suitability of soil, because they are not compatible with mining and the development of this activity produce the loss of potential soil for another uses.

**Key words:** Soil degradation, alluvial gold mining, affected sites.

## 1. INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es la pérdida de su productividad y utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental (Lal, 1998).

El suelo en su condición de uso primario es susceptible de recibir impacto que puede expresarse en diferentes formas de degradación. El impacto de ocupación es generado por cualquier actividad que tome posesión de la tierra e invalide la utilización primaria del suelo, y conlleva generalmente a una pérdida irreversible del mismo (López, 2002). La explotación minera puede considerarse como impacto de ocupación (Detvyler, 1971).

Las explotaciones mineras pueden ser causa y origen de fuertes impactos sobre el suelo, debido principalmente a los grandes volúmenes de materiales que se desplazan, creando huecos y escombreras que cambian la fisiografía de la zona y alteran las características productivas del terreno, dando lugar a problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos, allí donde se ubica la operación minera y trascendiendo a los alrededores en muchas ocasiones (Paradelo, 2013).

En Córdoba, la explotación de oro es básicamente de aluvión, esta actividad se desarrolla en la cuenca alta y media del río San Jorge, en los municipios de Ayapel y Puerto Libertador (CVS, 2008). Por reportes de los habitantes y documentos publicados por entidades relacionadas con esta región (CVS y PNNP), se conoce que en la ribera del río San Pedro explota placeres aluviales, aplicando métodos de extracción artesanal ("barequeo") y extracción con maquinaria pesada (retroexcavadora), causando deterioro en los recursos naturales de la zona. Es el objetivo de esta investigación es determinar la degradación de los suelos afectados por ese tipo de minería.

Actualmente es muy poca la información existente y verificada sobre el estado de los recursos naturales asociado al impacto de la minería de la zona; con esta evaluación diagnóstica, se buscaba obtener una perspectiva de cuál es el estado actual de degradación del recurso edáfico, además de generar información que sirva de línea base para el diseño e implementación de propuestas de manejo y recuperación del suelo que le permitan cumplir sus funciones ecológicas, ambientales y socio-económicas, porque aunque las explotaciones mineras son temporales, en palabras de Peña (2003) dejan su huella si no se aplican las medidas de recuperación correspondientes y los recursos pueden sufrir daños irreversibles.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

La investigación fue desarrollada en la ribera del río San Pedro, en el tramo comprendido desde desembocadura de la quebrada William hasta la desembocadura de la quebrada Las Claras, con una longitud a través del cauce de 18,4 km aproximadamente. La desembocadura de la quebrada William al río San Pedro se encuentra ubicado geográficamente, a los  $07^{\circ} 42' 25.3''$  de latitud norte con respecto a la línea ecuatorial y a  $75^{\circ} 43' 42.1''$  de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich, a una cota de 163 m.s.n.m.; por su parte aguas abajo de la desembocadura de la quebrada William, el punto de confluencia de quebrada Las Claras en el río San Pedro se sitúa  $07^{\circ} 50' 34.6''$  de latitud norte

y  $75^{\circ} 42' 47.9''$  de longitud oeste a una cota de 71 m.s.n.m. Los terrenos de estudio del tramo estipulado, pertenecen a los corregimientos de San Juan de Asís, Juan José y Villanueva.

Según el ArcGIS Resource Center el procesamiento buffer se encarga de delimitar zonas de influencia de un elemento a partir de la distancia que el usuario indique, esa zona de influencia se basa en una geometría euclidiana bidimensional. Para efectos de este trabajo se realizó un buffer que encierra una distancia de 500 m a ambas, márgenes del cauce del río a lo largo del tramo señalado, lo cual se definió como la zona de ribera de estudio (Figura 1), donde existe la probabilidad de identificar minería aurífera aluvial y su área de influencia directa.

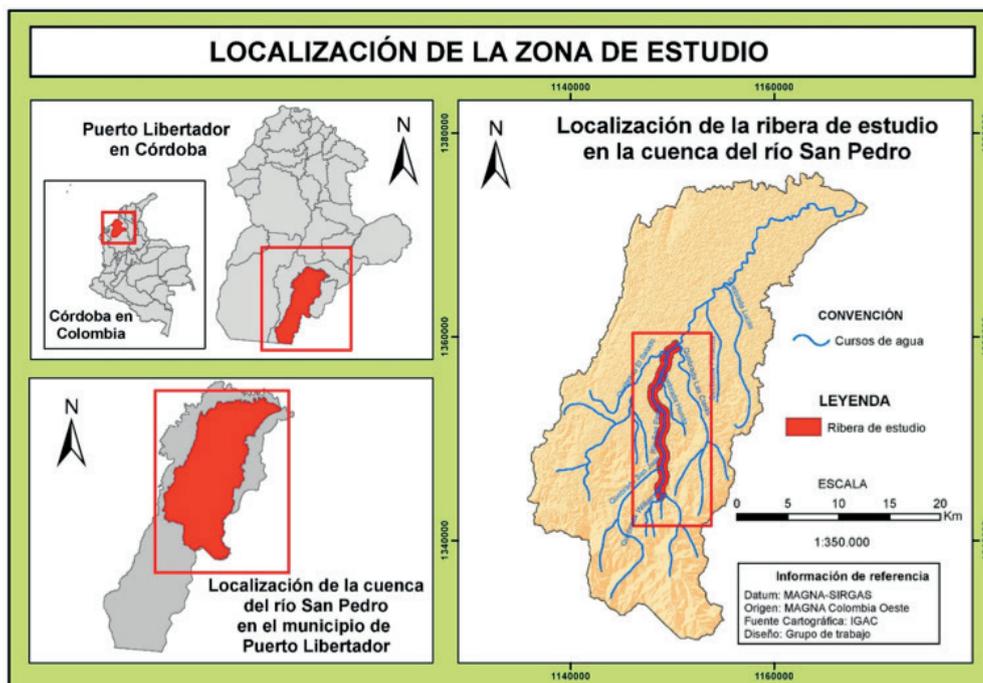


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

## 3. DISEÑO METODOLÓGICO

### Inventario de sitios afectados por la minería aurífera aluvial en la ribera de estudio.

Se realizó un recorrido contiguo al cauce del tramo de estudio que permitió hacer las observaciones respectivas a la ribera del río, con la intención de identificar los sitios afectados por minería aurífera aluvial para su georreferenciación, ubicación política, documentación de método de extracción

utilizado, estado y tiempo de explotación. Con esto se realizó un inventario donde se reportaron estos lugares donde se presentaba esta actividad.

El código de identificación de los sitios fue constituido por dos letras que indican el municipio en este caso PL por Puerto Libertador, estas letras van seguidas de un número correlativo de dos dígitos indicador del sitio minero.

Para este recorrido, se utilizó la cartografía básica del IGAC a escala 1:25000 (Planchas 92IB, 92IIA, 92ID y 92IIC) y del “Esquema de ordenamiento territorial 2005 – 2019” del municipio de Puerto Libertador, como instrumentos de orientación.

### **Establecimiento de las características geomorfológicas y edafológicas de los sitios afectados por minería.**

Las características geomorfológicas y edafológicas fueron determinadas en el trabajo de gabinete y posteriormente reconocidas en campo. En este proceso, tanto en gabinete como en campo, se utilizó el “Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Córdoba”, el “Esquema de ordenamiento territorial 2005 – 2019” del municipio de Puerto Libertador y cartografía básica del IGAC.

Resaltando para las características del suelo la clasificación agrológica y la indagación sobre cobertura y uso de suelo antes de la extracción de oro en los sitios intervenidos.

### **Descripción de sitios afectados.**

La descripción para cada uno de estos sitios se hizo con base a lo establecido en la “Guía técnica para orientar en la elaboración de estudios de caracterización de sitios contaminados” realizada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, en la cual consideran que se debe definir en la descripción de sitios, el área total ocupada directamente por la intervención minera con su respectivo polígono que encierre esta área perimetralmente.

Adicionalmente, la citada guía propone que se debe definir la ocupación que presenta el terreno, estableciéndose la identificación de sectores que serían extensiones del área total ocupadas con elementos comunes resultantes del laboreo minero, lo que se aplicó teniendo en cuenta como están definidos los sectores según el “Glosario técnico minero” del Ministerio de Minas y Energía de Colombia y el “Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas” diseñado por la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos y se fundamentó en las observaciones directas realizadas que quedaron evidenciadas en el registro fotográfico.

### **Evaluación de la degradación del suelo.**

La evaluación de la degradación se realizó utilizando como punto de partida la información

aportada por el proyecto “Global Assessment of Soil Degradation” (GLASOD) formulado y ejecutado en 1987 por UNEP (United Nations Environment Programme) e ISRIC (International Soil Reference and Information Centre).

En general, las observaciones y mediciones directas constituyen los métodos más confiables (López 2002); por lo que en este trabajo se aplicó una evaluación cualitativa que incluyó la utilización de un método cuantitativo, fundamentada en observaciones y mediciones directas en campo, que figuran como una de las categorías generales de la metodología propuesta por FAO et al. (1980) para evaluar la degradación.

Se tuvo como unidad objeto de evaluación cada sitio afectado por minería aurífera aluvial; a continuación se presentan los criterios y la metodología para abordar su estudio para el caso particular trabajado.

### **Niveles de degradación del suelo.**

Oldeman y Van Lynden (1998), establecieron en la metodología GLASOD una serie de características descriptivas usadas para evaluar el estado de la degradación de los suelos y clasificarla en uno de los cuatro niveles: ligero, moderado, severo y extremo.

Sin embargo se realizaron modificaciones en estos criterios teniendo en cuenta las particularidades de la zona de estudio y el enfoque de este trabajo, todo esto se presentan en la Tabla 1.

El proceso de determinación del nivel de degradación se realizó de acuerdo a un método cualitativo basado en las observaciones hechas en cada sitio durante el trabajo de campo, y una relación de factores tales como estado antes de la minería, duración y tipo de explotación, tiempo desde que cesó la actividad, ocupación, cobertura y pedregosidad del sustrato con lo que se infirió información que se utilizó para calificar el nivel de degradación para las funciones del suelo evaluadas.

Para definir en general el nivel de degradación para cada sitio, se tomó en cuenta el resultado de la calificación de las funciones analizadas, la que prevaleciera sería la calificación general.

**Tabla 1.** Funciones usadas para evaluar el estado de la degradación de los suelos.

FUNCIONES	NIVELES DE DEGRADACIÓN DEL SUELO			
	Ligero	Moderado	Severo	Extremo
<b>Cobertura vegetal</b>	Áreas descubiertas entre el 10 al 25%.	Áreas descubiertas entre el 25 y 50%.	Áreas descubiertas entre el 50 al 75%.	Áreas descubiertas que superan el 75%.
<b>Función biótica</b>	Anidamiento, refugio y reparación de macroorganismos.	Anidamiento, refugio y reparación de micro y mesoorganismos.	Actividad de la biota pionera y oportunista.	Solo presencia de la biota pionera más simple.
<b>Rehabilitación potencial</b>	Acciones de aislamiento y favorecimiento de coberturas nativas con resultados a corto plazo.	Acciones de aislamiento y favorecimiento de coberturas nativas con resultados a mediano plazo.	Aislamiento, requerimiento ingenieril y bioingenieril, con resultados a largo plazo.	Impactos causados son de carácter lentamente reversible.
<b>Capacidad de uso</b>	Agricultura tradicional con restricciones y pastos.	Agricultura de subsistencia con prácticas ligeras de manejo (conservación + nutrición).	Bosque protector y si se presenta las condiciones bosque protector productor.	Usos de conservación.

Fuente: Adaptado de la metodología GLASOD de Oldeman y Van Lynder (1998).

### Disponibilidad del recurso suelo.

Estuvo basado en la “Guía de evaluación ambiental del recurso natural suelo del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile” publicada en 2011, se define como la disponibilidad del recurso con características similares al suelo afectado, permite determinar si el suelo es un recurso escaso, mediante la realización de una relación de suelo afectado (degradado) sobre suelo que tenga igual características edafológicas.

Este suelo de igual características edafológicas corresponde al área de cada unidad de relieve donde se clasificaron los sitios afectados dentro del buffer de la zona de estudio, ya que se conoce la estrecha relación entre geomorfología y suelo. La disponibilidad dependerá del porcentaje de afectación.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inventario de sitios afectados por la minería aurífera aluvial en la ribera de estudio.

Se identificaron en total doce sitios afectados por minería aurífera aluvial, los diez iniciales se localizan en el corregimiento de San Juan, en los primeros seis kilómetros del tramo, y los dos restantes en el último kilómetro, en el corregimiento de Villanueva. Se encontró una distancia de más de 11 kilómetros sin intervención minera debido

a que los terrenos de la ribera en este sector del tramo pertenecen a grandes hacendados que no permiten el desarrollo de esta actividad.

Todos los sitios fueron intervenidos inicialmente con retroexcavadora pero en el momento de la visita a la zona se encontraban activos los sitios PL-02 y PL-10 con minería artesanal de “barequeo” mediante la utilización de canalón y motobombas. En la Tabla 2 se muestra la georreferenciación, estado y tiempo de explotación.

En la Figura 2 se presenta el mapa de ubicación de los sitios en el tramo estudiado y el estado de la minería de los sitios inventariados

### Establecimiento de las características geomorfológicas y edafológicas de los sitios afectados por minería.

Los primeros cinco sitios (PL-01, PL-02, PL-03, PL-04 y PL-05) presentaban similar características geomorfológicas, perteneciendo al paisaje de montaña, relieve de lomerío, mientras el resto de sitios al paisaje de planicie aluvial, y al relieve de plano de inundación.

Con relación al uso y la cobertura que tenían antes de la intervención minera según lo señalado por los habitantes de la zona, en el caso de los sitios PL-01, PL-04 y PL-05 presentaban pastos

**Tabla 2.** Sitios afectados por minería aurífera aluvial en la ribera de estudio.

Código de Identificación	Coordenadas geográficas	Duración de la explotación	Estado de la minería	Área total del sitio (m <sup>2</sup> )
PL-01	N 07° 42' 26.2" W 75° 43' 43.3"	6 meses	Abandonado	20.413
PL-02	N 07° 42' 38.9" W 75° 43' 49.6"	3 meses con retroexcavadora y activa por temporadas con motobomba	Activa con barequeo	11.908
PL-03	N 07° 42' 46.9" W 75° 43' 53.2"	1 meses	Abandonado	7.934
PL-04	N 07° 42' 56.2" W 75° 43' 46.6"	7 meses	Abandonado	53.982
PL-05	N 07° 43' 34.4" W 75° 43' 34.2"	2 meses	Abandonado	5.521
PL-06	N 07° 43' 45.8" W 75° 43' 39.1"	1 semana	Abandonado	3.145
PL-07	N 07° 44' 15.5" W 75° 43' 37.5"	3 días	Abandonado	4.916
PL-08	N 07° 44' 23.8" W 75° 43' 34"	1 mes	Abandonado	21.274
PL-09	N 07° 44' 55.3" W 75° 43' 39.1"	2 meses	Abandonado	25.602
PL-10	N 07° 45' 11.7" W 75° 43' 35.3"	1 año con temporadas activas y paralizadas	Activa con barequeo	49.129
PL-11	N 7° 50' 30.9" W 75° 43' 3.3"	5 años con temporadas activas y paralizadas	Activa con retroexcavadora	53.607
PL-12	N 07° 50' 34.5" W 75° 42' 47.8"	2 meses	Abandonado	3.714

Fuente: Adaptado de la metodología GLASOD de Oldeman y Van Lynder (1998).

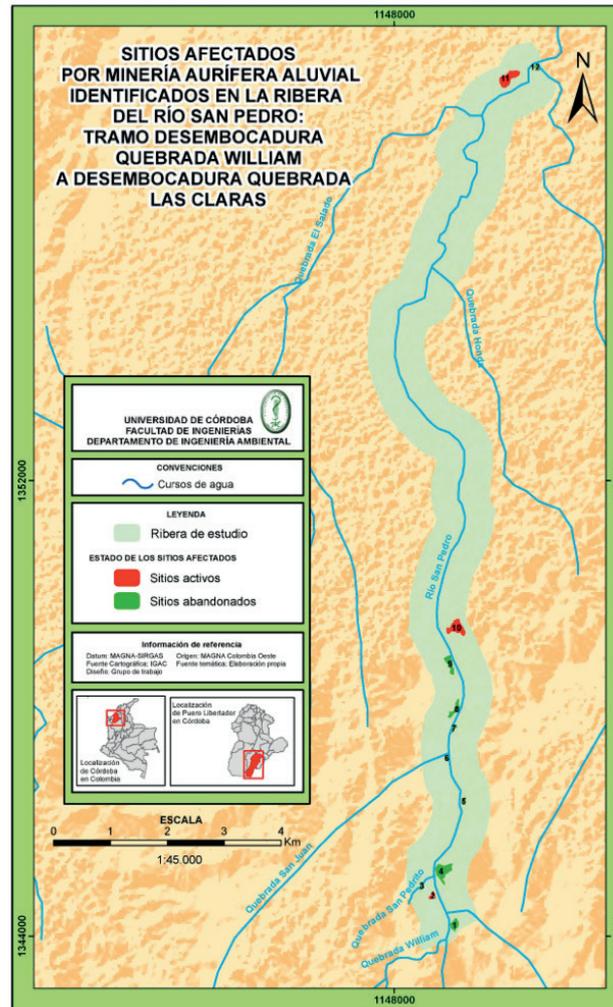
enrastrados con ganadería extensiva, mientras que los alrededores a los sitios PL-02 y PL-04 tenían como cobertura bosque de galería intervenido y su uso era la extracción forestal selectiva.

Los siete sitios restantes pertenecientes al plano de inundación; antes de la minería presentaban pastos nativos y ganadería extensiva, excepto el sitio PL-07 que era destinado para la agricultura de subsistencia con cultivos de maíz asociado con arroz seco.

Por otro lado, teniendo en cuenta el "Estudio General de Suelos de Córdoba" realizado por el IGAC en el año 2009 y las observaciones hechas en campo, para las tierras del paisaje de montaña la clasificación agrológica es clase VI, teniendo fuertes limitaciones por lo que deberían ser destinadas para cultivos multiestrata.

Para el paisaje de planicie aluvial son tierras clase IV, siendo terrenos que no poseen pendientes pronunciadas ni salinidad, pero tienen problemas de drenaje y son suelos de poca profundidad efectiva; estos suelos serían aptos para agricultura de subsistencia (cultivos de arroz seco y maíz), pastos nativos resistentes a la humedad y usos forestales.

De lo anterior es claro que los usos que se le daba antes de la minería a los suelos de los sitios aunque no eran precisamente para los cuales son aptos, en general no generaban un conflicto con la aptitud de las tierras y por lo tanto no sufrían procesos de degradación.



**Figura 2.** Sitios intervenidos por minería aurífera aluvial en el tramo de estudio.

**Descripción de sitios afectados.**

El área afectada de cada sitio es muy variable no superando los 60.000 m<sup>2</sup>, como se observa en la Tabla 2. En total fueron 261.145 m<sup>2</sup> afectados y degradados por la minería aurífera aluvial en la zona de estudio.

En cuanto a la ocupación del área en los sitios, se establecieron los siguientes sectores.

**Sectores con estéril.** Se presentó en los 12 sitios identificados, los estériles estaban dispuestos de manera irregular y desordenada, distribuidos en distintas extensiones del área, por lo que no se distingue un límite de área a ocupar específica destinada para ellos.

Se puede evidenciar la concentración de pilas de estériles de diferente tamaño apiladas en montículos con alturas aproximadas entre 0,5 m a 3 m con poco o ningún tipo de vegetación asociada, dispuestos sin criterios de estabilidad como se puede observar en las figura 3 y 4.

Excluyendo el tercer y décimo sitio, los demás por encontrarse a orillas del río San Pedro, eran susceptibles a procesos de inundación, por lo que posiblemente se podía presentar arrastre de los estériles por la corriente de agua.

**Sectores ocupados con laguna de colas abandonadas.** Excluyendo los sitios PL-07, PL-11 y PL-12, en todos los demás se presentan lagunas



**Figura 3.** Estéril apilado en el sitio PL-02.



**Figura 4.** Estéril esparcido y laguna de cola abandonada en el sitio PL-10.

de colas abandonadas, distribuidas en distintos lugares de los sitios conforme se daba el avance de los frentes mineros de explotación.

Las retroexcavadoras se encargaban de extraer el material aluvial formando grandes pozas que terminaron siendo lagunas de cola al hacer circular en las labores mineras los efluentes provenientes del tamizado del material aluvial de las clasificadoras con los chorros de agua bombeada (monitores) y del proceso de lavado con azogue (mercurio) del material fino.

**Sectores ocupados con lodos de minería.** Estos sectores se presentaban en los sitios que se identificaron activos durante la visita de campo, en los cuales se efectuaban descargas de lodos generados durante el proceso de beneficio del oro.

En el sitio PL-02, los lodos encontrados, estaban esparcidos en suelos que no eran objetos de explotación minera, los cuales presentaban su área enlodada, sobre la cual mientras siguiera el vertido sucesivo no se da el crecimiento vegetal. En el sitio PL-10 los lodos son susceptibles a procesos de inundación, por lo que posiblemente terminan mezclándose con el caudal del río San Pedro. En el caso del sitio PL-11 se observa una larga corriente de lodo vertido, que fluye desde el lugar de explotación en el sector de la laguna de cola activa y termina vertiéndose en el río San Pedro.

**Sectores ocupados con residuos de descapote.** Excluyendo los sitios PL-02, PL-11 y PL-12, en todos los demás se encontraron materiales

de descapote, generados en las operaciones de desmonte realizadas con retroexcavadora. Toda la capa vegetal fue removida y puesta inadecuadamente sobre la misma área explotada, mezclándose entonces con los estériles producidos en el laboreo minero, llegándose a generar la presencia de materiales espólicos. Estos sectores se identifican porque en ellos se evidencia la presencia de cobertura vegetal, dado que estos residuos conservan la fracción mineral y orgánica de lo que fue suelo conformado.

En cada uno de los sitios con residuos de descapote, se les realizó una excavación con el fin de determinar la presencia de horizontes, llegando a evidenciarse la no conformación de estratos, sino un mezclanza de materiales.

**Sectores ocupados con frentes de explotación inactivos.** Los sitios PL-02 y PL-03 presentan escape de terraza, tienen talud de excavación casi vertical realizada mediante la utilización de retroexcavadora sin tener en cuenta ningún criterio técnico de ángulos o pendiente de inclinación y obras de estabilización de éstos, que refleja un corte o cambio de pendiente brusco en la topografía.

En la explotación de los sitios PL-03 y PL-12 se presenta anegamiento, debido a que las retroexcavadoras arrancaron toda la capa superficial del terreno y extrajeron el material del depósito aluvial que contenía el mineral aurífero, dejando una excavación profunda que luego fue inundada por la quebrada San Pedrito y Las Claras respectivamente.

**Sectores ocupados con frente explotación activa.** En el sitio PL-02 se presenta un perfil aluvial descubierto donde se efectúa explotación artesanal (Figura 5). En el sitio PL-10 la explotación es realizada mediante el uso de “canalón”, y electrobombas para la toma de agua en el proceso de lavado y beneficio, que es captada de la laguna de cola abandonada.

En el sitio PL-11 se observó la presencia de una laguna de cola activa que ocupa 1.846 m<sup>2</sup> del área total del sitio, que vendría el 3,44%, donde se deposita todo el lodo resultante del proceso minero activo.



**Figura 5.** Frente activo de explotación en el sitio PL-02

### **Evaluación del recurso suelo**

- **Nivel de degradación del suelo.** Para cada sitio se evaluó el nivel de degradación en las funciones señaladas en la metodología.

La función de **cobertura vegetal** es muy variable, para los PL-01, PL-02 y PL-03, PL-11 y PL-12, en ellos el nivel es extremo, ya que poseen áreas descubiertas que superan el 75%, dado que durante la actividad minera se removió toda la capa vegetal generándose sectores como lagunas de colas que para estos sitios en particular representan un porcentaje significativo del área total, así mismos, la presencia de estériles dispuestos sin ordenamiento, sectores anegados, escarpes de terraza y frentes aún activos que ocupan el área, en general no generan las condiciones necesarias para la regeneración espontánea de cubierta vegetal, dándose

solo sobre algunos estériles y residuos de descapote revueltos con material espólico.

Los sitios PL-04, PL-05, PL-08, PL-09 y PL-10 se ubican en un nivel severo ya que las áreas descubiertas están entre 50 y 75 %, esto asociado a la presencia de sectores que ocupan el área de los sitios como lagunas de colas; sólo se evidenció cobertura vegetal sobre la mezcla de material espólico, residuos de descapote y algunos estériles donde ha empezado a producirse malezas. En el caso del sitio activo PL-10 hay que destacar que los lodos producidos en el proceso de beneficio están esparcidos en gran parte del sitio lo cual impide el crecimiento de vegetación.

Por otro lado, el sitio PL-06 se califica como nivel moderado lo cual se explica en base a que las operaciones mineras fueron muy breves, solo una semana, y no fue tan grave la perturbación, ya que no realizaron descapote en todo el terreno y solo hicieron una pequeña laguna de cola.

En el PL-07 el nivel se califica como ligero, el suelo sigue manejando similar cobertura a la que tenía antes de la intervención minera que fue muy leve y de corta duración (tan solo tres días), aunque se hizo remoción de material y se generaron estériles pero aun así fue posible que mantuviera un pequeño cultivo de arroz seco.

- **La función biótica** a causa de la explotación minera ha sido seriamente afectada, ya que la minería perturbo totalmente el ecosistema que existía en estos.

Idárraga et al. (2010) establece que la minería genera impacto biológico y ecológico por pérdida de biodiversidad edáfica, y de funciones ecosistémicas.

El suelo es hábitat biológico que permite albergar distinta biota de acuerdo a sus requerimientos ecológicos, así pues de acuerdo a esto se calificó el nivel de degradación de los sitios, en general se puede inferir que la actividad biológica ha decrecido, por ejemplo al estar destruida la estructura del suelo todas esas especies que se refugiaban en sus poros han sido dañadas. En las actuales condiciones de la mayoría de sitios el suelo no puede brindar

anidamiento, refugio y reparación de la fauna y flora porque este ha sido destruido quedando a su vez materiales espólicos incapaces de cumplir funciones ecológicas y ambientales.

La función biótica está estrechamente relacionada con la cobertura vegetal que fue removida en su mayoría y solo hay capa vegetal en algunas zonas dentro de los sitios que son básicamente malezas.

En los sitios PL-01, PL-05, PL-06, PL-08, PL-09 y PL-10 se presenta nivel moderado ya que la actividad minera ha causado que las condiciones solo sean suficientes para ofrecer anidamiento, refugio y reparación de micro y mesoorganismos.

El sitio PL-07 que presenta un nivel ligero (concepto que se define en la Tabla 1), ya que la presencia del cultivo hace que sea propicio para albergar macroorganismos tal como son los pequeños vertebrados.

En los sitios PL-02 y PL-11 el nivel de degradación es extremo aunque no se estableció se puede inferir que solo hay presencia de la biota pionera más simple que es la única capaz de surgir debido a que el estado de estos no ofrecen posibilidad para el desarrollo de ninguna otra actividad biológica, estando estos sitios aun activos sometidos a constantes intervenciones.

Los sitios PL-03, PL-04 y PL-12 presentan un nivel severo ya que a pesar de las precarias condiciones puede cobijar organismos oportunistas con capacidad de adaptación.

La **rehabilitación potencial** se considera que depende principalmente del estado de alteración en el que están los sitios afectados, así pues los PL-01, PL-02, PL-03, PL-04, PL-05, PL-08, PL-09 y PL-12 se califican como nivel extremo; en el caso de los sitios PL-01, PL-04, PL-08 y PL-09 el área afectada es muy grande y presentan gran cantidad de terreno ocupado por lagunas abandonadas, el sitio PL-12 esta anegado casi completamente, para los sitios PL-02 y PL-03 a efectos de las pendientes que hay que reconformar, volver a la topografía original está fuera de las posibilidades, en general estas son zonas de difícil acceso para el ingreso de la maquinaria requerida y

en definitiva los impactos causados son de carácter lentamente reversible.

Los sitios PL-05, PL-10 y PL-11 se califican como de nivel severo, ya que para su rehabilitación requieren importantes obras de ingeniería y bioingeniería, aunque no hubo una alteración de las condiciones topográficas, lo que facilitaría los trabajos a pesar de que en el caso de los sitios PL-10 y PL-11 son de gran extensión y cabe notar que son sitios activos y tal vez con el continuo avance de la actividad genere impactos prácticamente permanentes, así pues si se diera el debido aislamiento y los mencionados procesos en estos sitios es posible que a largo plazo se obtengan resultados, sin embargo no se asegura que el suelo vuelva a cumplir con su función productiva y ambiental de la misma forma que antes de ser intervenido.

Los sitios PL-06 y PL-07 tuvieron una duración de intervención minera muy corta con poca variabilidad, por lo que estos tendrían un requerimiento muchísimo menor; con acciones de aislamiento y favorecimiento de coberturas nativas se podría esperar obtener resultados a mediano plazo para el sitio PL-06 por tanto estando en nivel moderado y a corto plazo en el sitio PL-07 calificándose como nivel ligero.

En general lo que se recomienda, de ser posible, es cercar estos sitios y esperar que con el paso del tiempo mejore su condición y se den procesos de sucesión ecológica debido a que realizar una rehabilitación no resulta viable por la alteración de la topografía y la necesidad de grandes cantidades material para reconformar el terreno.

Con respecto a la **capacidad de uso**, el estado de los doce sitios (a excepción del PL-07 que aun sostiene un pequeño cultivo de arroz secano) después de la minería no resultaba adecuado para darle algún tipo de uso ya que la actividad minera generó un impacto de ocupación en el que finalmente hubo una pérdida total del suelo y de su potencialidad.

El movimiento de maquinaria pesada, utilización de áreas, la remoción y apilamiento de todo el material de desmonte y descapote, disposición de arenas con mercurio, disposición de estériles, disposición de

todos producto del proceso de beneficio, y la no reconfiguración de zonas explotadas, ocasionan impactos ambientales sobre el suelo y el paisaje asociados a la pérdida de su capacidad productiva y restricciones en su uso (Ministerio del Medio Ambiente 2002).

Para calificar la capacidad de uso se tiene en cuenta las condiciones de los sitios suponiendo un escenario futuro donde se diera un proceso de rehabilitación por lo cual está relacionada con la anterior función evaluada (rehabilitación potencial) y con la aptitud que tendrían estos terrenos.

En general en los sitios, el nivel de degradación es extremo dándose un cambio de aptitud de los suelos ya que la minería los ha dejado inhabilitados para usos agropecuarios (agricultura de pan coger y pastos) y forestales que eran su aptitud sin no hubieran sido intervenidos por la actividad minera; así pues, independientemente de que con el paso del tiempo se de una rehabilitación igualmente van a seguir teniendo severas limitaciones, y solo serán adecuados para conservación, es decir, que se establezca vida silvestre y/o usos recreativos.

Para el sitio PL-06 el nivel es severo, debido a que el impacto de la minería no fue tan intenso, por lo que si se implementan estrategias de rehabilitación adecuadas, es posible que sea capaz de sostener un bosque protector incluso si se dan las condiciones un bosque protector productor de especies nativas.

EL sitio PL-07 que fue el menos afectado donde la perturbación fue apenas considerable se califica como nivel ligero ya que a pesar de que fue intervenido ha sido capaz de sostener un pequeño cultivo y en este sitio se pueden dar prácticas ligeras de manejo (conservación + nutrición).

En la Tabla 3 se presenta la calificación general para el nivel de degradación para cada sitio, teniendo en cuenta el nivel que prevaleciera, es decir, los sitios que se califican como nivel de degradación extremo es porque todas las funciones o por lo menos tres de las cuatro evaluadas quedaron en este nivel; así mismo para ligero, moderado y severo; por su parte si dos funciones estaban en un nivel extremo

**Tabla 3.** Nivel de degradación de los sitios evaluados.

SITIOS AFECTADOS	NIVEL DE DEGRADACIÓN
PL-01	Extremo
PL-02	Extremo
PL-03	Extremo
PL-04	Entre severo y extremo
PL-05	Severo
PL-06	Moderado
PL-07	Ligero
PL-08	Extremo
PL-09	Extremo
PL-10	Severo
PL-11	Extremo
PL-12	Extremo

y las otras dos en severo, la calificación fue entre severo y extremo.

- **Disponibilidad del recurso suelo.** Del total de los 261.145 m<sup>2</sup> afectados, los cinco sitios ubicados en el relieve de lomerío ocupan 99.758 m<sup>2</sup>; los restantes 7 sitios que se encuentran en plano de inundación tienen un área de 161.387 m<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta el valor del área correspondiente al relieve de lomerío dentro de la zona de estudio delimitada dentro del buffer, se tomó como la cantidad de suelo de igual características edafológicas, así mismo para plano de inundación, siendo estos 1'514.000 m<sup>2</sup> para la unidad de lomerío y 9'586.000 m<sup>2</sup> para la de plano de inundación.

Para conocer la disponibilidad del recurso suelo se calculó el porcentaje de afectación por unidad de paisaje de acuerdo a las siguientes formulas generadas en base a los conceptos ofrecidos en la Guía de evaluación ambiental: Recurso natural suelo de Chile del año 2011.

Lomerío:

$$(\%) P_{Lomerío} = \frac{99.758}{1'514.000} \times 100$$

$$(\%) P_{Lomerío} = 6,59$$

Plano de inundación:

$$(\%) P_{Plano} = \frac{161.387}{9'586.000} \times 100$$

$$(\%) P_{Plano} = 1,68$$

Se observa que para el relieve de lomerío el recurso está más escaso dado que el porcentaje de afectación fue casi cinco veces mayor que para plano de inundación aun cuando este presenta mayor cantidad de área degradada, este resultado se explica porque el área de lomerío correspondiente al buffer de la zona de estudio es muchísimo menor y eso altera la realidad de la situación, que sería que la mayor afectación de los dos relieves es sobre el plano de inundación al haber mayor cantidad de puntos.

De acuerdo a estos resultados se concluye entonces que los porcentajes de afectación, es decir área de suelo degradada, son relativamente bajos, indicando que actualmente el recurso suelo en la zona de estudio no se encuentra escaso pero esa es una situación temporal porque es bien sabido que la minería avanza constantemente y el área afectada con el tiempo puede llegar a ser muchísimo mayor.

- **Degradación de los suelos afectados por la minería aurífera aluvial.**

Gardner (2001) señala que es frecuente el abandono de minas en malas condiciones con escaso o nulo tratamiento de rehabilitación, que es justamente la situación encontrada en la zona de estudio, donde estos sitios mineros la mayoría ya abandonados, quedaron gravemente afectados por esta actividad; en general la evaluación del estado de los suelos afectados por la minería aurífera aluvial en el tramo de estudio reflejo los severos procesos de degradación que ha venido sufriendo este recurso asociado a la actividad minera, llevando a un cambio de aptitud de estos suelos.

Antes de la intervención minera los sitios ubicados en el relieve de lomerío eran clase VI y en el de plano de inundación clase IV, después de que se diera esta minería sus limitaciones han aumentado al punto de que

su uso potencial está orientado únicamente a la conservación (Clase VIII); las únicas excepciones a estos fueron los sitios PL-06 que se podría considerar que paso a ser clase VII y el PL-07 que paso a clase V, ambos inicialmente se clasificaban con tierras clase IV, se explica esa situación ya que en estos dos sitios la degradación fue moderada y ligera respectivamente.

Según López (2002) la ocupación del suelo modifica directamente su calidad e indirectamente los ecosistemas que sobre él pueden desarrollarse, en las áreas intervenidas por minería la ocupación aunque es puntual y su efectos deberían ser temporales si se tuvieran en cuenta los manejos ambientales requeridos, pero en casos como los que se presentan en la zona de estudio donde esta es una actividad informal, no se tiene en cuenta ningún criterio ambiental teniendo como consecuencia una degradación prácticamente irreversible del recurso, ya que se generan una gran cantidad de residuos y lodos que son depositados en la superficie del entorno minero, que según Becerril et al., 2007 es frecuentemente inestable, y está formado por materiales poco aptos para el desarrollo de las actividades biológicas y los procesos formadores de suelo.

Todo lo planteado anteriormente genera la perdida de potencialidad de los suelos para sus funciones primarias así como para el desarrollo de ecosistemas.

En definitiva como señala Hernández (2006) esta minería genera impactos por conflictos por uso de suelos y pérdida total de suelos.

## CONCLUSIONES

En la zona de estudio se hizo la identificación de 12 sitios intervenidos por la minería aurífera aluvial, de los cuales 3 se encontraban activos durante la realización de este trabajo y los demás abandonados.

En las áreas intervenidas fueron destruidos todos los horizontes que conformar el perfil del suelo y se presenta ocupación con estéril, lagunas de colas abandonadas, lodos de minería, residuos de descapote, frentes de explotación activos y frentes explotación abandonados.

Antes de la minería se presentaba en estos sitios pastos para ganadería extensiva bosque de galería con explotación forestal selectiva, y cultivos de arroz seco y maíz.

A través de un método cualitativo de observación y medición directa en campo fue posible de determinar el nivel de degradación causado por la actividad minera sobre los terrenos donde se ha desarrollado.

Con la evaluación del nivel de degradación para los sitios afectados se concluye que prevaleció el nivel extremo quedando ubicados en este nivel 7 sitios (PL-01, PL-02, PL-03, PL-08, PL-09, PL-11 y PL-12); mientras que en los sitios PL-05 y PL-10 nivel severo, el sitio PL-04 quedó calificado como entre severo y extremo, el sitio PL-06 en moderado y PL-07 como ligero.

En relación con la disponibilidad, los porcentajes de afectación fueron bajos (para lomerío de 6,59 % y para plano de inundación de 1,68 %), lo que indica que el recurso suelo en la zona de estudio no se encuentra escaso pero esa es una situación temporal porque es bien sabido que la minería avanza constantemente sobre todo teniendo en cuenta que se asume que esta zona tiene gran potencial minero.

Se ha generado un cambio de aptitud en los suelos de los sitios afectados producto de las perturbaciones causadas por la actividad minera.

## REFERENCIAS

- [1]. Alcaldía Municipal de Puerto Libertador. 2005. Esquema de ordenamiento territorial (EOT) 2005-2017. Puerto Libertador.
- [2]. ArcGIS Resource Center. Buffer Method (en línea) <http://resources.arcgis.com/search/?do=search&start=0&lg=en&product=&version=&collection=&q=buffer>. Acceso: 5 de marzo (2016).
- [3]. Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). 2010. Pasivos Ambientales Mineros. Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas (en línea), Barquisimeto, Venezuela. [http://www.asgmi.org/wp-content/uploads/2013/02/Manual\\_Inventario\\_PAM\\_Completo.pdf](http://www.asgmi.org/wp-content/uploads/2013/02/Manual_Inventario_PAM_Completo.pdf). Acceso: 22 de junio (2014).
- [4]. Becerril, J., Barrutia, O., García, J., Hernández, A., Olano J. y Garbisu, C., Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación, Ecosistemas, Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, Asociación Española de Ecología Terrestre, ISBN 1697-2473 (en línea), 16(2), 2007. <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/128/125>. Acceso 15 de marzo (2015).
- [5]. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2005. Diagnóstico Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río San Jorge. CVS, Montería.
- [6]. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2008. Plan de Gestión Ambiental Regional – PGAR actualización 2008- 2019. CVS, Montería.
- [7]. Detwyler, T.R. (ed.). 1971. Man's Impact on Environment. McGraw-Hill, New York, USA
- [8]. FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. Metodología Provisional para Evaluación de la Degradación de los Suelos. FAO, Roma, Italia.
- [9]. Gardner, J. 2001. Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de Jarrah de Australia Occidental. Unasylva, Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, ISSN: 251-1584. (en línea), 52 (207), 2001. <http://www.fao.org/docrep/004/y2795s/y2795s03.htm#c>. Acceso: 30 de agosto (2015).
- [10]. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura. 2011. Guía de evaluación ambiental: Recurso natural suelo. SAG, Santiago de Chile, p1-12.
- [11]. Gobierno Federal de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Guía técnica para orientar en la elaboración de estudios

- de caracterización de sitios contaminados. SEMARNAT, México D.F. Internet <http://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/material-publicado/descargas/investigaciones/sitios-contaminados-o-potencialmente-contaminados-en-costarica/2365-guia-tecnica-para-orientar-en-la-elaboracion-de-estudios-de-caracterizacion-de-sitios-contaminados-mexico/file>. Acceso: 22 de junio (2014).
- [12]. Hernández, C., Diagnóstico de la Pequeña Minería (en línea), 2006. FRONTINO GOLD MINES LIMITED, <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/diagnostico-pequena-mineria/diagnostico-pequena-mineria.pdf>. Acceso: 8 de Septiembre de 2015.
- [13]. Idárraga, A., Muñoz, D., y Veléz, H. 2010. Conflictos socio-ambientales por la extracción minera en Colombia: Casos de la inversión británica. CENSAT AGUA VIVA. Amigos de la Tierra Colombia. Bogotá D.C.
- [14]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba a escala 1:100.000. IGAC, Bogotá D.C.
- [15]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Mapa geomorfológico del Departamento de Córdoba Escala: 1: 100.000. En: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba a escala 1:400.000. IGAC, Bogotá D.C.
- [16]. López, R. 2000. Degradación del Suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación. Trabajo de Ascenso (Prof. Titular), Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental Y Territorial, Mérida, Venezuela. p8, 55,223-226,246-248.
- [17]. Oldeman, L. y Van Lynden, G. 1998. Revisiting the GLASOD methodology. Methods Assess Soils Degrad Advances Soils Science Series: 423-440. Internet.
- [18]. <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=4gv5HEOrX8YC&oi=fnd&pg=PA423&dq=Revisiting+the+GLASOD+methodology.&ots=8iZY1IZ---&sig=d8PJSn45aEJpSA-CFWRKNY020W0#v=onepage&q=-Revisiting%20the%20GLASOD%20methodology.&f=false>. [5 enero 2015]
- [19]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). El proyecto GLASOD-SOTER. [en línea]. Internet, <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s05.htm> [3 enero 2015]
- [20]. Paradelo, R. 2013. Utilización de materiales compostados en la rehabilitación potencial de espacios afectados por residuos mineros y suelos de mina. Boletín Geológico y Minero, ISSN: 0366-0176, 124 (3): 405-419
- [21]. Peña, J. 2003. Minería y Medio Ambiente en Colombia. Tesis de Especialización en Gerencia del Medio Ambiente y Prevención de Desastres. Universidad Sergio Arboleda Bogotá D.C., p57.
- [22]. Minas y Energía (MME.) 2003. Decreto 2191 de 2003: "Por el cual se adopta el Glosario Técnico Minero". MME, Bogotá D.C.
- [23]. República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. 2002. Diagnóstico y Proyecciones de la Gestión Minero Ambiental para las Regiones Auríferas de Colombia. MMA, Bogotá