

**JIFI2018**  
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN  
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

## PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL INTEGRAL DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA, MINA A CIELO ABIERTO C.V.M. S.A. DIVISIÓN-NÍQUEL, TIARA, ESTADO ARAGUA

José Cova<sup>1</sup>, Alba Castillo<sup>1\*</sup>, Luis Bolívar<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela (FI-UCV), Caracas, Venezuela.

<sup>2</sup> C.V.M. S.A. División Níquel, Tiara, Estado Aragua.

\*[albajcastillo@gmail.com](mailto:albajcastillo@gmail.com). \*\* [Luisgbolivara@gmail.com](mailto:Luisgbolivara@gmail.com)

### RESUMEN

Esta propuesta se desarrolló para mejorar la responsabilidad ambiental en el uso minero del territorio, con miras a la recuperación de la cobertura vegetal y el cierre de mina, incluyendo variables: hidrológicas (lluvia, escorrentía), geomorfológicas (longitud y pendiente del terreno), geológica-geoquímica (granulometría y esfericidad de partículas) y biológica (cobertura vegetal removida). El yacimiento mineral Loma de Hierro está localizado a 87 km al suroeste de Caracas, con 7 km de largo y ancho variable entre 0,5 y 2 km. En la mina, fue cuantificada la pérdida de suelo mediante el método experimental de Parcelas de Erosión con Clavos (PEC) y el modelo RUSLE, (siglas en inglés de *Revised Universal Soil Loss Equation*). Fue evaluada la susceptibilidad al proceso erosivo con observaciones y mediciones in situ, luego de cada evento lluvioso, entre septiembre y diciembre de 2016. Fueron instaladas 2 parcelas en cada sector con pendiente de 8 a 10%, con dimensiones de 5 x 5 m, donde se colocaron 90 a 100 clavos. Fueron elaborados gráficos de espesores (pérdidas o ganancias de suelo). La precipitación total para el período de 4 meses fue de 1.163,12 mm/hr. La erosión neta fue de 304 ton/ha (septiembre), 384 ton/ha (octubre), 288 ton/ha (noviembre) y 304 ton/ha (diciembre). Fue diseñado el canal perimetral para escorrentía, con el software libre Hcanales, resultando 9 tramos de canal rectangular para velocidad máxima de 0,90 a 1,50 m/s, con tirante 0,6m y ancho de solera 0,7m. Se propuso la reconstrucción y mantenimiento de 6 muros de gravedad (gaviones) según diseño específico y el redimensionamiento de 18 lagunas o cuencas de sedimentación para 5.000 m<sup>3</sup> y tasa de sedimentación de 1.392 ton/ha. Se propuso crear un Grupo de Tarea en el Departamento de Planificación de Mina, que integre entre sus funciones la Gestión Integral de Sólidos en Suspensión Hídrica, desarrollando las actividades de control necesarias y suficientes, con la frecuencia requerida para adaptarse a los emergentes sistemas hidrometeorológicos, locales y regionales. Por último, se recomendó reinstalar y dar mantenimiento a la estación climatológica de Tiara, para monitorear los patrones cambiantes en el fenómeno del calentamiento global, con tendencia a eventos lluviosos más intensos y duraderos, como los registrados en fechas recientes, a nivel nacional.

*Palabras Clave: transporte de sedimentos en suspensión hídrica, parcelas experimentales de clavos de erosión, ecuación universal de pérdida de suelos, medidas de control ambiental.*

### ABSTRACT

This proposal was developed for greater environmental responsibility in mining use of territory, planning remediation to recuperate vegetal soil and cover, toward mine closure, including physical variables: hydrologic (precipitation, water discharge), geomorphologic (length and slope angle), geological (soil grain distribution and particle shapes) and, biological (removed vegetal cover).

#### SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053  
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>

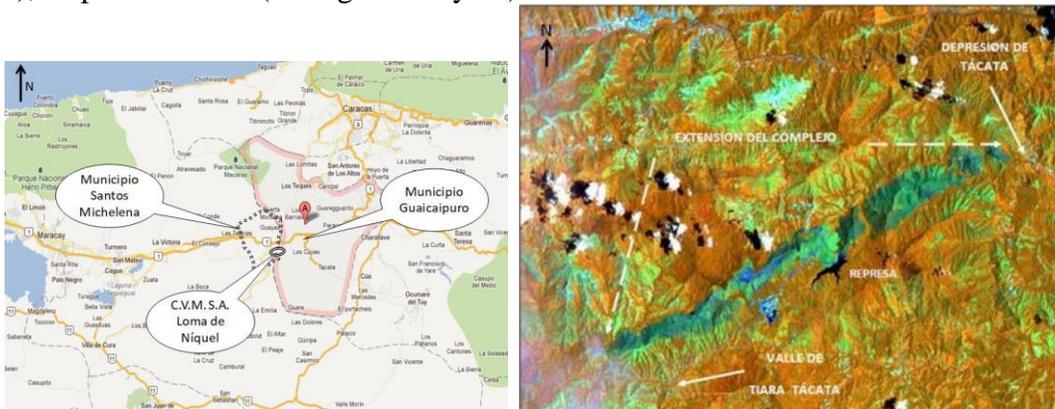


Loma de Hierro mineral ore is located at 87 km from southwest of Caracas, with 7 km long and variable width of 0.5 and 2 km. In the mine, it was quantified soil loss using the experimental localized method Erosion Nails Parcels (PEC) and the RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) model. It was evaluated the susceptibility to erosive process through observation and measurements in situ, after each rain event, between September and December of 2016. There were installed 2 parcels in each sector with slope from 8 to 10%, with dimensions of 5 x 5 m, in which there were placed 90 a 100 nails. They were elaborated soil thickness graphs (losses or gains of soils). Total precipitation for that period of 4 months was 1.163,12 mm/hr. Net erosion was 304 ton/ha (September), 384 ton/ha (October), 288 ton/ha (November) and, 304 ton/ha (December). It was designed a perimeter canal for water hydraulic conduction, using public software Hcanales, resulting 9 trams of rectangular section canal to maximum velocity of 0,90 to 1,50 m/s, with 0,6m tyrant and 0,7m bottom width. It was proposed the reconstruction and maintenance of 6 gravity walls (gabions) under specific design and the revision of 18 lagoons or basins to load 5.000 m<sup>3</sup> and sedimentation rate of 1.392 ton/ha. It was proposed creating a Task Team, at the Long Term Planning Staff, for Integral Management in Suspended Solids, to develop needed and sufficient environmental control activities, applying those required measures in such a frequency to adapt to emergent local and regional climatic systems at the interior of La Costa mountain range. Finally, it was recommended to reinstall and maintain the climatologic station in Tiara, so changing patterns can be monitored considering global warming phenomena, whose tendency continue to be toward more intense and lasting rain events, such as those registered in recent dates, in the Venezuelan national area.

*Keywords: water suspended solids transport, experimental parcels of erosion nails, universal soil loss equation, and environmental control measures.*

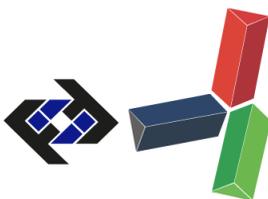
## INTRODUCCIÓN

Como muestran las figuras a continuación, la CVM-S.A. División-Níquel se ubica en el km 19 de la vía a Tiara desde la autopista Regional del Centro, km 54. El polígono del proyecto es de 7.000 Ha, entre Tiara y Altagracia de la Montaña, municipios Santos Michelena (Aragua) y Guaicaipuro (Miranda), respectivamente (ver figuras 1a y 1b).



**Figura 1a, 1b. Ubicación relativa, administrativa y geográfica- de CVM-S.A. División Níquel, estados Aragua y Miranda.**

El área minera está en una estribación montañosa (serranía del Interior) con vertientes y laderas, cuya elevación varía entre 395 y 1.005m (respecto al nivel medio del mar). Durante décadas fueron



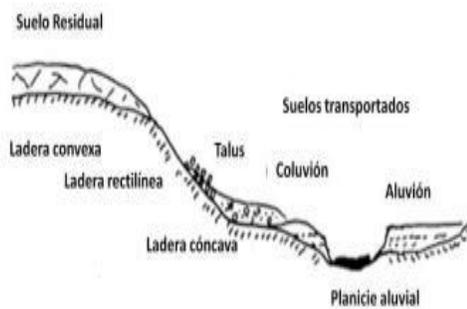
registradas lluvias máximas y mínimas anuales, en 14 estaciones; en Hacienda La Emilia, 1.580 mm (a 585 msnm) y Tiara, 1.405 mm (a 750 msnm) y, en Quebrada Seca, 826 mm (a 650 msnm). Fueron considerados representativos del área minera los registros en Tiara (desde 1952). La planificación y diseño minero (extracción y procesamiento mineral) fue para 1,3 millones de toneladas secas/ año, como producción máxima y vida útil de 30 años. Desde el contenido promedio de níquel 1,5% de la mena (saproлита níquelífera) se enriquece a ferroníquel como producto y arena industrial como residuo. La geología regional se caracteriza por las formaciones Tucutunemo y Tiara, entre Mesozoico y Cenozoico. Éstas, fueron sometidas a eventos metamórficos y tectónicos (la placa del Caribe sobre la Suramericana). En el cuerpo principal, de 21 km, el Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro (Van Berkel et al., 1989), afloran rocas ultramáficas, gabroides y volcánicas (metamórficas e ígneas). Lo cubre un manto regolítico, producto de alteración (laterización), por variaciones en temperatura y circulación de aguas de infiltración, a través de fisuras o diaclasas. La alteración de la estructura primitiva (lamelas de hidratos de hierro y de sílice residual) hace más porosa y permeable a la roca, facilitando reacciones geoquímicas, después del período de lluvias intensas, con erosión acelerada. El perfil de suelo varía de laterita (manto arcilloso) a la zona de transición (límite entre zonas 1 y 2), de color amarillento y mayor contenido de arcillas, hasta saprolitas, masa de arcilla o grava donde todavía se observan estructuras de roca original y Serpentininas ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ).

## METODOLOGÍA

Como propone Bullock et. al., (1999) en la tabla a continuación, esta investigación consideró al suelo como la fina capa superficial de la Biosfera, donde tienen lugar procesos esenciales para el funcionamiento de ecosistemas terrestres: suministro de agua y nutrientes para las plantas, descomposición de restos orgánicos y producción de fitomasa (ver Tabla 1). Suárez (2001) en el perfil del terreno clasifica los tipos de suelos como residuales y transportados (ver figura 2).

**Tabla 1. Dimensiones y variables ambientales consideradas En esta investigación. (Tomado de Bullock et al., 1999).**

<b>Económicas</b>	Producción de alimentos, moras, energía, minerales, vías de comunicación, etc.
<b>Ecológicas</b>	Suministro de nutrientes, reciclaje de materia orgánica, ciclo del agua, filtro de contaminantes.
<b>Biológicas</b>	Hábitat para la fauna y microorganismos, banco de genes, reserva de biodiversidad, etc.
<b>Hidrológicas</b>	Almacén de agua, control de la escorrentía, suministro para las plantas.
<b>Control de la contaminación</b>	Fuente y sumidero para contaminantes, reciclaje de residuos. Capacidad filtrante, Fuente y depósito de gases invernadero.
<b>Paisaje y patrimonio cultural</b>	Indicador de la evolución del paisaje, preservación material paleontológica.



**Figura 2. Perfil del terreno con clasificación de ladera y planicie aluvial (Suárez, 2001).**

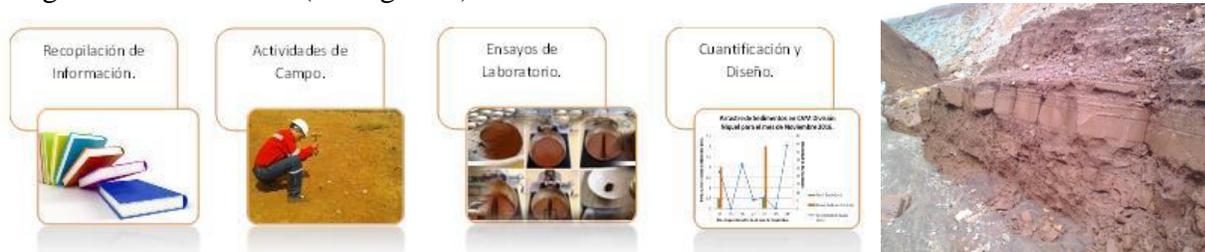
La erosión, como desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de fuerzas generadas por movimiento del agua, flujo que al concentrarse en canales, produce surcos y cárcavas. Las gotas de lluvia contribuyendo al desprendimiento de partículas (o granos), con sedimentación de materiales en pie de talud y en quebradas naturales. La

erosión antrópica, como proceso inducido por un repentino e inadecuado uso de la tierra, con desmesurado incremento en tasas de pérdida de suelo superficial, denominado erosión acelerada (García-Chevesich, 2008). La erosión hídrica, causada por acción de gotas de lluvia sobre terreno no protegido por vegetación, separa partículas y son arrastradas por el escurrimiento. Los modelos para estimar pérdida de suelo, subdivididos en: aquellos basados en procesos físicos de erosión (ecuaciones matemáticas basadas en leyes de conservación de masa y energía) y, en empíricos, basados en series de algoritmos matemáticos y de correlaciones con factores erosivos, sin establecer una relación causa-efecto directa con pérdida de suelos. La modalidad adoptada en esta investigación es de tipo Cuantitativo, al relacionar los valores medidos de pérdida de suelo con variables físicas del área. Como muestran las figuras, más abajo, se realizó: recolección y análisis de datos en campo, identificando zonas críticas: taludes, vías de acarreo, drenajes y lagunas de sedimentación, en áreas de explotación, campaña de muestreo de materiales in situ y removidos, ensayos de laboratorios. La investigación también es Descriptiva – Analítica del control de las aguas. Se aplicaron Mediciones Localizadas (PEC) y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE). La medición directa de los cambios en el nivel de suelos (porque los índices de erosión son elevados y predecibles). Las Parcelas de Erosión con Clavos, sistema sencillo y de bajo costo, permite tomar muestras y medir in situ, consiste en introducir un grupo de varillas, de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que en su parte superior se pueden percibir los cambios, 30 cm de longitud y diámetro 0,5 cm (Hudson, 1997) (ver Figuras 3a, 3b y 3c).

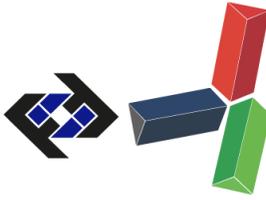


**Figuras: 3a. Elementos (cabillas calibradas) para medición de pérdidas y ganancias de suelos en la parcela experimental, 3b. Proceso de medición en sitio. 3c. Prueba de laboratorio de Casagrande para determinación de plasticidad en fracciones arcillosas de los suelos en CVM-S.A., División Níquel.**

La metodología de cálculo para el análisis de las mediciones PEC ha sido la de Cuitiño (1999), la Erosión Neta (En), en ton/ha, es la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en metros cúbicos por hectárea o toneladas por hectárea según el flujograma en la figura a continuación (ver figura 4).



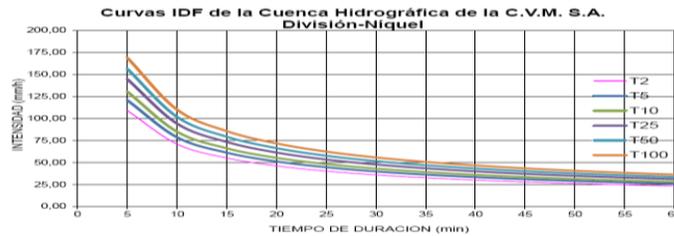
**Figura 4. Flujograma del proceso de investigación: recopilación de información, mediciones, análisis y resultados para el control de sedimentos en suspensión hídrica, CVM-SA, División Níquel.**



Se expresa como:  $E_n = E - S$ , donde:  $E$  = Erosión media de la parcela (ton/ha) y  $S$  = Sedimentación media de la parcela (ton/ha). El suelo movilizado ( $S_m$ ), cuantificando la erosión media y la sedimentación ocurrida. La expresión permite describir la totalidad de suelo que se movilizó en el terreno,  $S_m = E + S$ , donde:  $E$  = Erosión media (ton/ha) y  $S$  = Sedimentación media (ton/ha). Según Wischmeier y Smith (1958),  $A = R * K * L * S * C * P$ , donde:  $A$ , Pérdida media anual de suelo (ton/ha/año);  $R$ , Factor de lluvia;  $K$ : Factor de erosionabilidad del suelo;  $L$ , Factor de longitud del declive del talud;  $S$ , Factor de pendiente del talud;  $C$ , Factor de cubierta vegetal y uso del suelo y  $P$ , Factor de control de la erosión.

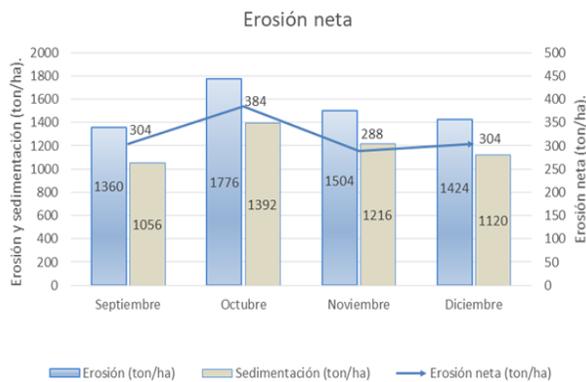
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron los promedios de precipitaciones mensuales y fue calculada la familia de curvas: Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la mina y en el lapso de tiempo registrado, como muestra la figura a continuación (ver Figura 5).

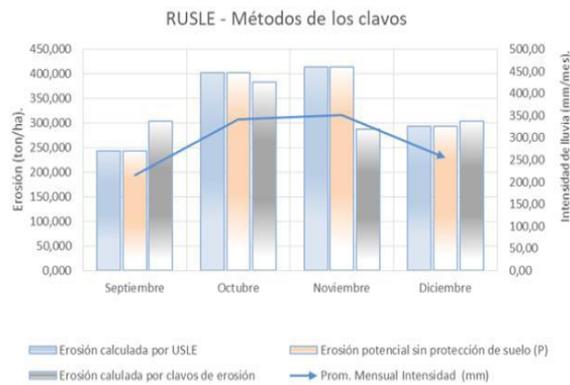


**Figura 5. Familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para CVM-SA, División Níquel**

A partir de las mediciones PEC, en sitio y aplicando la metodología de cálculo se obtuvieron los histogramas de Erosión Neta y aplicando las estimación del modelo RUSLE fue posible establecer las comparaciones entre métodos de campo y analíticos, como muestran las figuras a continuación (ver figuras 5a y 5b).



**Figura 5a. Histogramas de erosión neta**



**Figura 5b. Comparación de resultados con RUSLE.**

Con mapas topográficos y fotografías aéreas, se evidenció el área de la cuenca tributaria que aporta agua al terreno intervenido, delimitando 3 subcuencas (1, 2 y 3) en sentido suroeste-noreste. Con áreas y registros de precipitaciones diarias, se calculó el caudal de cada subcuenca hidrográfica

(Q), con coeficiente de escorrentía para pendiente pronunciada, como muestran las imágenes a continuación (ver fotos 6a, 6b y 6c)..

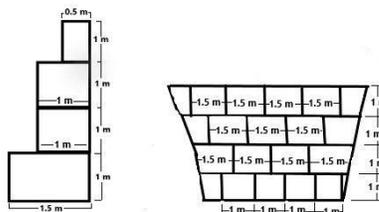


**Imágenes 6a a 6c. Subcuencas 1, 2 y 3, de la mina CVM-SA, División Níquel, Tiara, estado Aragua.**

El personal de Planificación de Mina toma las decisiones sobre estructuras de drenaje y con el uso del software se realizó un replanteo para el dimensionamiento de los elementos del canal, resultando 2 nuevas configuraciones, para el canal de geometría rectangular, aplicando los criterios siguientes: canal para una máxima eficiencia de conducción de agua y canal para una mínima infiltración del agua en el subsuelo. Con caudal de diseño  $0,542 \text{ m}^3/\text{s}$ , fueron calculadas las canalizaciones y diferentes estructuras para retención de sedimentos, tomando en consideración que una parte de las aguas escurren a drenajes naturales de la cuenca. Se propusieron 9 tramos de canal de 0,70 m de ancho por 0,60 m de alto, con caudal variable, debido a que cada subcuenca aporta distintas cantidades de agua. Sobre la cuenca alta del río Mesia (sector 1) se mantienen 4 gaviones, al Sur de la vía sobre el paso del bosque, para la retención de los sedimentos transportados por el drenaje natural. La imagen satelital, la figura central y la foto que se presentan a continuación muestran la distribución de los diques, la sección del muro tipo gavión y la vista frontal del muro de gravedad para retención de sólidos (ver figuras 7a, 7b y 7c).



**Figura 7a. Imagen satelital con diques.**

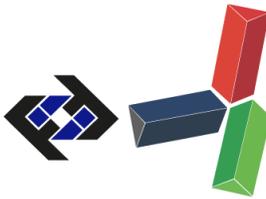


**Figura 7b. Sección del gavión.**



**Figura 7c. Vista frontal de gavión.**

Los gaviones fueron diseñados para recolectar 576 toneladas de material granular, con nivel pluviométrico registrado desde 2003; los 2 primeros, aguas abajo, colapsarán porque las bases sufrieron desplazamiento por la fuerza de empuje, impidiendo cumplir con la función de disminución de la energía hidráulica del caudal y la retención de sedimentos transportados. Los restantes presentan buenas condiciones, pero están colmatados y el agua fluye libre por el coronamiento. Se cuenta con 18 lagunas de sedimentación de distintas dimensiones, cuyo mantenimiento y restauración de capacidades volumétricas está pendiente por continuidad. Las imágenes que siguen a continuación muestran el deterioro actual de algunas estructuras de retención y la colmatación de las obras hidráulicas con sólidos, el dique de retención (gavión) y lagunas de sedimentación, las cuales requieren el mantenimiento permanente (ver fotografías de las figuras 8a, 8b y 8c).



**Figuras 8a., 8b y 8c. Fotografías de las condiciones de deterioro y colmatación de las estructuras de retención de sólidos, CVM-SA, División Níquel, Tiara, estado Aragua.**

## CONCLUSIONES

Se requiere designar un Grupo de Control de Sedimentos que planifique el control integral de sólidos y programar el uso de equipos electromecánicos, ejecutando conectando los elementos de control de erosión-sedimentación y garantizando el funcionamiento del sistema, sin afectar las operaciones mineras. Es preciso realizar el replanteo en las dimensiones de las lagunas para contener  $5.000\text{m}^3$ , teniendo en cuenta que el volumen de suelo sedimentado es de  $870\text{ m}^3/\text{ha}$ , en los meses de invierno, para realizar labores de limpieza y mantenimiento de febrero a marzo. Se proponen labores de reparación y mantenimiento de todos los gaviones que retienen los sedimentos que van dirigidos al cauce del río Mesia y otros dos (2) que se encuentran al Norte del sector 3, cerca de la quebrada Agua Amarilla, ya que se pondría en riesgo la calidad de agua de la zona. Se requiere la instalación de pluviómetro con telemetría y mediciones horarias y mensuales transmitidas a la base de datos del Departamento de Planificación de Mina. Se requiere la supervisión de drenajes y elementos de control para la detección oportuna de fallas, presentes y potenciales, así como la predicción de futuras fallas en los elementos del sistema de control de sedimentos. La frecuencia de supervisión es trimestral y realizarlas con anticipación suficiente para limpieza y reparación antes de las lluvias (mayo o preferiblemente en febrero), así como aquellas supervisiones necesarias ante anuncios por eventos climatológicos extremos en la región caribeña, de alcance escala regional o nacional. También, se requiere Informe de Supervisión.

## REFERENCIAS

- Ayala F. y Vadillo L. (1999). "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería". 4ta Ed. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, España. 323 p.
- Barrientos, J. (2007). "Evaluación de vías y drenajes con fines de mejoramiento del rendimiento de operaciones mineras para las canteras de arcilla y caliza en HOLLICIM (Venezuela) C.A., planta Cumarebo, estado Falcón". TEG Escuela de Geología, Minas y Geofísica. UCV.
- Brea, J. y Balocchi, F: (2010). "Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas". Documento Técnico N° 22. Programa Hidrológico Internacional.
- Castillo, A. (2003). "Curso de Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto". Instituto Tecnológico de la Facultad de Ingeniería. UCV.
- Cuitiño, H. (1999). "Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII región". Tesis, Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Talca, Chile.
- Suárez, J. (2001). "Deslizamientos: Análisis Geotécnico" Volumen I. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.