



**Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**Facultad de Geología y Minería
Departamento de Geología**

Título: Procesos naturales que intervienen en la revegetación de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”.

(Tesis en opción al título académico de Máster en Geología)

Maestría en Geología, Mención Geología Ambiental

9^{na} Edición.

Autor: Ing. Pablo Antonio Garrote García

Moa, 2015



Instituto Superior Minero Metalúrgico

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad de Geología y Minería

Departamento de Geología

Título: Procesos naturales que intervienen en la revegetación de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”.

(Tesis en opción al título académico de Master en Geología)

Maestría en Geología, Mención Geología Ambiental

9^{na} Edición.

Autor: Ing. Pablo Antonio Garrote García.

Tutores: Dr. C. Grisel Herrero Echevarría.

M. Cs. Beatriz Riverón Zaldívar.

Moa, 2015

PENSAMIENTO

“La ecología y el medio ambiente ocuparon parte primordial de mi vida sobre la ensenada de Arroyo Blanco se han alterado los equilibrios de ecosistemas que pueden estar en peligro de extinción, lo que me llevó a presentar este trabajo en favor de mejorar la calidad de vida de las comunidades cercanas y la salud de la ensenada de Arroyo Blanco”.

Autor

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme alcanzar este logro, con el todo sin el nada.

A mi mamá Farah por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mi esposa Ivet por soportar la ausencia en favor de mi superación.

A los tutores Grisela, Alina y Beatriz, por siempre brindar sus conocimientos y apoyo incondicional. Personas como ustedes son imprescindibles en toda revolución.

A todos los profesores que impartieron en esta maestría, compañeros, amigos y amigas con quienes compartí esta grata experiencia.

A todos mil gracias por ser parte de mi vida. Dios le llene de bendiciones.

Pablo Antonio Garrote García.

DEDICATORIA

A: mis tutores por confiar en mí y por estar siempre que los necesité.

A: mi mamá por estar cuando lo necesité y comprenderme en cada momento de la vida.

A: esposa, familia y amigos por creer siempre en mí.

A: mis profesores por su dedicación y entrega.

*Juntos Seguiremos Venciendo, "La única lucha que se pierde
Es la que se abandona " Ernesto Che Guevara*

RESUMEN:

Las afectaciones ambientales son sin duda ocasionadas por el hombre en busca del desarrollo y calidad de vida, provocando alteraciones a los ecosistemas cercanos sin tener en cuenta su daño, los depósitos industriales son inevitables y su ubicación constituye a largo plazo un problema ambiental, alterando el equilibrio de todo a su alrededor. La bahía de Levisa y la ensenada de Arroyo Blanco son las que más han sufrido de esta contaminación y alteración reflejada en sus poblaciones y ecosistemas.

El estudio de los problemas relacionados con la morfología y los procesos erosivos que influyen en la alteración del equilibrio de la ensenada de Arroyo Blanco y la Bahía de Levisa, que ocurren en el depósito de colas conllevó a buscar soluciones que permitieron mitigar dichos problemas uno de los cuales constituye el presente trabajo de investigación titulado: **Procesos naturales que intervienen en la revegetación de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”**. Que tiene como objetivo caracterizar los procesos geológicos negativos para el establecimiento de las soluciones a los problemas ambientales que se han originado.

Para el mejoramiento de los efectos de la contaminación se establece un experimento que consiste en lograr sobre las colas una cobertura vegetal con un tipo de vegetación seleccionada que contamine lo mínimo posible y a su vez conserve el depósito, pues el futuro uso y comercialización de estos recursos minerales constituye una fuente potencial de empleo en su reutilización. Lo que se traduce en y consecuente elevación del nivel de vida de los pobladores de la localidad de Nicaro en el municipio Mayarí.

Palabras claves:

Presa de colas, revegetación, alteración, contaminación.

SUMMARY:

The environmental affectations are without a doubt caused by the man in search of development and quality of life, provoking alterations to the close ecosystems not taking into account his damage, the deposits the industrials are inevitable and his position constitutes in the long run an environmental problem, altering the equilibrium of everything to his around. Levisa's bay and White Arroyo's inlet are them what else they have been afflicted with this contamination and alteration reflected in his populations and ecosystems.

The study of the problems related with morphology and the erosive processes that influence the alteration of the equilibrium of White Arroyo's inlet and Levisa's Bay, that happen at the deposit of tails and bore to look for solutions that allowed to mitigate the aforementioned problems one of whom constitute the present put a title to research work: Natural processes that they tap in the revegetation of the prey of company tails Niquelífera Comandante René Ramos Latour in Nicaro. That you aim at characterizing the geological negative processes to the environmental problems that have originated for the establishment of the solutions.

An experiment that involves achieving on the tails a vegetable coverage with a kind of selected vegetation that the possible minimum contaminate and that in turn preserve the deposit becomes established for the improvement of the effects of contamination, because I use the future and a potential source of job in his re-utilization constitutes commercialization of these mineral resources. What translates itself in and consequent elevation of the standard of living of the inhabitants of Nicaro's locality at the municipality Mayarí.

Key words:

Prey of tails, revegetation, alteration, contamination

ÍNDICE

RESUMEN:.....	IV
SUMMARY:	V
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	16
1.1 Introducción.....	16
1.2 Presas de residuos.....	16
1.3 Estado del arte.	17
1.3.1 Investigaciones Geológicas.	18
1.3.2 Minería / Tecnología. Muestreos Tecnológicos y Cemento.....	18
1.3.3 Ingeniería y Medio Ambiente.....	19
1.3.4 Conservación de las presas de colas.....	20
1.4 Características Físico – Geográficas y Ambientales del área de estudio.	22
1.4.1 Ubicación geográfica.	22
1.4.2 Geología.....	23
1.4.3 Tectónica.....	24
1.4.4 Sismicidad.	26
1.5 Geomorfología de la Presa de Colas.	27
1.5.1 Relieve y Costas.	27
1.5.2 Procesos Erosivos.....	28
1.5.3 Clima y Calidad del aire.....	30
1.5.3.1 Clima.	30
1.5.3.2 La temperatura del aire.....	30
1.5.3.3 La humedad relativa.	31
1.5.3.4 Vegetación y flora.	32
1.5.3.5 Suelos.	33
1.6 Conclusiones.	33
CAPITULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	34
2.1 Introducción.....	34
2.2 Etapa preliminar: Revisión bibliográfica.	35

2.3 Segunda etapa: Procesamiento de la información.....	35
2.3.1 Metodología utilizada en la determinación de los procesos erosivos.	36
2.4 Selección de especies forestales y herbáceas y determinación de dosis demejoradores de sustratos para establecer la vegetación seleccionada.	40
2.4.1 Reforestación de diques.....	40
2.4.2 Análisis de suelo.....	43
2.4.2.1 Análisis agroquímico de las colas.	43
2.5 Conclusiones.	44
CAPÍTULO III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Caracterización físico-química de la presa de colas.....	45
3.2.1 Resultados de la Composición agroquímica de las colas.	45
3.3 Resultados de los análisis químicos de suelo y agua.....	50
3.4 Procesos erosivos en la presa de colas.	51
3.5 Retorno de especies.	59
3.6 Medidas de mitigación que mejoren la calidad ambiental de los ecosistemas circundantes.....	61
3.7 Conclusiones.	62
Conclusiones Generales.	64
Recomendaciones.....	65
Referencia Bibliográfica.....	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE LAS ABREVIATURAS UTILIZADAS	66
RELACIÓN DE ANEXOS.....	70

INTRODUCCIÓN

La producción de níquel en Cuba, cuenta con una de las tres mayores reservas de níquel en el mundo. Éstas se ubican en los municipios de Mayarí y Moa, al noreste de Holguín, provincia que fue tradicionalmente una región agropecuaria y que actualmente es una de las principales zonas Industriales de Cuba. La producción de la bien llamada “Tierra del Níquel”, aporta el 20% de los ingresos económicos del país por concepto de exportaciones.

La importancia económica actual de los yacimientos de concentración residual, radica en su contenido de níquel y de cobalto, que son los metales que se han venido concentrando como producciones finales en las plantas existentes. También se encuentran en ellos cantidades importantes de hierro y aluminio y, en menor proporción, de cromo y manganeso (Vera, 1979).

No se puede dejar de resaltar el valor que para la economía del país implica la extracción del Níquel, siendo este un renglón de gran importancia, y por ende algo que no se puede evitar, trayendo consigo, la priorización de los intereses económicos sobre los problemas ambientales. A la luz de los nuevos conceptos de desarrollo sostenible se impone la interacción equilibrada del hombre con la naturaleza que permita simultáneamente su subsistencia y la conservación del medio donde habita (Herrero et al., 1995b).

Antecedentes

A principios del siglo XX, en 1909 se construyeron instalaciones mineras, industriales y portuarias en el actual territorio de Mayarí, para la producción y exportación de núcleos de hierro. Comienza así el desarrollo minero industrial en Pinares de Mayarí. Hasta 1938 se exportó a Estados Unidos más de 5 000 000 t de mineral de hierro como materia prima por la SPANISH AMERICAN IRON CO. y subsidiaria de la Pennsylvania Steel Co. Posterior a esta etapa se descubre la riqueza niquelífera

existente en esta región (Colectivo de autores.(2010).

La industria minero-metalúrgica de explotación y beneficio de níquel comienza en la región de Nicaro en marzo de 1942, fomentada por la compañía norteamericana Nicaro Níquel Company, subsidiaria de la Freeport Sulphur Company. Para la realización de los estudios topográficos y el levantamiento de las líneas férreas se contrató a la compañías Ford-Bacon and Davis y a la Frederick Snare Corp.

El lugar que actualmente ocupa Nicaro se llamó originalmente Lengua de Pájaro, el cual era un poblado de pescadores y campesinos, habitado por unas pocas familias hasta que comenzó la construcción de la planta de níquel en la zona y la población creció con la afluencia de los trabajadores temporales convocados para ello.

Para lograr una rápida puesta en funcionamiento de la planta metalúrgica, se llegó a contratar un total de 11 000 obreros, muchos de los cuales, ya culminada la fábrica, se establecieron en las inmediaciones de la planta, para formar la actual población de Nicaro, la cual, ya en el primer censo realizado en 1944, arrojó la cantidad de 2838 habitantes permanentes y más de 2000 temporales.

Ese desarrollo industrial, fundamentalmente en las ramas de la minería y la metalurgia, generó severos impactos ambientales, pasando a constituir uno de los factores principales de afectación al medio ambiente. Por el propio carácter de la actividad minera a cielo abierto, la explotación requiere de la total afectación superficial del medio y, una vez que se agotan las reservas minerales, la recuperación de los “paisajes lunares” que generan los métodos de explotación selectiva o “de cosecha”, que se heredaron de los antiguos dueños, es compleja y costosa (Geigel, 1989).

Como producto colateral en el proceso industrial metalúrgico del níquel se generan grandes volúmenes de residuos, los cuales se depositan en depresiones o zonas con condiciones topográficas adecuadas como reservorios para estos fines, a éstos se les llaman presas de colas. (Geocuba, 2005)

El contenido de desechos de la Empresa Comandante René Ramos Latour está dado por la acumulación de subproductos industriales de minerales silicatados de Ni (limoníticos y serpentínicos) beneficiados por lixiviación amoniaca. El volumen de estos ha estado en dependencia de la escala de las operaciones que se desarrollan.

Desde su inicio en 1943 y hasta 1958 la fábrica de Nicaro tuvo su presa de colas en el lugar que hoy ocupa la pista de aterrizaje, al Sureste de la península Lengua de Pájaro, ubicación que trajo muchos trastornos a los moradores de la comunidad debido a las nubes de polvo que se levantaban con las operaciones, lo que movilizó a un grupo de mujeres que, acompañada de sus hijos, se presentaron en la portada de la fábrica con su líder Acacia Rondón (luego combatiente del ejército rebelde), donde Mr. White, administrador norteamericano que se concientizó con el problema, dijo: “Cuando las mujeres de los trabajadores protestan, algún problema tienen”; y a partir de entonces y durante cuatro meses se cubrió el depósito y se reubicó en el lugar donde actualmente se localiza (Aguilera Cambray, 1958) (Fig. 1y 2).



Foto # 1: Ubicación presa de colas del aeropuerto, Nicaro, La Pasa. Cerrada en el 1958.



Foto # 2: Ubicación presa de colas Vieja cubierta con suelo carbonatado.

La segunda presa de colas se ubicó justamente al oeste de la planta procesadora, separada de esta por el canal colector que canaliza los efluentes del proceso fabril.

Esta presa estuvo en explotación desde 1958 hasta la primera mitad de los años 90, cuando se hace un recrecimiento hacia el sur y al oeste con la construcción de un nuevo dique. A esta última parte se le llamó Presa de Colas Nueva (Fig. 1).

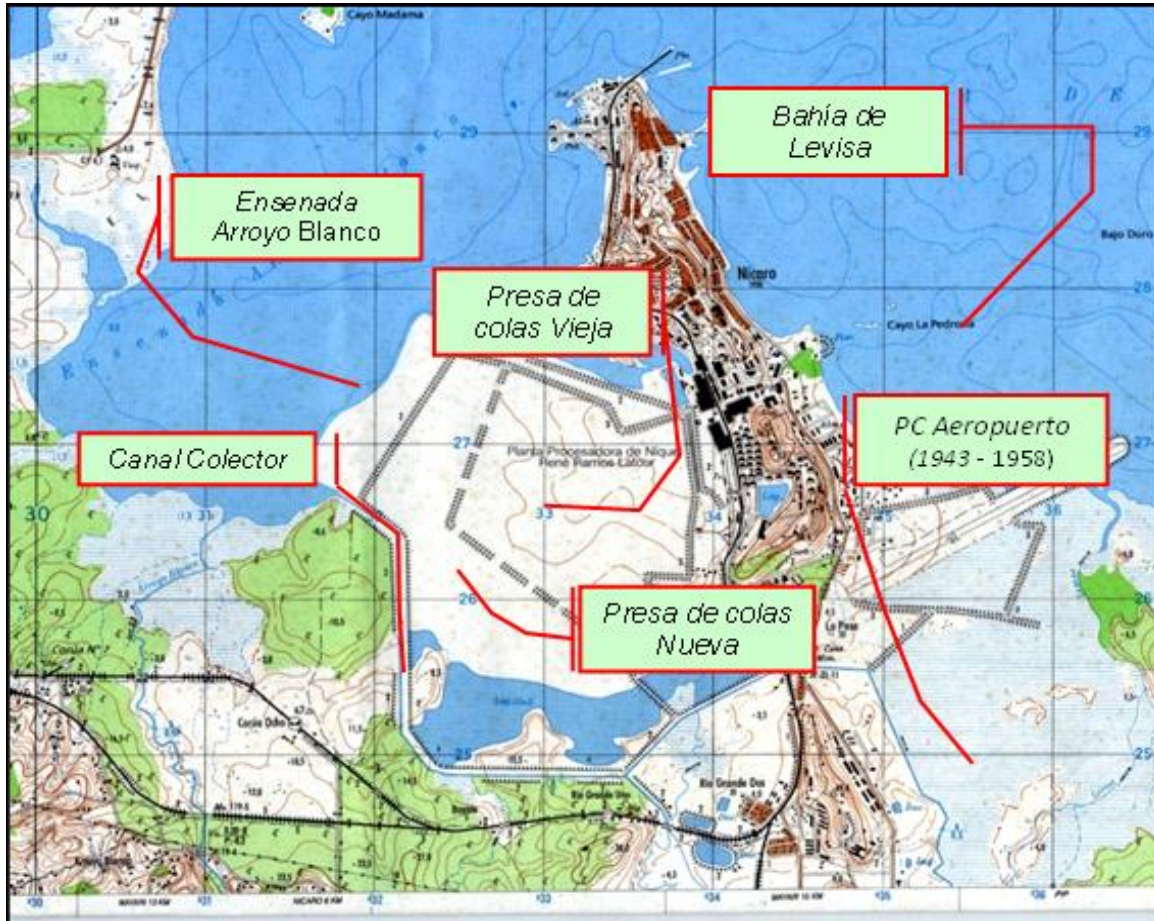


Figura # 1: Ubicación de las Presas de Colas de la Empresa “Comandante René Ramos Latour”, Nicaro

El dique construido separa la presa nueva y el canal trasvase que colecta y vierte al mar las aguas de los ríos Levisa, Río Grande y Bayate.

Los principales problemas ambientales que generan las presas de cola son los siguientes (Herrero *et al.*, 2003).

- Erosión de las colas y la contaminación de la Ensenada de Arroyo Blanco, la bahía de Levisa, Cayo Saetía y Bahía de Nipe.
- Contaminación atmosférica provocada por la erosión eólica superficial, la cual está afectando considerablemente a las comunidades cercanas.
- Roturas, brechas en los diques lo cual causa la aparición de grandes cárcavas que permiten la entrada del mar.
- Destrucción del ecosistema natural y afectaciones a los alrededores.
- Deterioro del paisaje.
- Cambio de la morfología en la ensenada de Arroyo Blanco.
- Pérdida de diversidad biológica.

Desde hace más de diez años se comenzó a actuar sobre los problemas ambientales que ha venido provocando el depósito de las colas y demás residuos de la Empresa de explotación y beneficio del níquel "Comandante René Ramos Latour".

Aunque los impactos más evidentes se concentran en la zona minera propiamente dicha, es frecuente que afecten a los lugares adyacentes, pudiendo incluso alcanzar zonas muy alejadas del foco de contaminación. Estos impactos ambientales presentan dos elementos que los interrelacionan entre sí: el movimiento de las masas de aire y el ciclo hidrológico del planeta, sus impactos ambientales en ocasiones son extremadamente graves, incluso pueden tener carácter terminal (difícil de recuperar mediante técnicas de tratamiento de residuos, rehabilitación, restauración o combinación de varias) (Ceccato, 2010; Puentes, 2010; Rendón, 2011).

En cuanto a las contaminaciones del aire por las emisiones de gases y polvo del proceso fabril se han ido aplicando medidas para su reducción con resultados parciales satisfactorios para la población, pero la situación existente hace varios lustros en la presa de colas constituye un factor degradante sobre los ecosistemas costeros y marinos en la ensenada de Arroyo Blanco y las zonas de

tierra adentro que se cubren con el polvo de las colas transportado por el viento (Geocuba, 2005).

Para evitar que se siga propagando el derrame hacia la ensenada de Arroyo Blanco, Bahía de Levisa, Cayo Saetía y Bahía de Nipe, se tomó la decisión de construir un dique de contención para lo cual hoy existen varios criterios relacionados con el material de préstamo a utilizar, que cumpla las condiciones y ocasione el menor daño posible al medio ambiente. La variante más aceptada se relaciona con el uso de materiales del fondo marino existente en la ensenada de Arroyo Blanco (Geocuba, 2005).

Las operaciones mineras a gran escala producen inevitablemente grandes cantidades de desechos. Una de las consideraciones ambientales más importantes es el manejo de estos grandes volúmenes de desecho de modo que se reduzcan al mínimo los impactos y se logren beneficios a largo plazo.

Sobre el terreno, las huellas físicas de las instalaciones de eliminación de desechos a menudo son importantes y estas operaciones rara vez son diseñadas para un uso final beneficioso. Cuando estas operaciones ocupan tierras que previamente eran productivas como hábitat de vida natural, tierras de cultivos, litorales, como es uno de los casos a analizar etc., puede pasar un tiempo muy largo antes de que vuelva a alcanzar el nivel anterior de productividad si no son rehabilitadas de manera apropiada (Colectivo de autores, 2013).

Además de la pérdida de productividad, estos desechos tienen un profundo efecto en los ecosistemas cercanos. Cuando éstos no son estables físicamente, la erosión o alguna falla catastrófica pueden provocar impactos graves o de largo plazo, aunque no existen datos cuantificados de los daños por la minería en el área, es evidente la fragmentación de los hábitats en parajes que otrora constituían el refugio ideal para especies (Herrero, 2009)

En los casos en que no tienen una estabilidad química, pueden transformarse en mayor o menor medida en fuente de contaminantes de los sistemas naturales de

agua (Montes de Oca, 2010). Estos impactos pueden tener consecuencias ambientales y socioeconómicas duraderas y puede ser extremadamente difícil y costoso abordarlas a través de medidas de revegetación y/o reforestación (Bruzón, 2014).

La geomorfología y la composición química mineralógica de las colas con sus particularidades como son:

1. Toxicidad por metales pesados.
2. Condiciones físicas extremas del sustrato.
3. Altas temperaturas y consecuentemente alta evapotranspiración.
4. Incidencia de vapores amoniacales y sulfúricos emitidos por la planta procesadora del mineral que constituyen un sustrato adverso para el establecimiento de cualquier tipo de vegetación.

Sin embargo, el retorno de la vegetación nativa en la presa de colas abandonada (aeropuerto) indica que se puede lograr a largo plazo el cubrimiento de las mismas y que sería posible el acortamiento en tiempo mediante una inducción artificial.

Partiendo del conocimiento de las características litológicas y estructurales del área donde se encuentran las presa de colas de la Empresa Niquelífera Comandante René Ramos Latour, se determina la existencia de procesos geológicos naturales o inducidos por la propia actividad industrial, estos procesos a los que se les hace alusión son la Erosión en cárcavas o surcos, las cuales se detallan a continuación:

Erosión

Como se explicó anteriormente es el conjunto de procesos con una dinámica muy heterogénea de acuerdo al escenario de ocurrencia. Se considera también como tal todo proceso de destrucción y remoción de partículas de suelo o fragmentos de rocas por la combinación de la gravedad con el agua, el viento y los organismos vivos; de forma tal que esta puede ser natural, manteniéndose en equilibrio con la formación

del suelo o acelerada en su intensidad por acciones antrópicas en estados de desequilibrio.

La ocupación de los suelos iniciada por el hombre en acción deforestadora y seguida por el cultivo de tierra, construcción de caminos y expansión de pueblos y ciudades constituye el factor decisivo del origen y aceleración de los procesos erosivos.

La erosión forma parte del ciclo geológico externo de erosión-transporte-sedimentación, manifestándose como procesos ligados a la dinámica evolutiva del planeta, rebajando y desgastando los materiales que aparecen en la superficie de las tierras emergidas.

Dentro de los factores naturales que influyen en la erosión se destacan la lluvia, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades de los suelos.

La lluvia provoca la erosión a través del impacto de las gotas de agua sobre la superficie del suelo y el posterior escurrimiento. Su acción está relacionada con la distribución en el espacio, el tiempo y su intensidad. La infiltración de agua provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales.

La cobertura vegetal constituye la defensa natural de los suelos contra la erosión pues los protege contra el impacto directo de la lluvia, aumenta la infiltración por la producción de poros a través de las raíces y la capacidad de retención de agua por la incorporación de materia orgánica.

La influencia de la topografía del terreno en la intensidad erosiva radica en su estrecha relación con el ángulo de inclinación y el largo de la ladera que aumenta la velocidad de los torrentes.

Las propiedades de los suelos al variar ejercen diferentes influencias en la erosión al otorgarle mayor o menor resistencia a la acción de las aguas; por ejemplo al aumentar la granulometría del suelo aumenta su capacidad de infiltración y absorción.

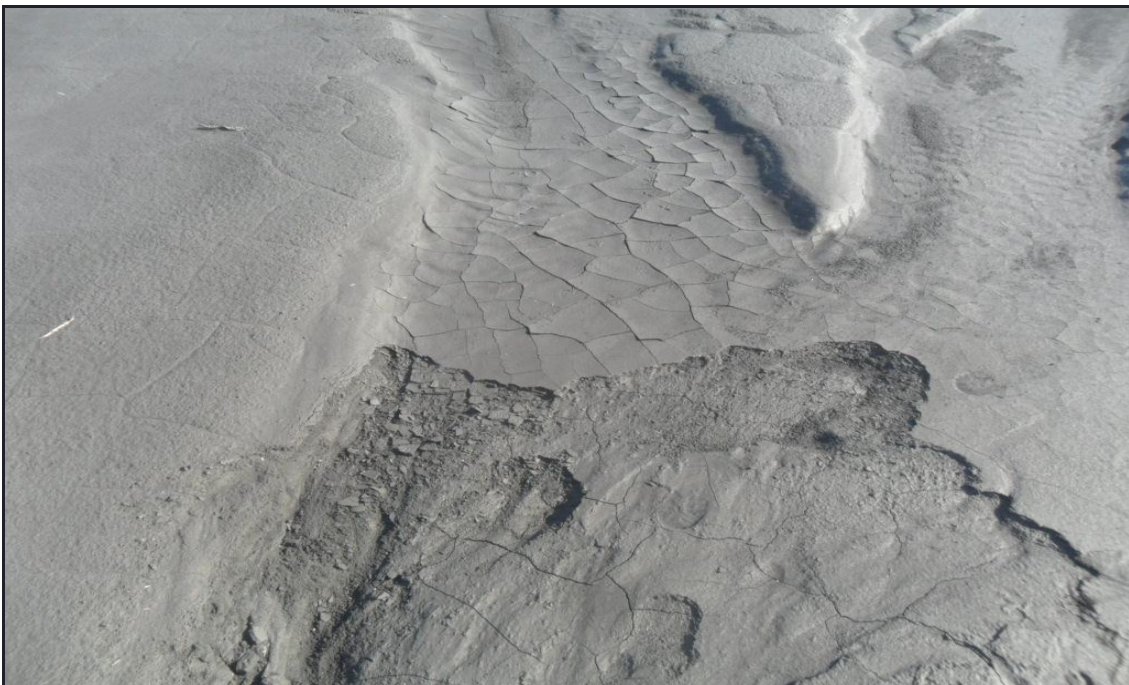
Cuando se produce una remoción más o menos uniforme del horizonte superficial del suelo, aparece **una erosión laminar** provocada por el escurrimiento superficial

fundamentalmente en zonas de pendientes suaves, de forma tal que el agua destruye y transporta sucesivamente la capa superior del suelo en forma de láminas continuas y de poco espesor (Colectivo de autores,1997).

Si el agua del escurrimiento superficial llega a concentrarse, se abren incisiones en el terreno que dan origen a **la erosión en surcos o cárcavas** que pueden llegar incluso a sobrepasar en profundidad la capa fértil en caso de terrenos cultivados.

La erosión se presenta bien desarrollada tanto espacialmente como en intensidad siendo la erosión en cárcavas el tipo que más se desarrolla en el área de investigación y que más peligro representa. Este tipo de erosión progresa en profundidad y anchura llegando a dimensiones métricas y decamétricas.

Los procesos erosivos de suelo tienen entre los factores condicionantes la dinámica del medio, la que está determinada por la posición hipsométrica y el nivel de base de erosión, estableciéndose un gradiente erosivo que tiende a hacerse mínimo a medida que se alcanza el estado de equilibrio. Cualquier agente que provoque la ruptura de ese equilibrio altera la relación erosión-sedimentación. (Foto # 3 y 4).



Fotos # 3: Erosión inicial en cárcavas desarrollada en la presa de colas.



Foto # 4: Se observa el progreso en profundidad y ancho del sistema de cárcavas.

En el área de la Empresa Niquelífera Comandante René Ramos Latour, la existencia de una presa de colas con una potencia considerable y el método de construcción de los diques utilizado en forma de plataformas han provocado la ruptura del equilibrio de la pendiente y por ende la intensificación de los procesos erosivos por cambios en las condiciones geomecánicas del material y pérdida de la cohesión interna entre las partículas de suelo, debido al incremento de la presión intersticial por la acción del agua y por tanto una disminución de la resistencia del suelo.

La erosión por si misma tendrá como efecto directo la degradación de los suelos, provocando la remoción del suelo y dentro de este a la cobertura vegetal más superficial, con la consecuente alteración de la vegetación y del equilibrio ecológico, aumento del volumen de carga física que llega al canal de los ríos Levisa y Bayate, provocando su colmatación, lo que aumenta la carga arrastrada hasta el mar.

Al analizar el aumento del material terrígeno aportado por los ríos al mar en la zona comprendida entre la desembocadura y el litoral, hay que tener en cuenta que de

forma indirecta puede provocar alteraciones en la biota típica del medio, al aumentar la turbidez de las aguas y cambios en su composición química, lo que es de difícil control por el carácter limitado de la circulación con el mar abierto.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado y el diagnóstico preliminar de la presa de colas del aeropuerto, se propuso experimentar con especies que pudieran lograr una supervivencia y un cubrimiento mayor del 85% en consideración del tipo de escenario a trabajar.

Problema

Revegetación con especies adecuadas que permita la mitigación de los principales problemas ambientales en la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”.

Objeto de la investigación.

La presa de colas Nueva de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour”.

Campo de acción.

Procesos naturales que intervienen en la revegetación en la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”.

Objetivo general

Establecer una cobertura vegetal adecuada para la conservación de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro” y mitigación de los problemas ambientales que genera.

Objetivos específicos:

- Identificar los procesos erosivos en la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour en Nicaro”.
- Seleccionar especies forestales y herbáceas que se adapten a un medio adverso.

- Determinar dosis de mejoradores de sustratos para el establecimiento de la vegetación seleccionada.
- Proponer medidas de mitigación que mejoren la calidad ambiental de los ecosistemas circundantes.

Hipótesis

Si se realiza una adecuada selección de especies vegetales y se aplican mejoradores del sustrato en dosis adecuadas se podrá lograr la conservación y estabilización de las presas de colas y consecuentemente mitigar sus impactos negativos sobre el entorno.

Aportes Científicos.

Las presas de cola contienen gran cantidad de minerales asociados que constituyen una gran fuente de recursos, de ahí la importancia de su conservación y estabilización. Como aportes de la investigación se tiene:

- El trabajo constituye el único realizado sobre revegetación de presa (depósito artificial) de colas de su tipo en Cuba.
- Se propone un método de revegetación que minimiza los efectos ambientales negativos como la erosión eólica, el escurrimiento superficial y la estabilización de los taludes y las playas de colas.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

En el presente capítulo se abordan los fundamentos teóricos de la investigación, que comprende los aspectos físicos naturales, descripción geológica del área de estudio, descripción de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro, así como aquellos agentes como régimen de lluvias, régimen de vientos y mareas, que permiten identificar factores externos que pueden interferir de forma negativa en la aplicación de técnicas encaminadas al mejoramiento de las condiciones geológicas y ambientales.

Se realiza un resumen del estado del arte en el cual se tratan las principales investigaciones relacionadas con los trabajos de conservación y revegetación en las presas de colas en Cuba y otras partes del mundo.

1.2 Presas de residuos.

La función principal de estas estructuras consiste en almacenar permanentemente los estériles sólidos y retener temporalmente los efluentes líquidos procedentes de las plantas de tratamiento. Las presas de residuos contemplan cuatro aspectos básicos (Colectivo de autores (1997)).

Las presas de residuos almacenan tanto sólidos como líquidos.

- a) En muchos casos, los propios residuos se utilizan como material de construcción del dique de la presa.
- b) Las presas se construyen, normalmente, por etapas siguiendo el desarrollo de las operaciones.
- c) Suelen requerirse modificaciones en el diseño y operación de llenado de la presa al introducirse cambios en los procesos de tratamientos.

Al igual que en otros trabajos de restauración de terrenos afectados por las actividades extractivas, los objetivos que se persiguen en el caso de las presas de residuos son los siguientes:

- Estabilidad de las estructuras a largo plazo.
- Protección frente a los procesos erosivos a largo plazo.
- Prevención de la contaminación ambiental.
- Acondicionamiento para la recuperación y abandono de presas.
- Puesta en uso de terrenos recuperados.

La presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante Rene Ramos Latour” constituye una acumulación de subproductos industriales de minerales silicatados de Ni (limoníticos y serpentínicos) beneficiados por lixiviación amoniacal. Las formas de los depósitos según diques que los contiene se ubican al este (Aeropuerto Nicaro; 1943-1958) y al oeste (Ensenada de Arroyo Blanco; 1958-2013) de la Península Lengua de Pájaro.

En la referida presa de colas se han generado problemas porque en su construcción no se contemplaron los requerimientos básicos mencionados anteriormente.

La baja eficiencia tecnológica de la fábrica de procesamiento del mineral en las últimas décadas provocaron un aumento de los residuos a depositar con la consecuente pérdida de la estabilidad de las estructuras, lo que permitió la ocurrencia de roturas de los diques, dando paso a los procesos erosivos intensos induciendo la formación de las playas de colas, vertimientos de colas a la ensenada de Arroyo Blanco, con los consiguientes problemas ambientales que se traducen, principalmente, en sedimentación del lecho marino, contaminación de acuíferos y atmosférica.

1.3 Estado del arte.

En la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour” en Nicaro se han realizado en años anteriores numerosos trabajos con vista a incrementar el

conocimiento en la utilización y obtención de minerales a partir de los residuos industriales. Al respecto, (Castillo, 2008) resume concisamente las investigaciones geológicas realizadas a partir del 1968.

1.3.1 Investigaciones Geológicas.

V. Zabelin (1968) determina que el depósito cuenta con 22.5MMtm, con contenidos de 39.5% Fe, 1.6% Cr y 0.44% Ni.

Geominera Oriente en (1977, 1979 y en 1986 - Aeropuerto) se realizaron 207 pozos (9 criollos), se tomaron 50 muestras compuestas con 17 determinaciones: 9 mineralógicas, 30 granulométricas y 121 ingeniero-geológicas, así como, se determinó que el volumen actual era de 26.3MMtm entre los recursos medidos, indicados e inferidos, y una potencia aproximada de 17 a 3 m. Se concluyó que las colas eran inestables con baja cohesión, no plásticas y saturadas con contenidos de $\text{Fe}_2\text{O}_3=39.6\%$, $\text{SiO}_2=18.6$, $\text{FeO}=17.5$, $\text{MgO}=11.9$, $\text{Al}_2\text{O}_3=4.6$, $\text{Cr}_2\text{O}_3=2.9$, $\text{MnO}=0.7$, $\text{NiO}=0.48$, $\text{CoO}=0.106$, $\text{S}=0.12$, $\text{PPI}=2.8$ y $\text{PV}=1.82-2.1$, se determinó la Granulometría: $-0.044=69.2\%$, $+0.044=13.8\%$, $+0.074=4.1\%$, Magnetita=74%, Serpentina y Olivino =18.8%, Cromoespinel=4.2%.

1.3.2 Minería / Tecnología. Muestreos Tecnológicos y Cemento.

Para la utilización de las colas Nicaro, varios autores y empresas han analizado los contenidos de los metales que constituyen la masa mineral, de los cuales se desarrollaron el informe geológico sobre "La Exploración Detallada del Depósito de Colas Viejas en Nicaro por la Empresa Geominera de Santiago de Cuba en 1986, en el trabajo se muestrearon en los Pozos #109 y # 110 (realizados con la técnica dragline): 6,0 mtm, 40,4% Fe, 0.43% Ni, 0.078 Co, 2.6% Cr_2O_3 . PM = 12 m.

Con vista a incrementar las producciones de cemento entre los años 1987 al 2005 se extrajeron unas 500,0 mtm con la técnica de extracción frente pala con retroexcavadora.

Los trabajos sobre la explotación de las colas Nicaro hay que significar que han sido varios con diferentes maneras de documentarlos pero casi todos abarcan los mismos objetivos, determinación de sus contenidos y formas de extracción entre los que se tienen, el confeccionado por Ceproníquel como el Proyecto de Explotación de las colas Nicaro, (Donatien, et al., 1988).

También se han realizados proyectos con el fin de determinar los metales nobles en los yacimientos lateríticos y subproductos de la (Unión de Empresas del Níquel), realizado por el Dr.C. Leopoldo González.

1.3.3 Ingeniería y Medio Ambiente.

Para dar solución a las afectaciones causadas por la minería se han confeccionado proyectos de evaluación y/o solución a la contaminación, degradación de los suelos y otros con el fin de solucionar o minimizar estos aspectos.

El centro de proyectos del níquel CEPRONIQUEL entre los años 2000/2005 confeccionó un proyecto sobre las colas subcontratando a Geocuba para el levantamiento topográfico a escala 1:1000, "Hidrología e Hidroquímica". "Dictamen de Investigaciones Ingeniero-geológicas y sismológicas".

Por otra parte el Ministerio de la Construcción participó en las investigaciones de los depósitos de residuos industriales con trabajos ingeniero geológicos.

También entidades como CITMA, (IES), MICONS, han participado en las Investigaciones, experimentos y ejecuciones de forestación (control erosión eólica) de los diques. Mejoramiento de suelos para la agricultura.

En la actualidad los trabajos encaminados en dar solución a los grandes problemas que ocasionan la minería y la industria metalúrgica y materializada en los residuos industriales (colas), se encaminan a la conservación con técnicas ingenieriles y en otros casos con la conformación y/o delimitación de los depósitos con el fin de tener una ubicación exacta del cuerpo para su uso posterior. Se ha trabajado para buscar

una solución lo más certera posible para evitar los derrames que se han manifestado en el depósito colas Nicaro y den solución a largo plazo, evitando más contaminación. Una solución es la construcción de un dique nuevo en la parte oeste ya que es el que más sedimentos a la ensenada de Arroyo Blanco vierte en los periodos de mayores precipitaciones.

Otra solución que no se ha materializado es la construcción de un pedraplén para aislar toda el área desde el norte hasta el sur pasando por las playas de colas en la parte oeste, es decir, cercar la presa de colas con material rocoso y así tener el depósito aislado, protegido y disminuir su aporte a la ensenada.

En la actualidad se trabaja a una escala mayor en el establecimiento de una cobertura vegetal que contamine lo menos posible el cuerpo mineral, favorezca la conservación y disminuya los procesos erosivos.

1.3.4 Conservación de las presas de colas.

Al considerar los grandes volúmenes de colas se idean distintos usos a las mismas; una alternativa es la recuperación de los elementos metálicos contenidos en ellas, con lo cual se consigue incluso un beneficio ambiental al eliminar de las colas los elementos pesados que contaminan el suelo y el aire y posibilitar la utilización de estos metales con otros fines (García, *et al.*, 2013).

También se han empleado técnicas avanzadas para la recuperación y reutilización en el proceso del agua acompañante con el consiguiente ahorro de agua fresca y la recuperación de los metales aprovechables que ella contiene, en una combinación de ahorro más disminución de cargas agresoras al medio ambiente, esta obra contribuye al reciclado del agua empleada en el proceso industrial en función de abaratar el costo del agua utilizada, obtener cantidades adicionales de níquel y cobalto, así como evitar el vertido del agua residual al río Moa y con ello disminuir su carga contaminante (Guerra, 2014).

Igualmente es meritorio mencionar la cimentación con elementos geosintéticos, de diques sobre terrenos extremadamente blandos, con el consiguiente acortamiento del plazo de ejecución de la obra y la economía en el uso de recursos materiales, humanos y financieros. Se utilizaron geotextiles tejidos (con la finalidad de aumentar la resistencia de la primera capa del terraplén), geotextiles no tejidos (con la finalidad de evitar el contacto del hormigón con la tierra, la tierra con la piedra, la tierra con los gaviones) y el Geocell (en la construcción de los aliviaderos del hormigón, para eliminar los encofrados de madera y conferirle a éste mayor capacidad de carga) (Guerra, 2014).

A partir del entendimiento de los planteamientos anteriores comienzan en el mundo las investigaciones con vista a solucionar, o al menos mitigar, los problemas relacionados con la deposición de los residuos industriales en zonas donde se han alterado los ecosistemas circundantes, la revegetación de las presas de colas puede constituir una vía promisorio de conservación. La empresa Minera Alumbra en Argentina tiene un Plan Estratégico de Conservación de la Biodiversidad, un programa que incluye principalmente medidas proactivas para la conservación y el equilibrio de los ecosistemas, estando enfocados en el desarrollo de tecnologías para la rehabilitación de las áreas operativas, promoviendo el equilibrio del ecosistema a través del restablecimiento de la flora y la fauna de la zona. En el 2011, se realizó la revegetación de 1,23 hectáreas en áreas rehabilitadas del dique de colas de Minera Alumbra (Minera Alumbra 2011).

En el año 2013 la Dirección Provincial de Gestión Ambiental Minera (DiPGAM) perteneciente a la Secretaría de Estado de Minería de Catamarca en Argentina, establece como solución a los problemas que se generan con la construcción de los depósitos de desechos industriales lo referido con la impermeabilización o aislamiento del suelo con mantas de nylon con el objetivo de aislar el suelo, el agua y el aire, asimismo el agua que se rebosa de los depósitos de colas es tratada para reutilizarla nuevamente en los procesos de lixiviación o concentración. Cuando los diques de colas dejan de usarse se procede a su cierre. Para esto se cubren con tierra orgánica y se revegetan con plantas apropiadas al clima y la zona, restituyendo

el ecosistema y garantizando el cuidado del medio ambiente (Minería Catamarca, 2013).

Otro de estos trabajos se realizó específicamente bajo los auspicios del Banco Mundial en asociación con el programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, el mismo consiste en una cobertura vegetativa que se perpetúe a sí misma. De otro lado, las especies nativas, especialmente aquellas que han desarrollado tolerancia por metales, se adaptan mejor a la supervivencia de largo plazo bajo condiciones locales, pero son difíciles de establecer en las superficies de relaves pobres en nutrientes que no contienen micro-organismos que fijen el nitrógeno (Industria Minero-Metalúrgica, s-a).

En el Perú, la rehabilitación de relaves es una experiencia que no está ampliamente disponible y la revegetación exitosa requerirá el desarrollo de técnicas y conocimientos agronómicos localmente convenientes. La limitada recuperación de playas de relaves usando tierras de cultivos en la Mina Casapalca, muestra que la revegetación a grandes altitudes es posible en el Perú, establecida en 1984 con especies nativas trasplantadas, la cobertura no se ha propagado mucho más allá del límite de la tierra de cultivo. La calidad del suelo del depósito de relaves con relación al contenido de metales y la granulometría aceptables para el cultivo, puede ser adecuada mediante técnicas metalúrgicas específicas (Industria Minero-Metalúrgica, s/a).

1.4 Características Físico – Geográficas y Ambientales del área de estudio.

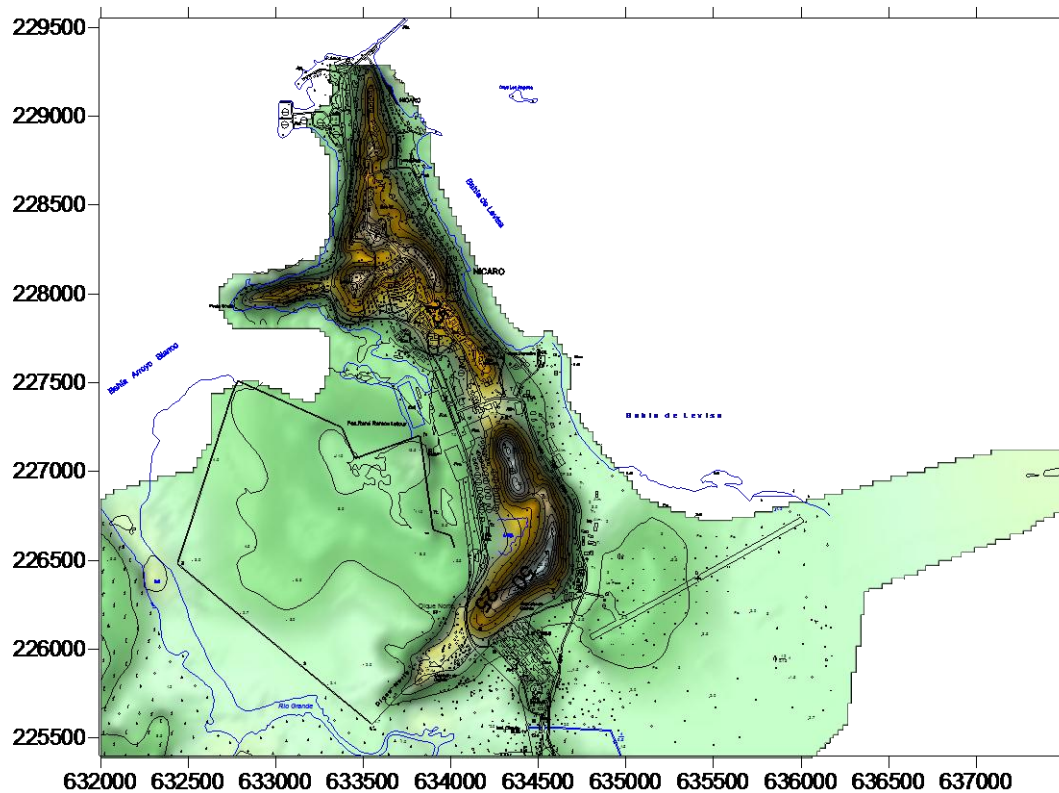
1.4.1 Ubicación geográfica.

La zona de estudio pertenece a la hoja cartográfica 5078-II Nicaro, a escala 1:50000, entre las coordenadas X: 631 000 y 636 000; Y: 225 000 y 230 000, con un área aproximada de 5 km² de ocupadas por ambas Presas. Limita al Norte con el cayo Saetía, al Sur con la Sierra Cristal, al Oeste con el poblado de Arroyo Blanco y al Este con el poblado de Nicaro. Se encuentra al Oeste de la planta procesadora de Níquel en Nicaro (Fig. 2)

Coordenadas locales

N-225500 – 227500

E-632500 – 635800



Figura# 2: Ubicación geográfica de las presas de colas en Nicaro.

1.4.2 Geología.

La geología del área está representada fundamentalmente por los depósitos de sedimentos del Cuaternario (Q), entre ellos tenemos los compuestos por sedimentos carbonatados, terrígenos y turbosos pantanosos del Holoceno (PQ₄) y las arcillas, limos y arenas del Pleistoceno Medio Superior (m – al Q₂₋₃ – S).

El área pertenece a la cobertura neoplatafórmica y específicamente a la zona litoral septentrional. En esta se destaca la **Fm Río Jagüeyes**. Sus afloramientos se encuentran en ambos lados del río Mayarí, en Nicaro y en zonas de Frank País en la provincia de Holguín. Constituida por limolitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea a arcillosa con cemento carbonático escaso o ausente y margas arcillosas y arenáceas, fosilíferas, alternando con calizas biodetríticas, calizas

biohérticas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y limolitas pueden ser yesíferas. Predominan los colores crema, grisáceo y carmelita.

Yace discordantemente sobre la Fm. Bitirí. Está cubierta discordantemente o con parcial concordancia por la Fm. Júcaro y discordantemente por la Fm Jaimanitas, ambas fuera del área hacia el norte. La potencia aproximada de 150 m y edad del Mioceno Inferior (parte alta) al Mioceno Superior (parte baja).

La misma se compone de margas, margas brechosas, calizas por lo general arcillosas, calcarenitas y en general sedimentos carbonatados de facies sublitoral de colores amarillo y crema que por alteración pasan a rojo y violáceo.

Sobre la Fm Rio Jagüeyes, después de su elevación, y en las depresiones originadas por las fallas normales que se desarrollaron durante la elevación del bloque, se acumularon sedimentos terrígenos, fundamentalmente aluviales provenientes de la acción erosiva de los ríos Levisa, Grande, Bayate y Arroyo Blanco en las bahías de Arroyo Blanco y Levisa. Estos depósitos transicionan a depósitos pantanosos-lacustres compuestos por arcillas, aleurolitas arcillosas y arenosas y arenas sueltas y biocalcarenitas provenientes de las playas en algunos puntos muy limitados de la costa. Sobre estos depósitos se encuentra ubicada la Presa de Colas.

1.4.3 Tectónica.

Desde el punto de vista tectónico el área se encuentra ubicada dentro del bloque de tipo graben (hundido), en la intersección con el bloque Mayarí–Moa–Baracoa y está constituida por secuencias de rocas terrígenas carbonatadas formadas en el período Neógeno–Cuaternario, que constituye la última etapa de la evolución geológica del territorio cubano. Estos bloques están limitados por la falla Cauto–Nipe, que se extiende por todo el borde Norte de la Sierra Maestra, y llega hasta la Bahía de Nipe. Esta estructura es una falla normal con ángulos de buzamiento de 60-80 grados, tiene carácter cortical y constituye un límite del sistema tectónico de interior de placas, que separa los bloques mencionados.

A las fallas mencionadas anteriormente (Cauto–Nipe, Sabana y Santiago–Moa) se relacionan las principales Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) que pueden afectar directamente a la zona donde se encuentra situada la Presa de Colas. (Colectivo de autores., 2013)

Durante las marchas de reconocimiento en la presa y áreas aledañas, se observaron evidencias de fallas con desarrollo local, como es el caso de la falla Levisa de dirección predominantemente Norte–Noroeste, que bordea el límite Este de la península de Nicaro; así como posibles fallas normales con dirección Noreste–Suroeste, que cortan la falla Levisa, dividiendo la región en bloques elevados (horst) donde aflora la Fm Río Jagüeyes y bloques hundidos (graben) donde se depositaron los sedimentos más recientes de tipo aluviales y pantanosos lacustre, así como marinos. Geocuba. (2005).

Este sistema de dislocaciones tectónicas con dirección NE–SW, es el que puede influir sobre la presa de colas y en cierto momento servir como zonas de filtraciones profundas del material embalsado hacia la Bahía de Levisa, principalmente del agua acompañante de las colas contribuyendo a cierta contaminación. (Fig. # 3).



Figura #3: Esquema con las posibles zonas de dislocación tectónica que pueden afectar al sitio de la Presa de Colas.

1.4.4 Sismicidad.

Características sismo–tectónicas regionales y locales.

La zona del Proyecto, desde el punto de vista tectónico se encuentra ubicada dentro del bloque de tipo graben (hundido), en la intersección con el bloque Mayarí–Moa–Baracoa y está constituida por secuencias de rocas terrígenas carbonatadas formadas en el período Neógeno–Cuaternario, que constituye la última etapa de la evolución geológica del territorio cubano. Estos bloques están limitados por la falla Cauto–Nipe, que se extiende por todo el borde Norte de la Sierra Maestra, y llega hasta la Bahía de Nipe. Esta estructura es una falla normal con ángulos de buzamiento de 60-80 grados, tiene carácter cortical y constituye un límite del sistema tectónico de interior de placas, que separa los bloques mencionados.

Al Norte se extiende la falla Sabana, a lo largo del talud Norte cubano, donde se han detectado desplazamientos de hasta 300 m de salto vertical. Generalmente se manifiesta como un escalonamiento de fallas normales de dirección NE. Su edad se considera postmiocénica. Esta falla separa por el Norte a la región septentrional cubana de la depresión del Canal Viejo de Bahamas. A las fallas mencionadas anteriormente (Cauto–Nipe, Sabana y Santiago–Moa) se relacionan las principales Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) que pueden afectar directamente a la zona donde se encuentra situada la Presa de Colas. Las ZOT Cauto–Nipe y Sabana pueden producir terremotos con una magnitud máxima de siete en la escala de Richter y la Zona Santiago–Moa de cinco en la misma escala.

Esta Potencialidad Sísmica señalada para las Zonas Sismogénicas mencionadas, está en correspondencia con los Estudios Sismológicos Complejos realizados para el Complejo Hidroenergético Toa–Duaba por el CENAI (Chuy et al, 1992), en los que se tuvieron en cuenta además, las Investigaciones Sismológicas para la construcción de la Central Nuclear del Norte de Holguín y de la Central Hidroacumuladora ubicada en la meseta de Pinares de Mayarí, para la definición de las principales Zonas de Origen de Terremotos de la región oriental (Fig. 4).

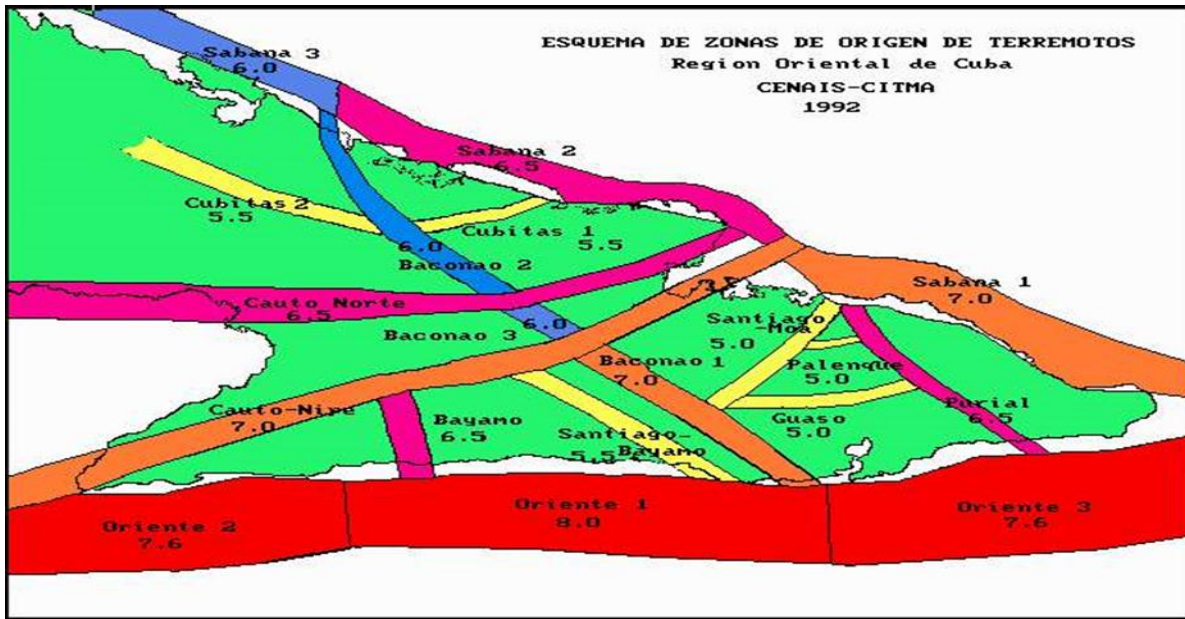


Figura: #4: Esquema de Zonas de Origen de Terremotos de Cuba Oriental (Comisión1991).

1.5 Geomorfología de la Presa de Colas.

1.5.1 Relieve y Costas.

El área de la Presa de Colas forma parte del Distrito Oriental, subdistrito Montañas del Este y específicamente del Grupo de Paisaje Montañas de Mayarí o Nipe-Cristal. En este grupo de paisaje constituye la llanura costera Cueto-Sagua de Tánamo.

Las costas de la ensenada de Arroyo Blanco son accidentadas al Norte, bajas, rocosas y bordeadas de manglares, con segmentos acantilados en algunos lugares. La costa Oeste es en su mayor parte elevada, rocosa y acantilada, limpia de vegetación arbustiva. Al Sur la costa es baja con estrecha franja de mangles detrás de la cual el terreno se eleva ligeramente, cultivado de caña. Al Sureste la pequeña ensenada de Bayate se encuentra cubierta de colas ferrosas de la industria procesadora del níquel.

De Sur a Norte es ondulado con valles intercalados, disminuyendo gradualmente la altura hacia la llanura costera; predominando 3 tipos de relieves fundamentales.

- Relieve ondulado: De las estribaciones de la Sierra Cristal, con alturas hasta de 100 msnm.
- Colinas suaves: Al Sur de Levisa (Italiana) y altos de Santa Rita (cársico) y parte central de Nicaro, con hasta 60 msnm.
- Relieves llanos: Valles del Río Levisa y Río Grande y la llanura costera, con menos de 30 msnm.

Predomina la costa de sumersión por las bahías de bolsa de Levisa y Arroyo Blanco; con cayos y zonas pantanosas (manglares) en las desembocaduras de los dos ríos hay pequeñas playas al Este de la península.

En la Presa de Colas, se han originado algunas formas de relieve antrópicas, debido al vertimiento desordenado de los residuales industriales resultantes (colas), es decir se han desarrollado pequeñas colinas (16 m) y llanuras de colas (6 a 11 m); playas de colas (-4 a 6m), cárcavas y surcos; estos últimos se han formado como consecuencia de la erosión pluvial en los dique y en el borde Septentrional de la Presa. (Colectivo de autores, GEOCUBA 2005).

1.5.2 Procesos Erosivos

En la zona de estudio se manifiestan varios procesos erosivos que de una forma u otra afectan al establecimiento de una cobertura herbácea que proporcione una estabilidad adecuada al depósito de colas, los mismos se han identificado y se han acometido acciones para la reducción y en último caso para su eliminación, partiendo de la secuencia y ocurrencia se clasifican en:

- Erosión pluvial.
- Erosión eólica.
- Erosión marina.

La erosión pluvial se manifiesta en los periodos de lluvias (Mayo - Junio y Noviembre - Diciembre), donde después de estar el depósito expuesto a altas temperaturas y con una humedad casi 0 en la parte superior, esta superficie desprovista de

vegetación es sometida a un proceso de arranque y transporte de partículas hasta las zonas más bajas ocasionando la acumulación de sedimentos en la ensenada de Arroyo Blanco.

En el periodo de menor precipitación (Enero - Abril y Agosto - Octubre), es donde se manifiesta la erosión eólica determinada por la presencia de los vientos del Norte, estos son fuertes y en forma de abanico abarcando toda la región llevando consigo grandes nubes de polvo que pueden llegar a lugares distantes de la fuente de contaminación.

La erosión marina está determinada por la interface mar-tierra la cual está sujeta a las mareas las cuales se manifiestan en ciclo de 12 h alternando de mañana y tarde-noche. Esta es de los procesos erosivos el menos agresivo ya que después de establecer la zona de playa y establecer un sector como costa y no existir un oleaje agresivo disminuye la contaminación con colas a la ensenada de Arroyo Blanco además de permitir el establecimiento de las poblaciones de mangles como se observa en la (Foto# 5).



Foto # 5. Poblaciones de Mangle espontáneas en las playas de colas.

1.5.3 Clima y Calidad del aire.

1.5.3.1 Clima.

La región presenta un clima tropical húmedo con verano relativamente húmedo. Predominan los vientos del 1^{er} y 2^{do} cuadrantes (E - ENE y ESE) todo el año, las frecuencias máximas (40 – 60 %) son de vientos del E, lo que se debe a la influencia de los vientos alisios. La temperatura media anual del aire es de 24°C a 26°C (22°C – 24°C en invierno y 26°C - 28°C en verano) y las lluvias medias hiperanuales son de 1 200 – 1 400 mm en la zona costera correspondiente a la península de Nicaro y de 1 600 a 2 200 hacia las montañas bajas donde se localizan las áreas de yacimientos, en el período lluvioso caen de 600 a 800 mm en la zona costera, y de 1 200 mm a 1 400 mm en la zona montañosa (Colectivo de autores, 2010).

Sin duda las condiciones climáticas del territorio determinan los niveles y forma de afectación de la calidad del aire por la emisión de partículas y de ruido durante y después de la actividad extractiva.

1.5.3.2 La temperatura del aire.

La temperatura del aire tiene poca variación, con diferencias entre el día y la noche de 3°C a 5°C como consecuencia directa del carácter regulador del mar. El valor medio anual es de 25,8°C, con mínimas y máximas promedio de 22,3°C y 29,7°C respectivamente. La máxima que más se observa es 35,5°C y la máxima (mayo 1990), 36,7°C. La mínima más frecuente es 14,0°C y la mínima 11,0°C (febrero 1976). El comportamiento promedio de este elemento es el siguiente. (Geocuba. 2005). (Tab. # 1).

Tabla #1: Temperatura del aire.

Temp.°C	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Media	23,6	23,7	24,2	25,2	26,6	27,3	27,9	27,8	27,3	26,6	25,3	23,8	25,8
Máxima media	27,4	27,6	28,4	29,1	30	31,2	31,7	31,9	31,7	30,7	29,1	28	29,7
Mínima media	19,5	20	20,5	21,7	22,7	23,8	24,3	24,1	23,3	23,1	22,7	21,5	22,3

1.5.3.3 La humedad relativa.

La humedad media anual de la región es de 81% y en los meses más calurosos, durante el mediodía, se observan valores entre 55-60%. Los meses se caracterizan con los siguientes promedios (Tabla # 2).

Tabla # 2: **Humedad relativa anual.**

<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Anual</i>
82	80	78	77	80	81	79	79	81	83	84	83	81

En el área aparece el máximo anual de condiciones de *calor sofocante*, durante el día alcanza magnitudes extremas. En los meses de julio y agosto estas condiciones predominan hasta por las noches con índices moderados a fuertes. Los días con condiciones confortables se reducen a menos del 20 % anual, agrupados de diciembre a febrero, y en ocasiones hasta marzo, debido a las condiciones sinópticas predominantes en esta época del año: fuertes vientos del este y entrada y estacionamiento de frentes fríos que provocan descensos en las temperaturas. Esto no excluye la ocurrencia de días sofocantes en este período.

La mayor cantidad de *precipitaciones* en el año cae en forma de lluvias torrenciales, principalmente por el paso de ciclones y bajas tropicales, además de lluvias convectivas que pueden ocurrir en cualquier época del año. El valor promedio anual en la zona es de 1200 mm con la distribución que sigue.(Tabla #3).

Tabla # 3:**Cantidad de precipitaciones.**

<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Anual</i>
95	75	66	85	127	81	64	72	91	152	172	120	1200

Las causas de la temporalidad e irregularidad de las precipitaciones se deben a la influencia de los procesos atmosféricos condicionados por la circulación general. Las precipitaciones atmosféricas, dentro de los elementos del clima, son las que experimentan mayores cambios en el tiempo y el espacio y caracterizan mayormente el paisaje de la zona de estudio.(Geocuba. 2005).

1.5.3.4 Vegetación y flora.

La vegetación de la localidad está determinada por el tipo de suelo y relieve.

En las llanuras del Valle de los ríos Levisa y Bayate -los cuales desembocan al sur de la presa de colas y modelan todo su límite sur- se desarrollan el ocuje, la caoba, el cedro, majagua, roble, ateje, yagruma, júcaro, árboles frutales entre otros. La vegetación de las costas está representada por uva caletas, júcaro, mangles, hicacos, etc. (Colectivo de autores, 2010).

La vegetación original en las presas de colas era la formación manglar con sus cuatro especies: *Avicenniagerminans* (mangle prieto), *Conocarpus erecta* (yana), *Lagunculariaracemosa* (patabán) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo) (Bisse, 1988). Todas estas especies son arbóreas, de ellas es *Rhizophora mangle* la que avanza más hacia el mar abierto, y *Conocarpus erecta* más hacia la tierra firme.

En la actualidad, en las presas de colas en explotación no hay rastros de vegetación, sin embargo, se encontró la regeneración de especies de la formación forestal “Manigua Costera” en la playa de cola formada por la rotura del dique al noreste de la presa de colas nueva y presencia de vegetación en una porción del dique ubicado al este, la cual ha sido propiciada por la acumulación de material de dragado procedente del canal que se recomienda para casuarina.

Un monitoreo realizado en la presa colas del aeropuerto (sin deposición por más de 40 años), evidenció la presencia de numerosos ejemplares de *Avicennia germinans* (mangle prieto), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Bucida buceras* (Júcaro negro) y *Chrysobalanus icaco* (icaco dulce) como especies autóctonas y de *Casuarina equisetifolia* L. (casuarina) como especie alóctona. Esta localización indica la posibilidad de manejar las especies vegetales con vistas a la rehabilitación ecológica en los lugares de las presas de colas que no sean de interés minero (Herrero et al., 2003).

1.5.3.5 Suelos.

El basamento geológico existente en la zona de estudio y específicamente en el área aledaña a la Presa de Colas (Formación Júcaro, Formación Río Jagüeyes), condicionado por factores zonales y locales ha dado lugar a la existencia de suelos, tales como:

- Pardos carbonatados.
- Vertisuelos.

1.6 Conclusiones.

A través de la revisión de los principales resultados de proyectos e investigaciones relacionadas con las presas de colas en la región Nicaro-Moa, se pudo determinar los grandes problemas ambientales que generan los depósitos de residuos mineros cuando no se tienen en cuenta los aspectos fundamentales que deben considerarse en su construcción y que es posible su conservación mediante la revegetación de las mismas con una adecuada selección de especies que se adecuen a las condiciones físicas extremas del sustrato.

CAPITULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

2.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo establecer las herramientas necesarias que permitan organizar y procesar la información, de manera que los resultados obtenidos aporten una solución al problema planteado, principalmente en lo referente a la conservación de las presas de colas de la Empresa Niquelífera "Comandante René Ramos Latour" en Nicaro a través de la revegetación.

En su desarrollo se parte del establecimiento del área de trabajo y la metodología seguida para la determinación de los procesos erosivos, así como el diseño experimental para la prueba de especies vegetales seleccionadas que permita arribar a conclusiones pertinentes. El trabajo se desarrolló en tres etapas fundamentales las que se muestran en el presente organigrama (Fig.# 5).

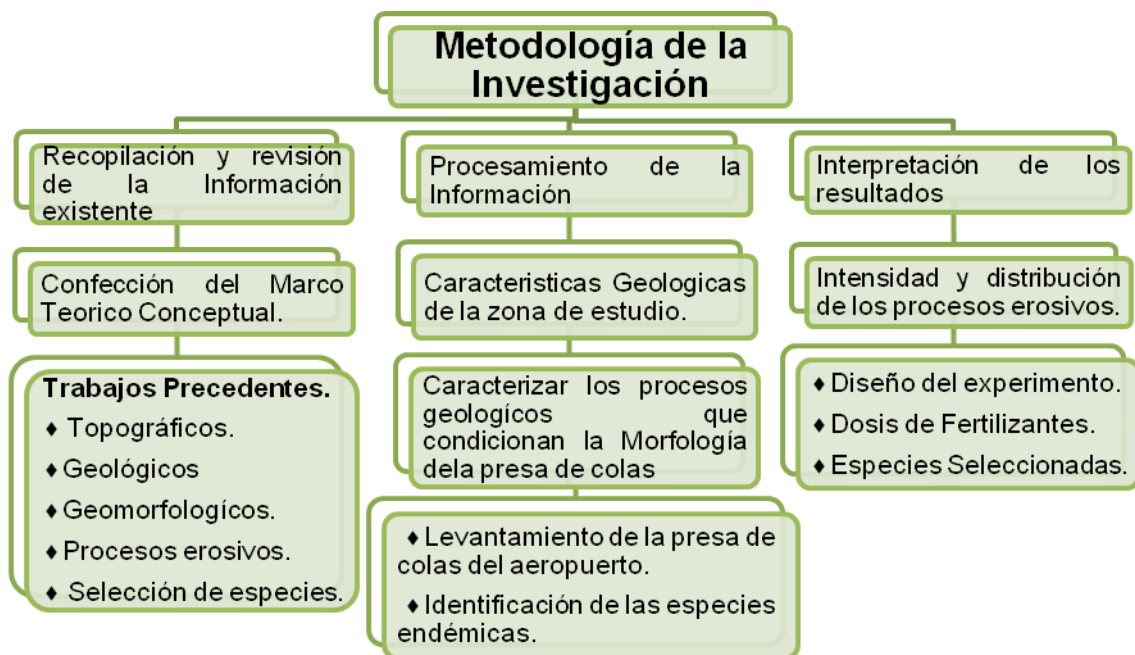


Figura # 5 Organigrama metodología de la investigación.

2.2 Etapa preliminar: Revisión bibliográfica.

En esta etapa se realiza el análisis de las bibliografías existentes de la región y del área de estudio, de la cual se extrae y recopila la información útil para la investigación. Se realizan búsquedas en el Centro de información de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour” en Nicaro, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos investigativos y proyectos del área de investigación.

Como resultado se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, geomorfológico, topográfico, tectónico y morfotectónico.

En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

De igual manera se obtienen las hojascartográficas 5078-II Nicaro, a escala 1: 50 000, del año 1963 y las fotografías obtenidas del programa Google Earth del año 2013 a una escala aproximada 1 : 36 000.

2.3 Segunda etapa: Procesamiento de la información.

Al no existir un levantamiento topográfico detallado se hace difícil la correlación de los datos del terreno con la confección del mapa del área de trabajo, por lo que se utiliza la técnica de fotos aéreas para ubicar las geoformas y sistemas de cárcavas con lo observado en el terreno.

El levantamiento geomorfológico se realizó mediante la observación directa en el campo de las condiciones naturales del relieve y tuvo como objetivo identificar *in situ* los elementos del relieve (geoformas), para la interpretación y confección del mapa geomorfológico del área de estudio.

También se trabajó con la hoja cartográfica 5078-II con el propósito de limitar la presa de colas así como sus diques, luego se realizó un minucioso reconocimiento de toda la superficie de la presa de colas con el fin de identificar y ubicar las principales zonas con mayor erosión superficial y formación de cárcavas de grandes

dimensiones que desembocaban a la ensenada de Arroyo Blanco y tienen influencia sobre el canal de desvío de las ríos Levisa y Bayate.

2.3.1 Metodología utilizada en la determinación de los procesos erosivos.

Para determinar los procesos erosivos que intervienen en la morfología de la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour” en Nicaro, se procede a revisarlas fotos aéreas bajadas del programa Google Earth y se realizó un levantamiento visual detallado del área de estudio.

Con la foto aérea y la hoja cartográfica 5078-II se comenzó un proceso de cartografiado de los contornos de la presa y sus diques y otras estructuras aledañas a la presa con el fin de correlacionarlo con la información obtenida de informes y trabajos anteriores, se pudieron ubicar las zonas bajas de la ensenada de Arroyo Blanco por ser las más afectadas así como las áreas donde existen actualmente fuertes procesos erosivos y donde la incidencia de la contaminación es más abundante.

Al no existir información detallada de los procesos erosivos que se originan en el área de estudio, se realiza un levantamiento visual del área para diagnosticar los procesos geológicos erosivos más influyentes en la modificación de la superficie de la presa de colas los cuales son:

- Erosión pluvial.

Se manifiesta en toda la superficie de las presas de colas y en los diques dando lugar a la formación de cárcavas de gran porte que vierten al mar.

- Erosión eólica.

Se observa en toda la presa de colas cuando grandes nubes de polvo son elevadas a distancia cubriendo todo a su paso.

- Erosión marina.

Se observan en la formación de playas de colas al sur, oeste y norte de la presa de colas.

Los procesos erosivos que se manifiestan más intensamente, se representan en el mapa de la presa de colas, donde se acentúan las áreas de mayor erosión y las cárcavas más representativas por áreas (norte, sur, este y oeste) así como los mapas de Acarcavamiento y Densidad de cárcavas. Estos mapas se obtuvieron a partir de fotos aéreas y se trabajó la imagen en el SURFER 11 donde se puede digitalizar los accidentes observables y confrontarlo con el levantamiento visual de área de estudio. (Fig. # 6).

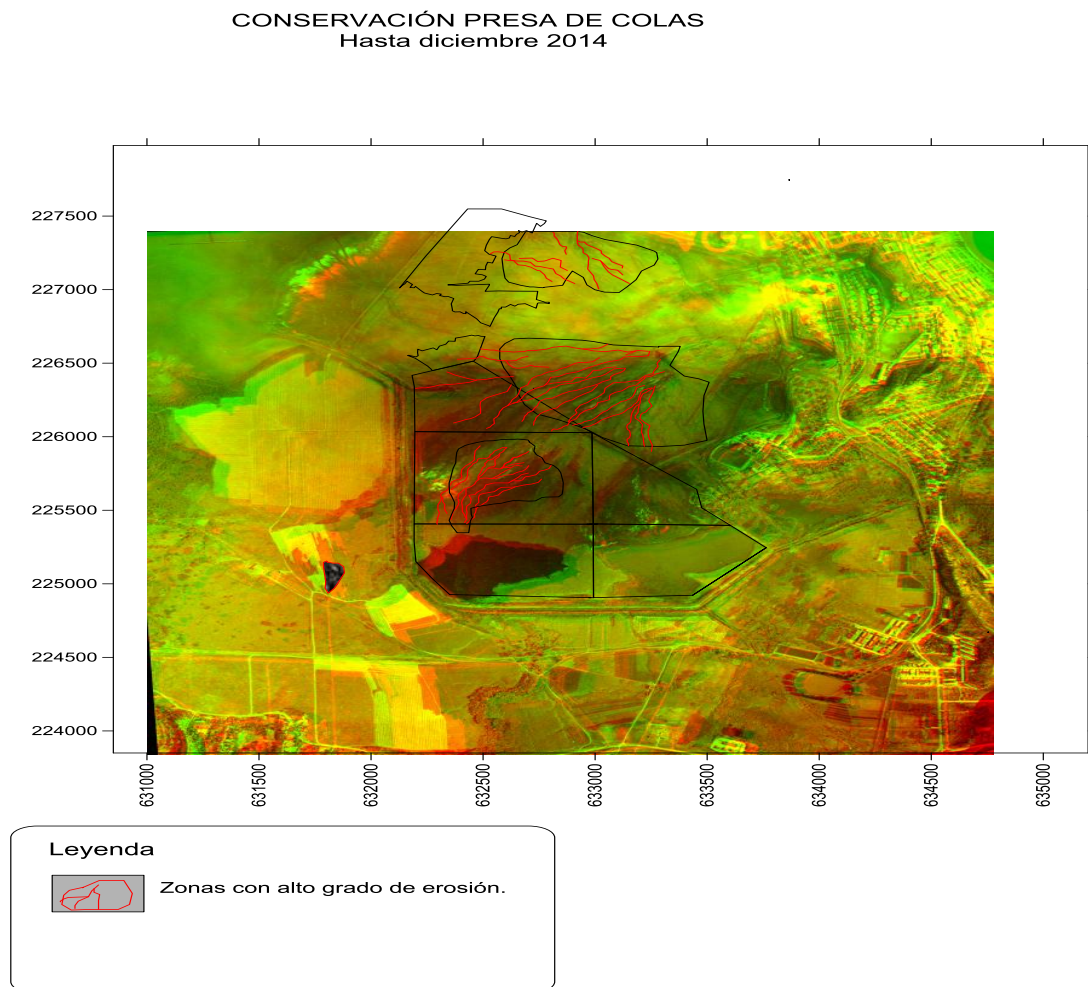


Figura #6: Mapa de procesos erosivos más significativos.

Al correlacionarlos con fotos aéreas se observó gran concordancia con los modelos digitales preparados para la interpretación.

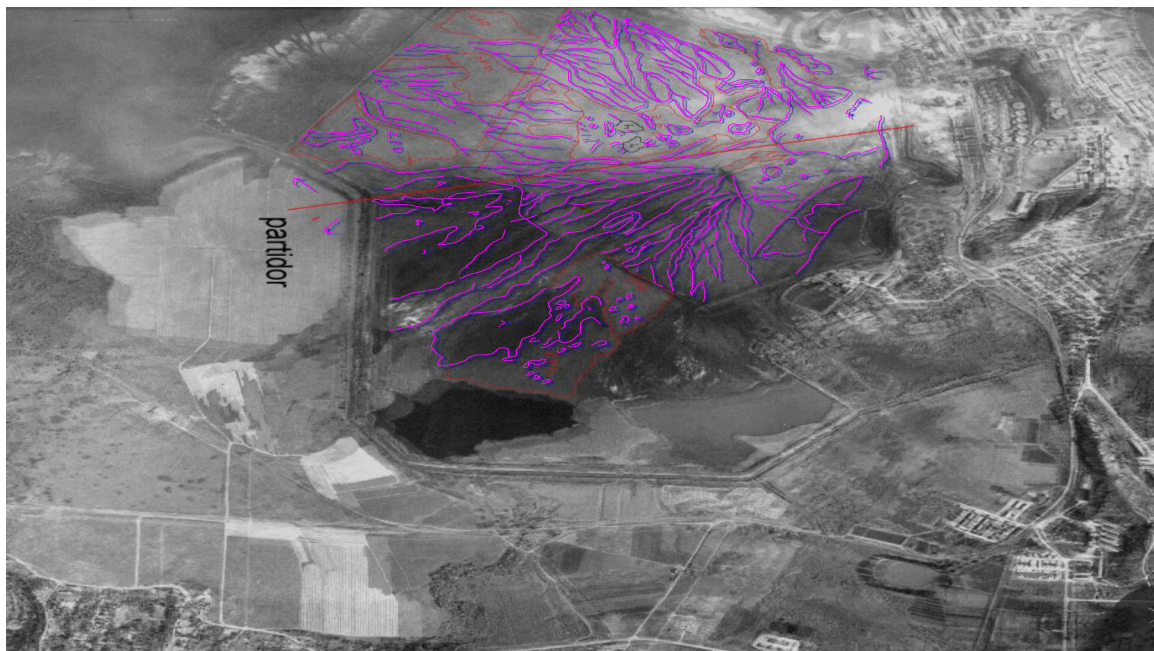


Figura # 6 a: Densidad de Acarcavamiento.

Se observa el sistema de cárcavas y su dirección predominante así como el parte aguas hacia las zonas bajas donde se intensifican los procesos de ruptura de diques.

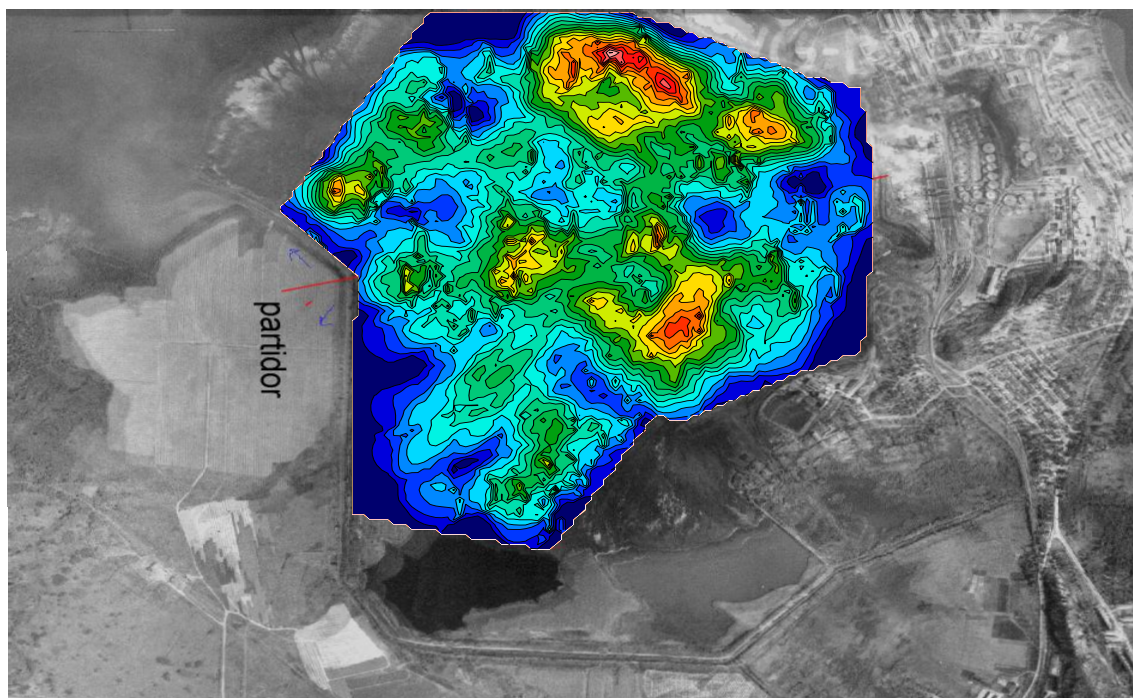


Figura # 6 b: Densidad de Cárcavas.

Además de los procesos naturales, existe un agente modificador de la morfología, el antrópico, debido a las indisciplinas tecnológicas pues la presa no se diseñó teniendo en cuenta los volúmenes de residuos a depositar durante la explotación, los cuales han sobrepasado las dimensiones con las que fueron confeccionadas, lo que ha determinado la formación de pequeñas elevaciones en las cercanías de los diques norte y oeste, siendo esta otra de las causas de los intensos procesos de erosión superficial y vertimiento de colas a la ensenada de Arroyo Blanco. Esto último se relaciona con el dragado del canal colector de los desechos de la limpieza de las plantas procesadoras, al acumularse y sedimentarse en el canal, se procede a la limpieza con una excavadora de cable (*DragLine*), con radio de acción o giro con más de 10m a 15m, este sedimento se colecta y se deposita sobre el dique norte elevando así los taludes sin hacerles medidas de estabilización de taludes y corrección de cárcavas, lo que propició la erosión superficial y la formación de cárcavas que vierten a la ensenada de Arroyo Blanco.(Foto# 6).



Foto# 6. Dique norte>20m producto a la limpieza del canal de desagüe.

2.4 Selección de especies forestales y herbáceas y determinación de dosis de mejoradores de sustratos para establecer la vegetación seleccionada.

2.4.1 Reforestación de diques.

Para controlar o reducir los problemas de contaminación en la región Nicaro - Mayarí, y mejorar la calidad de vida de la población circundante, se confecciona un proyecto dirigido a mitigar los impactos ocasionados por los fuertes procesos erosivos y las indisciplinas tecnológicas en la presa de colas en Nicaro.

Para lograr las tareas planificadas y su cumplimiento se determinó realizar una serie de actividades encaminadas a diagnosticar las áreas que por sus características geomorfológicas necesitan de una mayor acción correctora y con una vegetación determinada.

Para la determinación del tipo de vegetación y la selección de las especies a plantar se realiza un levantamiento a las presas de colas del aeropuerto (>40 años inactiva) y las presa de colas actualmente en explotación, donde se documentaron las especies que han retornado de forma espontánea, también se toma muestras de suelo existente en el área.

Las especies seleccionadas no fueron endémicas de la zona pero, forman parte de la vegetación autóctona de la Manigua costera y otras que por su resistencia a grandes periodos de sequía fueron elegidas también. Además de las especies seleccionadas para el interior de la presa de colas, se identificaron las especies que se pondrían en los diques solo que estas serían árboles con el fin de contrarrestar a las grandes corrientes de aires que levantan y erosionan la superficie de las presas de colas y que por su resistencia y poder de adaptabilidad son las ideales para el medio adverso donde se plantaran.

El experimento se estableció con un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas y cuatro tratamientos (Control, Suelo Carbonatado, Superfosfato Triple y Suelo Carbonatado + Superfosfato Triple). En la etapa de siembra las plantas de jiribilla y

wedelia deben de cubrir al menos un 50 % de las parcelas, siempre cuidando sembrar inicialmente el borde exterior de las mismas.

Diseño del experimento Bloques al azar con cuatro replicas.(Fig.# 7)

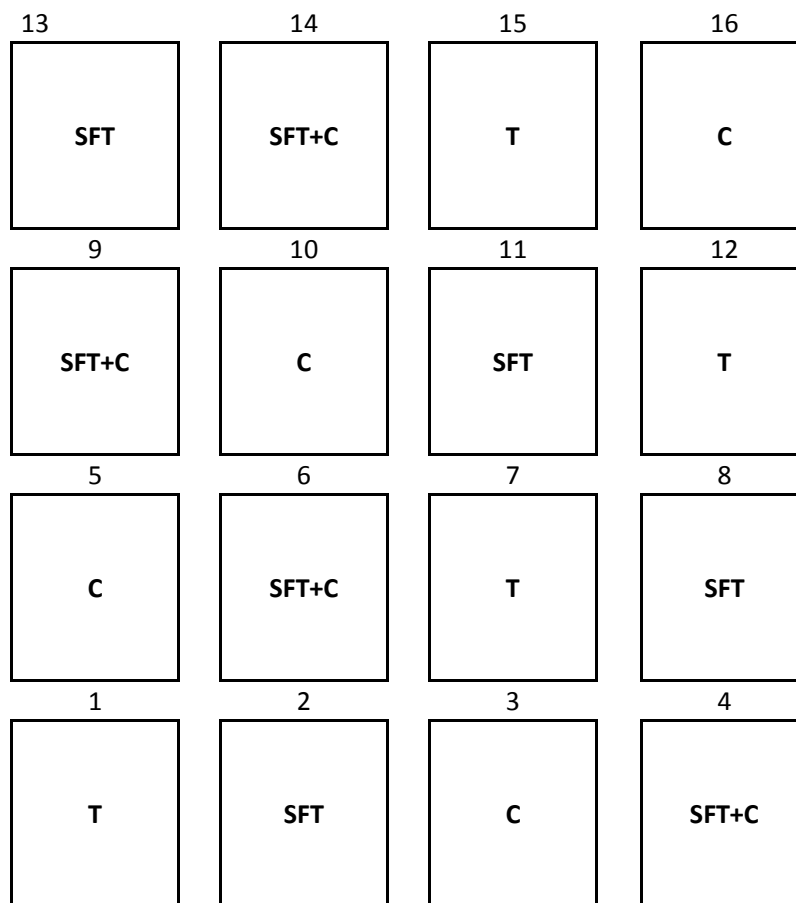


Figura # 7: Disposición de los bloques (I, II, III y IV) en la presa de cola es la misma como en el diseño.

1. Dosis de mejoradores de sustrato (tratamientos):

- Testigo o control – sustrato de cola sin mejorador (T)
- Suelo carbonatado – 0,04 m³ (C).
- Superfosfato triple – 1 Kg/ parcela (SFT).
- C + SFT

Tamaño de las parcelas: 5 m x 10 m

2. Preparación del sustrato para la siembra.

La superficie se removerá con un pico a unos cinco cm de profundidad, con el material removido se mezclará el suelo carbonatado y/o SFT en las cantidades que correspondan con los tratamientos.

Riego: se efectuará inmediatamente después de la siembra y en días alternos durante 60 días.

Mediciones: se realizarán mediciones diarias del estado de las plantas durante la primera semana y dos veces por semana hasta los 90 días posteriores. Al mes, en una parcela de 0,5 m x 0,5 m, se tomaran muestras de material vegetal para determinar el peso verde, seco foliar y radical.(Fig. # 8).

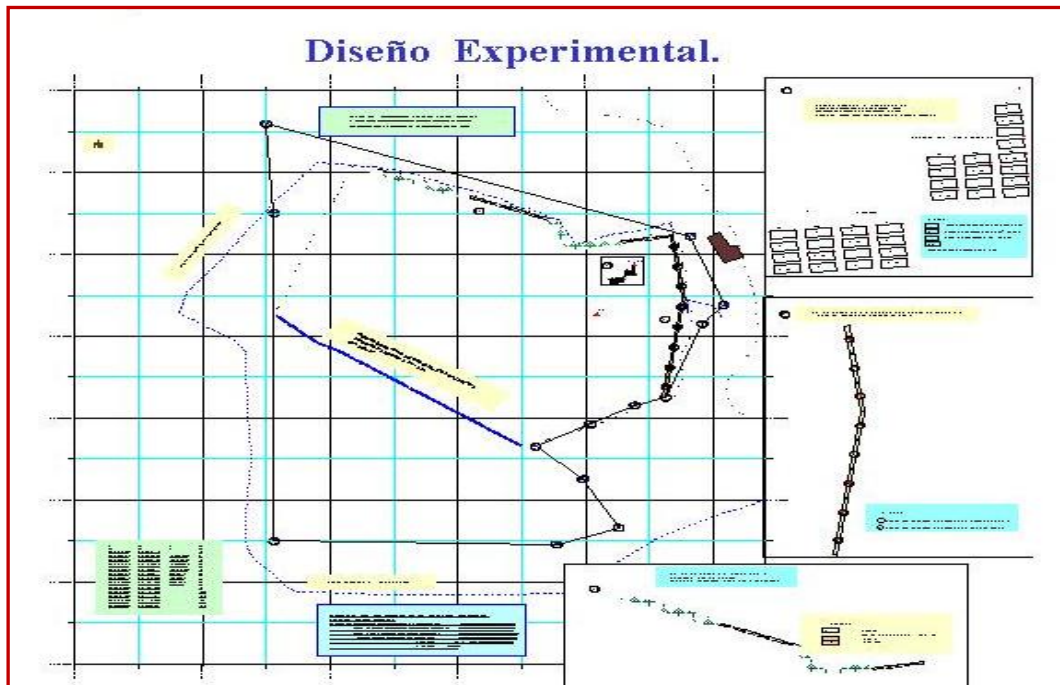


Figura. # 8: Ubicación del experimento en las presas de colas nueva y vieja.

Con el objetivo de cubrir todos los objetivos propuestos y no descartar la posibilidad de que las especies seleccionadas no se adaptaran a las nuevas condiciones se estableció un experimento con distintos tipos de sustratos a escala de vivero, lo cual se realizó en el vivero del MICONS en Levisa.

Las especies seleccionadas y que se identificaron en el levantamiento de la presa del aeropuerto fueron:

- Helecho (resistente a la sequía).
- Mimosa púdica (encontrada en varios sitios de la presa de colas vieja).
- Girasol.

Se experimentará con cuatro tratamientos equivalentes a los que se diseñaron en la presa de colas nueva, se aviverarán en bolsas de polietileno de capacidad de 3,7 l.

- Testigo o control (T) – sustrato de cola.
- 75% de cola + 25% Suelo carbonatado.
- 50% de cola + 50% Suelo carbonatado.
- 25% de cola + 75% Suelo carbonatado.

El experimento tendrá una duración de estudio y monitoreo de tres y seis meses.

Este experimento se manifestó de igual forma que el establecido ya que con el mejorador (suelo carbonatado) los índices de cubrimiento y supervivencia fueron similares a los logrados en las parcelas, lo que demuestra que para lograr una cobertura sobre las colas hay que mejorar sus características nutricionales para lograr el establecimiento deseado.

2.4.2 Análisis de suelo

2.4.2.1 Análisis agroquímico de las colas.

De las muestras analizadas del sustrato en las parcelas correspondientes a cada uno de los tratamientos con mejoradores y antes de la siembra de las especies, se determina su composición agroquímica que muestra el déficit de minerales que proporcionen nutrientes a las especies, también muestra que los componentes como el KO_2 es inferior para establecer cualquier tipo de vegetación en un medio tan adverso como el de la investigación. Otro de los componentes de las colas es la escasa materia orgánica la cual es determinante para el establecimiento de cualquier vegetación.

Se tomaron 16 muestras de sustrato en las parcelas correspondientes a cada uno de los tratamientos de mejoradores y antes de la siembra de las herbáceas. Se determinaron: pH en agua y KCl (método potenciométrico), materia orgánica (M.O, método de Walkley-Black), cationes intercambiables (Cl, método de Tschachabel), fósforo y potasio biodisponibles (P_2O_5 y K_2O , método de Machiguin), microelementos (manganeso, Mn, cinc, Zn, cobre, Cu, y hierro, Fe; método de Krupski-Alexandrova).

Sales solubles: Se determinaron calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{1+}), potasio (K^{1+}), cloruros (Cl^{1-}), carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^{1-}), sulfatos (SO_4^{2-}) y la conductividad eléctrica (CE) a $25^{\circ}C$ en una relación suelo/agua 1:5.

2.5 Conclusiones.

La aplicación de los métodos descritos en este capítulo, permitieron identificar diversos procesos de gran incidencia negativa sobre la morfología de la presa de cola.

Con el estudio de suelos se determinó su composición agroquímica en las parcelas, con el objetivo de conocer sus contenidos y aplicar dosis de mejoradores adecuados. También se identificaron los procesos erosivos; producto de las malas prácticas empleadas en la deposición de los residuos industriales, sin tener en cuenta las consecuencias futuras como roturas de diques y desprendimientos de los taludes, constituyendo estos métodos de investigación, direcciones de trabajo para regular las prácticas de conservación de los residuos industriales, en aras de mejorar la calidad de vida de las comunidades cercanas y los ecosistemas de la ensenada de Arroyo Blanco.

Capítulo III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, siguiendo la metodología expuesta en el Capítulo II y su relación con los objetivos específicos propuestos. Es importante considerar la contribución aportada por cada uno de los resultados, a fin de realizar un agrupamiento coherente mediante el estudio minucioso de su significado e interrelaciones para construir una síntesis global. Para ello, se consideró la revisión bibliográfica y el levantamiento de información sobre la presa de colas de la Empresa Niquelífera “Comandante René Ramos Latour” en Nicaro, orientado a describir el sistema que conforma la ensenada de Arroyo Blanco y sus principales fuentes contaminantes.

Aplicando la metodología desarrollada en el capítulo anterior se logró recopilar información que permite identificar unas series de características y eventos del área de estudio, que al relacionarse con la dinámica de la presa de colas, puede provocar alteraciones de los medios circundantes, situación que más adelante se desarrollara.

3.2 Caracterización físico-química de la presa de colas.

El presente capítulo se refiere a la composición química de la presa de colas y las principales características de la misma, así como la composición agroquímica en las parcelas experimentales.

3.2.1 Resultados de la Composición agroquímica de las colas.

En la tabla se muestra la composición agroquímica de las colas Nicaro, indicando los porcentajes de concentración de los elementos que pueden intervenir en una buena adaptabilidad de las especies seleccionadas, así como las especies que pueden establecerse sin correr riesgo de perder las plantaciones.(Tab.# 4).

Tabla # 4: Composición agroquímica de las parcelas.

Parcelas	pH		c mol.Kg ⁻¹				%	mg 100g ⁻¹				Microelementos (ppm)			
	KCL	H ₂ O	Ca 3 - 4	Mg	Na	K 3 - 5	M.O	P ₂ O ₅ 1,2 - 1,3	K ₂ O	NH ₄	NO ₃ 2,5 - 4	Zn	Fe	Cu	Mn 5 %
T	7.85	8.30	3.48	12.69	0.15	0.125	1.26	0	5.0	1.68	0	1.09	865.86	0.453	251.08
C	7.70	8.15	9.38	6.53	0.15	0.325	2.19	0	10.5	2.45	0	2.06	333.02	0.433	35.97
SFT	7.50	8.35	2.52	14.33	0.85	0.125	0.88	0	7.0	1.96	0.35	1.01	980.04	0.401	261.66
SFT+C	7.90	8.20	6.13	7.72	0.15	0.075	1.75	0	5.0	2.03	0	0.27	393.92	0.368	306.88
T	7.70	8.10	14.19	6.78	0.25	0.250	2.14	0	9.0	2.31	0	1.22	149.38	0.487	5.49
C	7.65	8.00	18.27	6.64	0.73	0.325	5.25	0	10.5	2.66	1.4	0.90	72.50	0.452	61.76
SFT	7.50	7.90	25.25	6.70	0.35	0.850	3.56	0	28.0	4.41	1.4	2.24	25.50	0.196	3.07
SFT+C	7.45	7.95	25.01	7.72	0.25	0.625	5.09	0	23.0	3.99	0	1.74	22.64	0.133	3.07
T	7.70	8.00	11.78	14.90	1.50	0.450	2.54	0	14.0	2.59	0.35	1.28	217.89	0.484	39.63
C	7.65	8.50	18.27	20.32	1.77	0.620	4.27	0	21.0	2.45	0	1.45	283.55	0.486	63.68
SFT	7.45	7.95	15.99	10.10	0.35	0.550	4.49	0	18.0	1.96	1.4	0.59	129.40	0.502	9.54
C +SFT	7.50	7.80	24.29	10.10	0.55	0.550	7.99	0	16.0	2.45	0.77	0.77	157.95	0.369	36.94
T	7.00	7.95	4.86	19.48	3.80	0.120	2.96	0	7.0	1.96	1.68	0.28	109.42	0.461	411.73
C	6.55	7.80	3.13	11.24	0.10	0.025	1.26	0	2.0	18.2	23.8	0.42	193.15	0.439	464.65
SFT	7.10	7.75	3.70	18.68	0.20	0.025	2.46	0	2.0	2.1	4.9	2.39	706.01	0.37	461.76
C +SFT	7.50	7.25	13.46	21.56	0.50	0.200	2.14	0	7.0	5.6	7	1.65	563.29	0.415	262.62

En la tabla de composición agroquímica se demuestra el grado de estéril del depósito lo que confirma la necesidad de utilizar mejoradores para lograr los objetivos propuestos, lo que se corrobora por los resultados obtenidos con el porcentaje de supervivencia y cubrimiento de las parcelas.

Otro resultado es que al incorporar el suelo carbonatado se logró que la humedad del depósito se mantuviera por más tiempo, lo que era otro de los objetivos en favor de las poblaciones cercanas al no tener contaminación por la erosión eólica.

Para una mejor interpretación de la composición agroquímica de las parcelas se muestra una serie de gráficos según el tratamiento aplicado en los mismos, se observa algunos porcentajes de elementos orgánicos aunque no en concentraciones elevadas pero que benefician la nutrición de las plantas tales como K, K₂O, NH₄, NO₃, MO, KCL entre otro. (Graf. # 1,2 y 3).

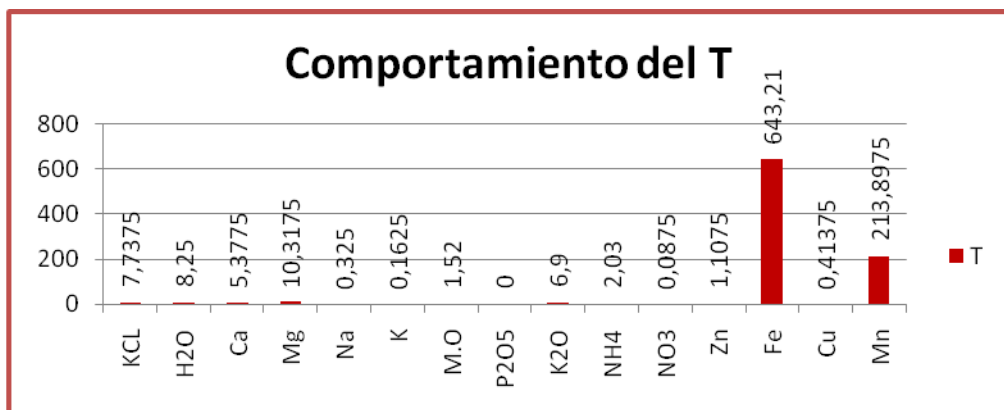


Grafico # 1 Comportamiento del testigo solo.

En el tratamiento con testigo solo (colas) se puede observar que los componentes son bajos o insignificantes para lograr los objetivos propuestos donde se puede señalar que los microelementos como Fe y Mn son los de más altas concentraciones.



Foto # 7 Desarrollo pobre por falta de nutrientes.

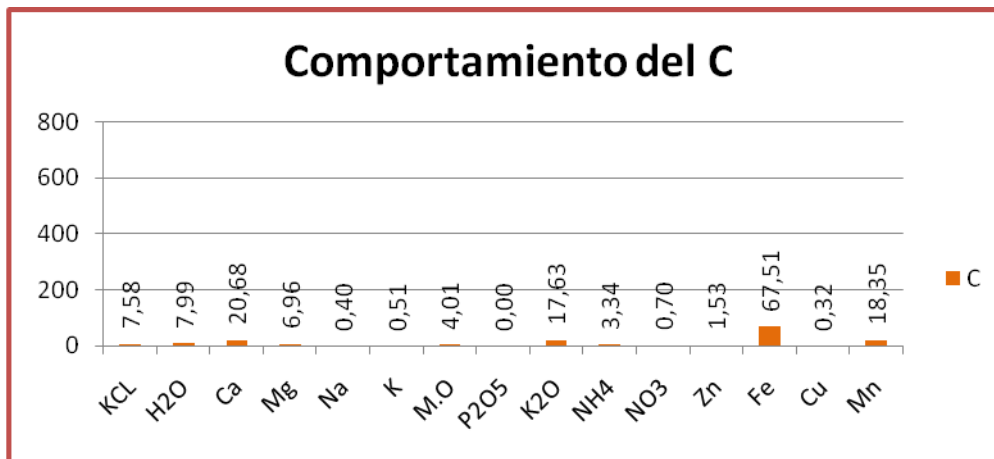


Grafico # 2 Comportamiento del suelo carbonatado.

Al aplicar el suelo carbonatado se observa como los elementos el Fe y Mn disminuyen aumentando así el K_2O que constituye parte de los nutrientes para el desarrollo de las plantas.(Foto # 8).

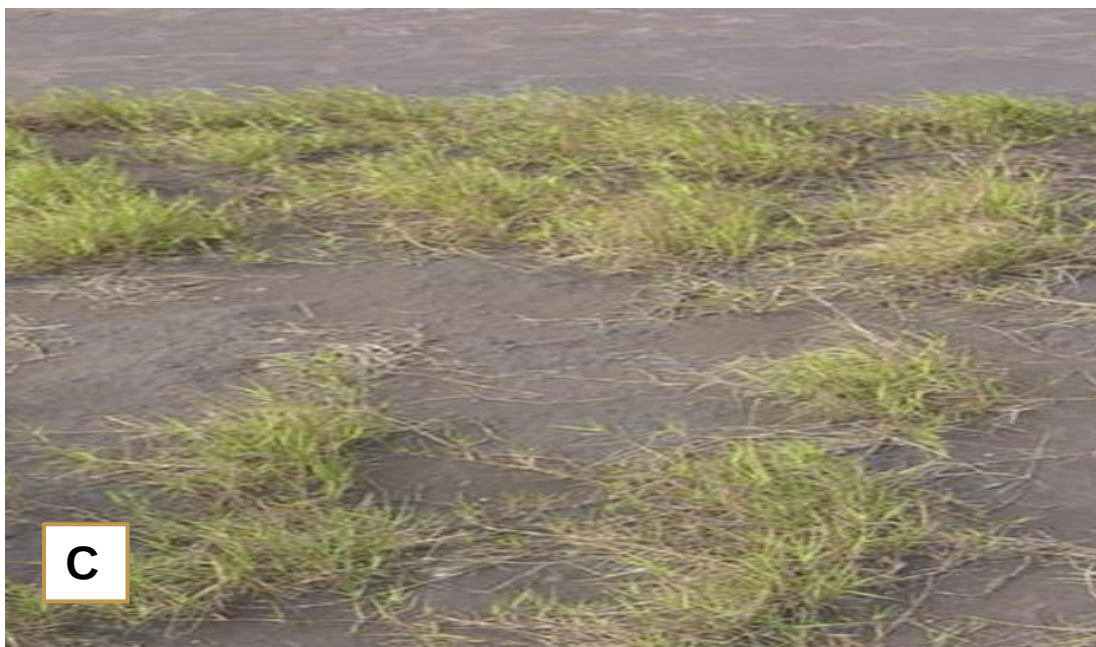


Foto. # 8. Mejor cubrimiento con mejorador (suelo carbonatado).

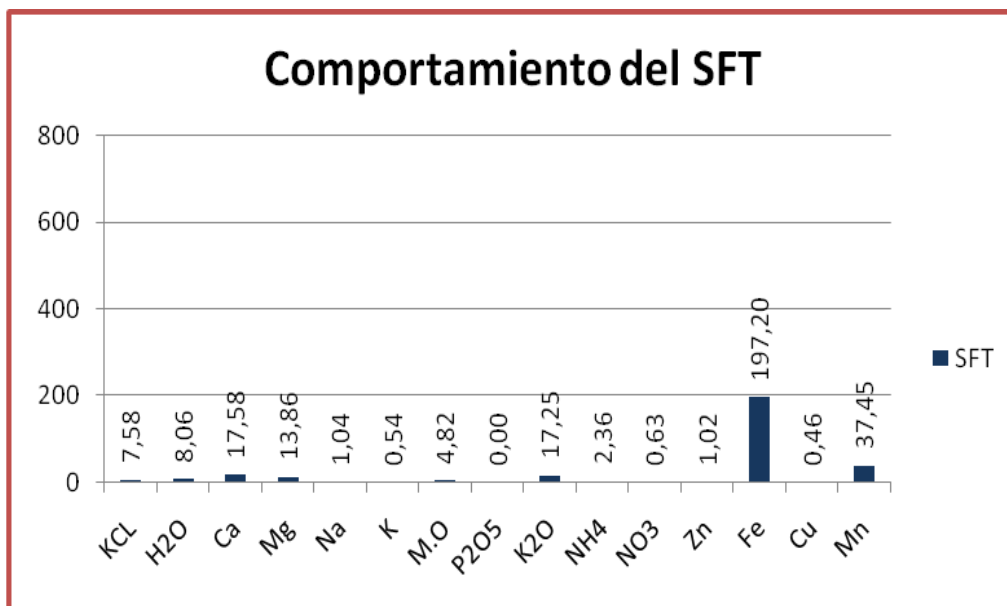


Grafico # 3 Comportamiento del Superfosfato triple o simple.



Foto #9. Con el mejoramiento se logra el 100% de cubrimiento y se incorporan otras especies de forma espontánea.

El SFT es un abono constituido por fosforo (P), potasio (K) y nitrógeno (N), los que combinados con las dosis adecuadas suministran al suelo la fertilidad necesaria

para el desarrollo de las plantas así como su supervivencia, fructificación y reproducción logrando un incremento de la especie en el área.

3.3 Resultados de los análisis químicos de suelo y agua.

Como complemento del informe de la investigación geológica de la presa de colas en Nicaro, se preparó esta tabla con los volúmenes, resultados y aclaraciones de algunos términos.

Se destaca en estos resultados la alta concentración de hierro hasta convertirlo en una mena rica en este metal, pues como se puede observar en la tabla de análisis químico, su contenido va desde un 53 % hasta más del 64 %, esto unido a los % de Cromo entre 1.00 y 2.00 porciento, de Níquel desde 0.35 a 0.40 y el Cobalto entre 0.07 y 0.12, le confieren a este material de rechazo o cola un gran valor industrial. (Tab. # 5).

Tabla # 5: Análisis químicos de suelo presa de colas.

Cala	4	3	7	6	10	12	13	16	18	8	19	21
Muestra	10	10	11	9	9-10	22	21	2	4	6	8	10
Profundidad (m)	9.10-10.70	9.45-11.35	10.45-11.35	5.40-6.30	5.30-7.30	21.70-22.15	19.95-21.70	2.00-3.00	3.80-4.70	6.00-6.80	7.10-8.00	9.45-10.10
% Cr	1.20	1.01	-	1.15	1.42	-	1.24	1.92	2.04	1.60	1.98	1.45
% Ni	0.40	0.36	-	0.36	0.36	-	0.35	0.37	0.36	0.35	0.39	0.38
% Co	0.08	0.07	-	0.08	0.12	-	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
% Fe	54.73	54.00	-	53.06	61.44	-	64.79	57.25	57.63	63.67	55.29	56.97
% Al ₂ O ₃	N/C	73	-	0.17	N/C	-	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C	N/C
% MgO	18.92	0.08	-	10.46	7.15	-	10.34	7.56	6.98	-	-	-
% CaO	0.43	11.16	-	0.30	0.32	-	0.89	0.39	0.26	-	-	-
% CaCO ₃	-	0.33	32.69	-	-	22.73	-	-	-	-	-	-
% M.O.	1.95	-	2.37	2.11	1.47	3.54	1.59	1.13	1.26	1.07	1.16	1.22
% S.S.T	-	2.18	2.4307	-	-	2.4138	-	-	-	-	-	-

N/C: no contiene o solo cantidades muy pequeñas (trazas).

También se destaca el contenido de la materia orgánica en este material, el que se encuentra en un rango entre 1.07 % y 3.54 %, los cuales de acuerdo a la técnica empleada por los químicos se relacionan con la materia en descomposición o

totalmente descompuesta, por lo que se supone que los hidrocarburos presentes en el proceso industrial que da origen a estas colas, tienen poca o ninguna influencia en la materia orgánica presente, con relación a otros tipos de suelo investigados en la zona no saturada de perfil ingeniero geológico.

Con el tratamiento a base de fertilizantes SFT se demuestra que es necesario aplicar un mejorador del sustrato para incorporar nutrientes al suelo y lograr el establecimiento de la cobertura, con el mismo se puede constatar que los valores de nutrientes aunque bajos están presentes, demostrando así el % de cubrimiento con este tratamiento. (Foto # 10).



Foto # 10. Desarrollo de la cobertura herbácea con la aplicación del SFT+C a los tres meses de plantadas.

3.4 Procesos erosivos en la presa de colas.

Además de los procesos naturales, existe un agente modificador de la morfología el antrópico, debido a las indisciplinas tecnológicas pues la presa no se diseñó teniendo en cuenta los volúmenes de residuos a depositar durante la explotación, los cuales han sobrepasado las dimensiones con las que fueron confeccionadas, lo que ha determinado la formación de pequeñas elevaciones en las cercanías de los diques

norte y oeste, siendo esta otra de las causas de los intensos procesos de erosión superficial y vertimiento de colas a la ensenada de Arroyo Blanco.

Como resultado de la observación directa en la presas de colas durante el levantamiento visual se diagnosticó la presencia de la erosión superficial y la erosión eólica determinadas por los regímenes de lluvias y vientos asociados a determinadas épocas del año. Por otra parte se observa la presencia de procesos de erosión marina, la cual solo se manifiesta de forma agresiva en la parte norte del dique oeste de la presa de colas y en el dique sur que se une con el dique oeste, en este sector se observa la erosión superficial debido a la ruptura del dique oeste el cual colapso, formándose las llamadas playas de colas. (Foto # 11)



Foto # 11: Dique sur Presa colas Nueva colapsado (formación de playas de cola).

Los procesos erosivos más significativos y con mayor impacto sobre las comunidades aledañas, son la erosión superficial y la eólica. Partiendo de la incidencia de estos procesos y las afectaciones sobre la población, es que se decide iniciar la revegetación de los diques (norte, sur, oeste y este) con especies seleccionadas y establecidas en la presa de colas vieja abandonada (aeropuerto).

Dique Norte, este dique tiene una longitud de 1 410 m, con presencia de fuertes procesos erosivos y varias roturas que han provocado la formación de grandes

sistemas de cárcavas a todo lo largo del mismo aportando grandes cantidades de sedimentos a la bahía de Arroyo Blanco, también provoca la colmatación del canal de desagüe de las plantas procesadora. Al oeste de este dique se observa la formación de playas de cola, en las que se observa la regeneración natural de mangles y otras especies propias del ecosistema. En la parte superior del dique se plantaron *Bucida buceras* (júcaro) y *Bucida espinosa* (jucarillo), en 16 parcelas (8 de cada especie). Las parcelas se confeccionaron en forma rectangular con dimensiones de 15 m x 30 m y 36 árboles (4 árboles x 9 árboles) plantados a un espaciamiento de 3 m x 3 m a tres bolillos (croquis y planos anexos). El total de árboles fue de 576 (288 de cada especie) y la superficie total cubierta será 0,72 ha. (Fotos # 12 y 13).



Foto # 12: Dique Norte: sistema de cárcavas que tributan al canal de desagüe de las plantas procesadoras.



Foto # 13: Canal de desagüe de los desechos de las plantas procesadoras.

En el dique norte se determinó la utilización de árboles con el fin de establecer una cortina biológica que, en primera instancia, retuviera o disminuyera las corrientes de aire y con ello las partículas de polvo dispersas en el aire, las especies seleccionadas para este dique fueron *Bucida buceras* (júcaro), *Bucida espinosa* (jucarillo) y *Chrysobalanus icaco* (icaco dulce) por su buena adaptabilidad, frondosidad y gran porte. (Anexo # 1).

En las playas de colas al norte, que coinciden con el dique norte, también se observaron procesos erosivos, estos influyen menos en las condiciones ambientales de las poblaciones aledañas por mantenerse húmedas por las mareas, pero intervienen de forma negativa en la contaminación de la bahía disminuyendo la capacidad de regeneración de los ecosistemas establecidos para ello se sembró con *Rhizophora mangle* (mangle rojo) para inducir el retorno de la vegetación costera endémica y autóctona de la zona, según experiencias del monitoreo de la presa de colas abandonadas (aeropuerto). Por estos motivos y para tratar de establecer la vegetación costera endémica y autóctona de la zona, se determinó la siembra de mangles tratando de establecer el perfil original.

De esta forma se disminuiría la erosión marina y se establecería una barrera biológica. (Foto # 14).



Foto # 14: Siembra con *Rhizophora mangle* (mangle rojo) en las playas de colas al norte del depósito.

Dique Este, se encuentra al oeste de la planta procesadora de mineral y separado por un canal colector de los residuos líquidos de las plantas de lixiviación y lavado y de la limpiezas de otras plantas de procesamiento, tiene la mayor altura por el dragado del canal y depositado de forma indisciplinada sin control de la altura y el ancho del canal, lo cual ha provocado la formación de cárcavas de gran porte.

Este dique tiene una longitud de 1015 m y presenta irregularidades en el relieve y en su ancho, las que han sido originadas por erosión hídrica, el vertimiento de residuos (principalmente de carbón) y la construcción arbitraria de caminos.

Las corrientes de aire levantan grandes nubes de polvo, ya que forman la primera cortina contra el viento, lo que ha motivado una gran preocupación por parte de la empresa por solucionar este problema. De igual forma se determinó la utilización de árboles de porte alto, crecimiento rápido y aclimatación a las nuevas condiciones extremadamente adversas, por esa razón se seleccionó *Casuarina equisetifolia* L.

(casuarina) (Benítez, 2006) con el fin de detener o disminuir las corrientes de aire cargadas con partículas de polvo al actuar como cortina rompevientos.

Se plantó *Casuarina equisetifolia* L. (casuarina) con un diseño de bloques al azar con dos tratamientos y cuatro réplicas. Los tratamientos fueron: 1) plántulas producidas en bolsas de polietileno de 3,7 litros de capacidad y 2) plántulas producidas en bolsas de polietileno de 7 l de capacidad. (Anexo # 2).

El sustrato para el llenado de las bolsas se constituyó con materia orgánica, suelo del vivero y cola en una proporción de 10 %, 45 % y 45 % respectivamente.

El total fueron 8 las parcelas trabajadas, cada una de ellas con forma rectangular y dimensiones de: 123 m x 15 m y 160 árboles (4 árboles x 40 árboles), plantados a un espaciamiento de 3 m x 3 m a tresbolillos. El total de árboles fue de 1 280 y la superficie total cubierta de 1,5 ha.

Mediciones: se realizaron conteos de supervivencias y mediciones de altura y diámetro con regla graduada y pie de rey, respectivamente, al momento de efectuarse la plantación, a los tres meses, seis, nueve, doce, dieciocho y veinticuatro meses de edad de los árboles.(Foto # 15).



Foto # 15: Siembra con casuarina equisetifolia dique este.

Dique Sur, este dique colinda con el canal de desvío del río Levisa y Bayate, los cuales desembocaban cerca de la ensenada de Arroyo Blanco, en la que existía una

vegetación típica de costa afectada por la presa de colas. Este dique tiene una longitud de 1241m y divide la PC vieja de la nueva. Se reforestó con 4 hileras de *Casuarina equisetifolia* L. (casuarina) con un marco de plantación de 3 m x 3 m a tresbolillos. El número total de árboles fue 1252 y la superficie cubierta 1,4 ha, la franja forestal tiene un ancho de 15 m y fue realizado por la Empresa Forestal Mayarí y se extendió a toda la longitud del dique.

Mediciones: Se seleccionarán 4 grupos de 20 árboles y se realizarán conteos de supervivencias y mediciones de diámetro y altura al mes, y a los seis, doce y veinticuatro meses posteriormente a la plantación.

En esta zona se determinó poner al igual que en el Dique Este *Casuarina equisetifolia* L. (casuarina) con el mismo diseño. Esta especie posee gran poder de aclimatación y ayuda al establecimiento de otras especies secundarias que crecen en la presa de colas vieja (aeropuerto) (Bruzón, 2014; Herrero *et al.*, 2009). También se utilizará como cortina biológica contra el viento sur, frecuente en determinadas épocas del año, y para evitar la erosión causada por la crecida de los ríos Levisa y Bayate. (Foto # 16).



Foto # 16: Siembra con *casuarina equisetifolia* dique sur.

Dique oeste, este dique cuenta con una longitud aproximada de 1080m, el mismo esta fracturado, lo que deja al descubierto la masa mineral, provocando la formación de cárcavas de gran porte que colinda con el canal de desvío de los Ríos Levisa y Bayate sobre el mismo existe una vegetación típica de charrasco con pequeños arbustos los cuales se establecieron de forma espontánea. Este dique colinda con el mar en la porción norte y por su grado de erosión permite que el mar actúe directamente sobre el dique erosionando y formando lo que se denomina las playas de colas. Por estos motivos y para tratar de amortiguar la contaminación directa a la bahía se decide establecer una vegetación costera autóctona de la zona, con la siembra de mangles, aunque no con todas las especies *Avicennia germinans* (mangle prieto), y (mangle rojo), tratando de establecer el perfil original. De esta forma se disminuiría la erosión marina y se establecería una barrera biológica. La siembra se realizó con semillas directas de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) recolectadas de poblaciones aledañas al área de estudio. (Foto # 17).



Foto # 17: Siembra con mangle en las playas de colas al oeste.

Revegetación con herbáceas en el interior de la presa de cola.

La revegetación de la superficie central de la presa de colas, con una especie herbácea que posea un sistema radical superficial (que no sobrepase los 5 cm de profundidad), tuvo el fin de conservar y evitar la contaminación de las colas con vistas a un uso posterior y comercialización de las mismas. A su vez el establecimiento de una cobertura herbácea reduciría los efectos erosivos intensos, causados por las lluvias y el viento.

En ese sentido se estableció el experimento con las dos especies herbáceas presentes en la región Nicaro-Mayarí en el interior de la presa de cola (Foto #18).

- *Andropogon caricosus* Ligneo (jiribilla)
- *Sphagneticola trilobata* (wedelia).



Foto # 18 Siembra para el cubrimiento del interior de la presa de colas.

3.5 Retorno de especies.

En las zonas de investigación se han observado la presencia de pequeños grupos de hormigas del tipo bibijagua (*atta insularis*), algunas mariposas las cuales se ubican en los diques Sur y Oeste cerca del canal de desvío de los Ríos Levisa y Bayate, La

presencia de animales domésticos es evidente, una de las características de las comunidades humanas es pastorear ganado vacuno y ovino. También se observan algunas aves migratorias como el pato, la garza negra, sinsonte, bijirita.(Fotos # 19 a y b).



Fotos # 19-a *Atta insularis* (Bibijagua).

Foto # 19-b Pastoreo de ovejos.

En la zona de estudio se observa una vegetación densa en las márgenes del río Arroyo Blanco. Se compone básicamente de vegetación natural, pero se desarrollan especies indicadoras de la formación secundaria como son: *Calophyllum antillanu* (Ocuje), *Solanum torvum* (Pendejera) y *Crescentia cujete*. (Güira) Se debe destacar la alta densidad de especímenes, lo que obedece a los altos índices de humedad

existente en el área. Su estado de conservación actual es bueno y se precisa que en ocasiones solo se desarrolla en una de las riberas como consecuencia de la actividad depredadora que durante años se ha llevado a cabo para el desarrollo de ecosistemas agrícolas(Geocuba. 2005)(Fotos #20-a y 20-b).



Foto # 20-a Población de Leucaenas.

Foto # 20-b Júcaro Negro.

3.6 Medidas de mitigación que mejoren la calidad ambiental de los ecosistemas circundantes.

Partiendo de que objetivo cuarto del presente trabajo de investigación y viendo la necesidad de actuar conscientemente sobre las afectaciones a los ecosistemas de la ensenada de Arroyo Blanco se proponen algunas medidas que pueden mejorar o detener el avance de los problemas actuales en las presa de colas.

- 1.** Manejo de la capa superficial del suelo (Testigo) con mejoradores del sustrato y preparación de los medios de revegetación.
- 2.** Renivelación de los taludes para minimizar el potencial de deslizamientos, erosión de los rellenos y promover el restablecimiento del hábitat original.
- 3.** Revegetación para ayudar a establecer comunidades de plantas nativas que sean consistentes con el ecosistema, que protejan los recursos hídricos y a la vez restablezca el hábitat y el atractivo visual.

4. Monitoreo final de la calidad del aire y las aguas superficiales, subterráneas y marinas hasta asegurar que la calidad ambiental del sitio se ha recuperado.
5. Crear un plan de sensibilización ambiental que incluya a toda la población, ya que los problemas de contaminación no solo están referidos a las empresas de producción de níquel, sino a la cultura socio-ambiental de todos los habitantes.

3.7 Conclusiones.

En el análisis de los resultados alcanzados se puede constatar que se logró establecer un sistema de revegetación que diera solución a los problemas ambientales y logrará un retorno de la vegetación nativa de la zona aunque solo de forma incipiente, en las primeras etapas de la investigación se logró apalejar la contaminación diaria a las comunidades cercanas y a los ecosistemas de la ensenada de Arroyo Blanco, la cobertura en el interior de la presa de colas logró demostrar que la especie escogida (*Andropogon caricosus* Ligneo, (jiribilla), es la de más rápido crecimiento y adaptabilidad, logrando unos porcentajes de supervivencia superiores a los esperados. También se observó el retorno de especies animales y forestales autóctonas.

Conclusiones Generales.

El desarrollo de la investigación para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos nos permite arribar a las siguientes conclusiones:

1. De las dos especies probadas en el diseño experimental de revegetación en las presa de colas *Andropogon Caricosus Ligneo* (jiribilla) y *Sphagneticola Trilobata* (wedelia), resultó ser usada con éxito la primera.
2. Resulto significativo el desarrollo alcanzado por *Andropogon Caricosus Ligneo* (jiribilla) en los 4 tratamientos utilizados, no observándose diferencia a simple vista entre ellos.
3. De las 5 especies probadas para cortinas biológicas en la presa de colas de Nicaro, solo sobrevivió la *Casuarina Equisetifolia* (casuarina).
4. La mitigación de los impactos ambientales provocados por las presas de colas se logró con una cobertura herbácea adecuada, que además de contribuir a contrarrestar los problemas de erosión.
5. Las dosis de mejoradores que se probaron cumplieron con su papel como nutrientes para lograr la cobertura herbácea estable y resistente a los grandes periodos de sequía.

Recomendaciones.

Las recomendaciones parten del diagnóstico realizado a la presa de colas al año del establecimiento del experimento.

- 1.** Realizar estudios de detalles para cada sector de la presa de colas nueva y vieja, teniendo en cuenta la morfología de la misma como complementos para otros trabajos encaminados a mejorar los problemas de erosión.
- 2.** Realizar la evaluación de riesgo por erosión para los sectores estudiados, que permitan determinar la peligrosidad para los ecosistemas cercanos.
- 3.** Hacer extensivo el estudio al resto del litoral del municipio Mayarí para conocer el grado de contaminación por colas.
- 4.** Realizar trabajos técnicos a los diques, no cuentan con una estabilización adecuada lo que provoca grandes masas de cola que se vierten a la ensenada de Arroyo Blanco.
- 5.** Evitar el paso por la zona sembrada para no alterar el desarrollo de las especies plantadas.

Lista de las abreviaturas utilizadas

Ecosistema: Es el conjunto de elementos que se interrelacionan en un determinado sitio en la naturaleza. Sistema funcional que incluye a los organismos de una comunidad natural, junto con su entorno.

Contaminación: Desechos producidos por el ser humano que rebajan la calidad del ambiente. Adición o acumulación de sustancias extrañas al medio ambiente, como subproducto o residuos de actividades económicas humanas.

Biodiversidad: Conjunto de organismos vivos, fauna y flora de áreas o zonas determinadas. Variedad de especies animales y vegetales existentes en un área definida.

Hábitat: Dentro de un ecosistema pueden existir uno o más hábitats. Esto es, espacios territoriales definidos por un conjunto de condiciones favorables para la supervivencia de una o más especies vegetales o animales, incluido el ser humano.

Ambiente: conjunto de condiciones, leyes, influencias e interacciones de orden físico, químico y biológico que permiten, resguardar y rigen la vida en todas sus formas.

ECRRL: Empresa “Comandante René Ramos Latour”.

CEPRONIQUEL: Centro de Proyectos de la Unión del Níquel.

CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

IES: Instituto de Ecología y Sistemática.

MICONS: Ministerio de la Construcción.

ENIA: Empresa de Investigaciones Aplicadas.

Bibliografía:

AGUILERA CAMBRAY, C. Testimonio de ciudadana participante en la protesta de las Mujeres de La Pasa, en Nicaro. En: Boletín Caroni. Nicaro, 2004.

BENITEZ, J., Y. Estimación de la biomasa total en plantaciones de casuarina equisetifolia Fors. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, 2006.

BISSE, J. Árboles de Cuba. La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1988. 384 p.

BRUZÓN, N. Rehabilitación de áreas degradadas por la minería a cielo abierto en la región Nicaro- Mayarí, Cuba. HERRERO, G. (tutor). Tesis Doctoral. Universidad de Pinar del Rio, 2014.

CECCATO, D. Minería a cielo abierto y su repercusión en el medio ambiente. [en línea]. 2010. [Consultado: 20141023]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.pe/>>.

COLECTIVO DE AUTORES. Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. Madrid.: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1997. p. 45 - 57.

------. Diagnóstico del proceso de la Rehabilitación Minera en la empresa René Ramos Latour. La Habana: 2010.

----- Revisión D. Proyecto de Cierre Parcial Definitivo del área de procesamiento, Volumen IV Presas de Colas. 2013.

DEWIS, J. y F. FREITAS. Métodos Físicos y Químicos de Análisis de Suelo y Agua. Roma Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 1970.

DIRECCIÓN NACIONAL DE SUELOS Y FERTILIZANTES (DNSF). Manual de Interpretación de los Índices Físico – Químicos y Morfológicos de los Suelos Cubanos. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1984.

ENIA. Informe de la Investigación Ingeniero Geológica de la Presa de colas en Nicaro. Holguín: 2001.

GARCÍA, E.; et. al. Lixiviación ácida de residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal. Minería y Geología. 2013, vol. 29, no. 1. pp. 17-28.

GEIGEL, F. Restauración de la vegetación en terrenos explotados y abandonados por la minería. Agrotecnia de Cuba, 1989, (1): 155-162.

GEOCUBA. Proyecto Mejoramiento de las condiciones ambientales en la Presa de Colas de la Empresa Niquelífera René Ramos Latour. Holguín: 2005.

GUERRA, W. Una obra que apresa premios. La revista cubana de la construcción. [en línea]. 2014, [Consultado: 20140912]. Disponible en: <<http://www.unaicc.cu>>.

HERRERO, G. Nutrición de plantaciones de *Pinus caribaea*: respuesta a la fertilización y métodos de diagnóstico. Tesis Doctoral. La Habana, Instituto de Investigaciones Forestales e Instituto de Ecología y Sistemática., 2001.

HERRERO, G.; K. BATISTA y N. BRUZÓN. Reporte preliminar sobre el proyecto de rehabilitación de terrenos minados y presa de cola. 2003.

HERRERO, G.; et. al. Reforestación para la rehabilitación de terrenos degradados por la industria minera a cielo abierto en la región Nicaro – Mayarí. Agricultura Orgánica, 2009, 15(3): 19-21.p.

INDUSTRIA MINERO-METALÚRGICA. Guía ambiental para el manejo de relaves mineros. [en línea]. Perú Ministerio de Energía y Minas, s/a. [Consultado: 20140912]. Disponible en: <<http://www.minem.gob.pe>>.

MINERA ALUMBRERA. Revegetación del dique de colas. [en línea]. 2011. [Consultado: 20141007]. Disponible en: <<http://mineraAlumbrera.gob.ar>>.

MINERÍA CATAMARCA. Relaves o Colas. [en línea]. 2013. [Consultado: 20141023]. Disponible en: <<http://mineriakatamarca.gob.ar>>.

MONTES DE OCA, A. Principales fuentes contaminantes de las aguas superficiales del río Moa. Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, 2010, 10 (18): 1-6.

POLANCO, P. Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Universidad de Moa., 2012.

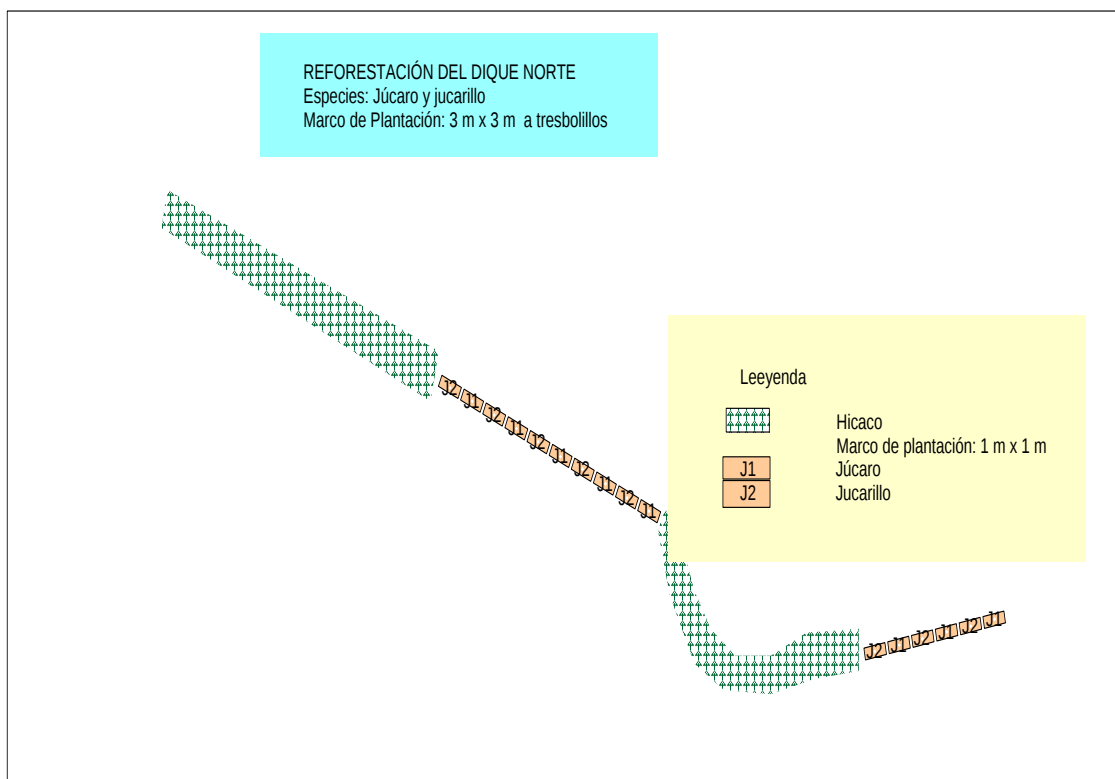
PUENTES, J. Minería a cielo abierto:¿Apocalipsis ambiental. [en línea]. 2010, [Consultado: 20120323]. Disponible en: <www.conflictosmineros.net>.

RENDÓN, J. Herramientas de gestión de transferencia tecnológica para la recuperación de áreas degradadas por la minería. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, 2011.

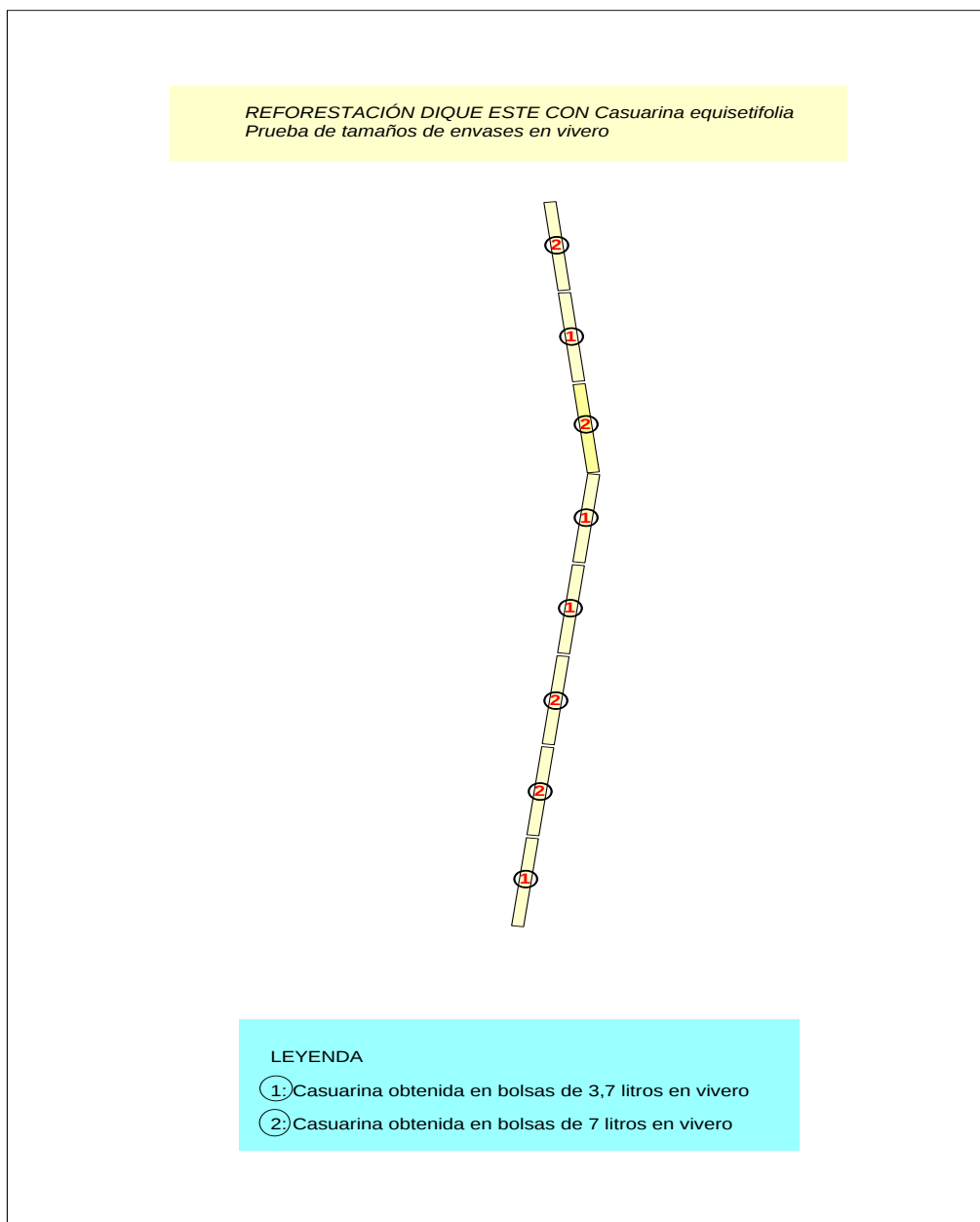
VERA, A. Introducción a los yacimientos de níquel cubanos. La Habana: Editorial ORBE. , 1979 211 p.

Relación de Anexos.

Anexo # 1 Ubicación y diseño del dique Norte con especies.



Anexo # 2 Ubicación y diseño del dique Este con especies.



Anexo # 3:

Lugar de Muestreo	Profundidad de Muestreo (m)	Componentes Químicos del agua (M eq/l)/(mg/l).															Solidos suspendidos mg/l	Sales solubles totales mg/l	Dureza total Meq/l	Características del agua
		ANIONES								CATIONES					CO ₂					
		PH	CO ₃ ⁼	HCO ₃	SO ₄ ⁼	Cr	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	OH ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Libre	Agresivo				
cala 8	11.67	7,5	N/C	2,391	44,500	388,850	2,381	0,715	N/C	25,640	64,100	312,500	21,200	0,399	0,525	N/C	658	0,399	89,740	Agua muy salada, muy dura, algo básica de composición clorada sódica. Muy corrosiva al hormigón, al acero, al plomo y al aluminio.
			N/C	146	2136	13789	148	33	N/C	513	779	7188	827	7	12	N/C				
Cala 19	4,7	8,1	N/C	15,304	37,240	45,968	0,392	0,050	N/C	0,513	13,012	75,00	6,375	3,592	0,150	N/C	2148	6586	13,525	Agua salada, muy dura algo básico, de composición clorada sulfática, sódico. Medianamente corrosiva al hormigón, muy corrosiva al aluminio y al plomo, se desconoce si es corrosiva al hierro
			N/C	934	1788	1630	24	3,311	N/C	10	158	1725	249	65	3	N/C				
Laguna cercana a cala 18.	0,00	7,5	N/C	5,069	0,230	5,555	0,018	0,001	N/C	1,603	0,513	6,250	0,663	1,996	0,275	N/C	368	762	2.116	Agua dulce, muy blanda, algo básica, de composición clorada-bicarbonatada, sódica. Muy corrosiva al aluminio y al plomo.
			N/C	309	11	197	1,0	0,05	N/C	32	6	144	26	36	6	N/C				
Laguna de la parte SUR del área.	0,00	8,6	N/C	7,126	7,900	17,776	0,357	0,026	N/C	0,962	2,885	9,563	1,000	24,046	N/C	N/C	102	2341	3,847	Agua salobre algo dura, básica, de composición clorada, amónica. Poco corrosiva al hormigón, muy corrosiva al aluminio y al plomo. Se desconoce si es corrosiva al hierro.
			N/C	435	379	630	22	1.193	N/C	19	35	220	39	6	N/C	N/C				
Mar (al oeste de la cala 19)	0,00	8,1	N/C	2,343	15,50	148,596	0,161	0,027	N/C	2,436	16,474	125,000	12,344	3,792	0,150	N/C	70	9845	18,910	Agua salada muy dura algo básica de composición clorada, sódica Medianamente corrosiva al hormigón y al plomo, muy corrosiva al aluminio y al hierro.
			N/C	143	744	5269	10	1,247	N/C	49	200	2875	481	68	3	N/C				
Canal de la parte NORTE del área.	0,00	9	7,556	N/C	17,000	5,777	N/C	N/C	2,248	0,256	1,603	2,450	0,520	90,487	N/C	N/C	3456	3019	1,859	Agua salada muy blanda, básica, de composición sulfática, amónica, muy corrosiva al hormigón, al aluminio y al hierro y medianamente corrosiva al plomo.
			227	N/C	816	205	N/C	N/C	38	5	19	56	20	1632	N/C	N/C				
Canal de la parte ESTE del área.	0,00	8,3	0,191	4,065	0,315	1,833	0,060	0,006	N/C	0,705	1,731	1,838	0,29	1,497	N/C	N/C	80	456	2,436	Agua dulce, muy blanda, algo básica, de composición bicarbonatada-clorada, sódica-magnésica. Muy corrosiva al aluminio y al plomo. Se desconoce si es corrosiva al hierro.
			6	248	15	65	4	0,267	N/C	14	21	45	11	27	N/C	N/C				

Procesos naturales que intervienen en la revegetación en la presa de colas de la Empresa "C.R.R.L en Nicaro".