



INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALÚRGICO DE MOA

DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

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

# *Trabajo de Diploma*

En opción al Título de  
**Ingeniero Geólogo**

Diagnóstico geólogo ambiental de la  
presa de colas de la Empresa Cmdte  
Ernesto Che Guevara para el cierre  
definitivo

**Autor: Jadier Góngora Blet**

**Tutora: Ms.C. Amparo Velázquez Velázquez.**

Moa, 2015  
“Año 57 de la Revolución”



**Declaración de autoría.**

Por este medio declaro que soy único autor de este trabajo y autorizo al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez y a las autoridades del municipio de Moa y de la provincia de Holguín para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los \_\_\_\_\_ días del mes de

\_\_\_\_\_ .

Jadier Góngora Blet

\_\_\_\_\_  
**Firma Autor**

Ms.C Amparo Velázquez Velázquez

\_\_\_\_\_  
**Firma Tutor**



Pensamiento.

*Lo importante de cada día es  
que hagamos algo que supere  
la obra del día anterior.*

*Ernesto Che Guebara.*

**Dedicatoria.**

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Eider y Magalis, por todo el esfuerzo que han realizado por mí en estos 5 años de estudio y por darme todo lo que podían cuando lo necesite.

A mi hermano por todo el apoyo que me ha brindado en toda mi etapa de estudiante.

A todos mis amigos del barrio, especialmente Alexey, Robin, Adriano.

Especialmente quiero dedicarle la realización de este trabajo a Jadier Góngora Blet, no creo que nadie disfrute tanto como él por los 5 años más duros de su vida que ha pasado y porque no, también va dedicada a aquellos que no pensaron que iba a llegar tan lejos porque esas personas fueron fuente de motivación para superarme cada día más.

**Agradecimientos.**

Primeramente antes que nada quisiera agradecer a la Revolución cubana por darme la posibilidad de graduarme como un profesional sin tener que hacer gastos de ningún tipo, solo por haber nacido en este maravilloso país.

Agradecer especialmente a mi tutora Amparo Velázquez y al profesor Reinier por el apoyo, la paciencia, y dedicación para poder lograr este resultado.

Quisiera agradecer a todos los profesores de la carrera de ingeniería geológica que de una forma u otra han influido en mi formación profesional con sus excelentes clases impartidas.

Ahora mi mayor agradecimiento va para todos mis compañeros de estudio, porque el destino nos situó juntos, y supieron cada uno de ellos, dar de sí lo mejor en el momento que los necesite.

**Resumen.**

El siguiente trabajo titulado “**Diagnóstico geólogo ambiental de la presa de colas de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara para el cierre definitivo**”, tuvo como objetivo la caracterización geólogo ambiental de la presa de colas. Esta caracterización se hizo necesaria debido a que la capacidad actual de la presa se encuentra limitada, por lo que la Empresa tiene previsto entre sus prioridades el cierre definitivo de la misma.

Para la realización de este trabajo se consultaron planos topográficos, se dividió la presa de residuos mineros metalúrgicos en siete secciones y una plataforma central, y se realizó un levantamiento geólogo ambiental por toda el área. Se tomaron evidencias fotográficas en cada una de las secciones, se describió el estado actual en que se encuentran los taludes presentes en cada una de las secciones, sus características, pendientes, etc.

Entre los procesos y fenómenos geoambientales que afectan los taludes de la presa de colas se encuentran la erosión hídrica, eólica y antrópica. A partir de los resultados arrojados por el levantamiento geólogo ambiental y las consultas que se realizaron a las normativas cubanas, se proponen un conjunto de medidas generales y específicas para encaminadas al mejoramiento del estado actual de la presa. Entre las medidas propuestas se encuentran: la protección de los taludes mediante la plantación de hierba, realizar la rehabilitación progresiva de los diques, y la remodelación y protección de los taludes para atenuar la acción de la erosión y favorecer la plantación de la cubierta vegetal.

**Palabras claves:** (geología ambiental; presa; colas)

**Abstract.**

This research paper is entitled "**Environmental and Geological diagnosis of the metallurgical tailings pond in the Company Ernesto Che Guevara for decommissioning**". The objective was to identify the environmental and geological characteristics of the tailings pond. This characterization was necessary because the pond's current capacity is limited; therefore, decommissioning of the pond has been considered among the priorities of this company.

A review of topographic survey maps was necessary to develop this work. The tailings pond was divided into seven sections, a central platform, and an environment and geological survey was conducted throughout the area. Photographic evidence was taken from each of the sections. The current status of the slopes in each of these sections was described as well as their characteristics, gradients, etc.

Water, wind and anthropic erosion are among the geo-environmental processes and phenomena affecting the slopes of the tailings pond. A number of general and specific actions are proposed to improve the current conditions of the pond based on the results obtained from the environment and geological survey and consultations of the regulations effective in Cuba. The following are included among the actions proposed: protection of slopes by planting grass, progressive rehabilitation of dykes, and slope remodeling and protection to mitigate the erosion and encourage planting of the groundcover.

**Key words:** (environmental geology; pond; tailings)

**Índice.**

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Marco teórico conceptual.....</b>	<b>5</b>
<b>Conceptos fundamentales.....</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 1. Características físico geográficas de la región de estudio. ....</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Generalidades.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Geomorfología.....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Condiciones climáticas.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Vegetación. ....</b>	<b>23</b>
<b>1.6 Características Geológicas del territorio. ....</b>	<b>24</b>
<b>1.7 Tectónica de la región de Moa. ....</b>	<b>31</b>
<b>1.8 Características hidrográficas e hidrogeológicas. ....</b>	<b>37</b>
<b>1.9 Procesos geodinámicos y antrópicos.....</b>	<b>37</b>
<b>1.10 Sismicidad. ....</b>	<b>38</b>
<b>Capítulo II. Metodología de la investigación.....</b>	<b>41</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>41</b>
<b>2.1. Etapas de la investigación.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2. Recopilación y revisión de la información existente. ....</b>	<b>43</b>
<b>2.3. Trabajo de campo.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4 Trabajo de gabinete. ....</b>	<b>50</b>
<b>Capítulo III. Interpretación de los resultados.....</b>	<b>53</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Caracterización geólogo- ambiental de la presa de colas actual.....</b>	<b>53</b>



<b>3.2. Impactos ambientales provocados por los tipos de erosión presentes en la presa de colas. ....</b>	<b>66</b>
<b>3.3 Sistema de medidas propuestas para el cierre definitivo de la presa de colas. ....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.1 Medidas generales. ....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.2 Medidas específicas. ....</b>	<b>69</b>
<b>Conclusiones. ....</b>	<b>72</b>
<b>Recomendaciones. ....</b>	<b>73</b>
<b>Bibliografía. ....</b>	<b>74</b>
<b>Anexos.</b>	

**Introducción.**

La Constitución de la República de Cuba sobre la protección del medio ambiente comienza a partir de 1940 y 1976, siendo modificada en Agosto de 1992 después de la Cumbre de Río con su artículo No. 27, la cual dispone que: “El estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país”. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras.

La Asamblea Nacional del Poder Popular acuerda en julio de 1997 establecer la Ley No. 81 del medio ambiente la cual establece:

- La actividad minera deberá causar la menor alteración posible, directa o indirecta, al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las aguas terrestres y marítimas, la capa vegetal, la flora y la fauna silvestre, el paisaje y el medio ambiente en general.
- Corresponde al Ministerio de Energía y Minas reglamentar y controlar la actividad minera y lo relacionado con las áreas mineras reservadas, sin perjuicio de la competencia que la legislación le confiere a otros órganos y organismos estatales.

Las personas naturales o jurídicas que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad así como las áreas y ecosistemas vinculadas a estas que puedan resultar dañadas de conformidad con lo dispuesto en La Ley de Minas y en la presente Ley de Medio Ambiente, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la protección del medio ambiente en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Ministerio de la Agricultura y el de la Industria Básica, actualmente Ministerio de Energía y Minas.

El artículo 92 plantea la obligación de todas las personas naturales y jurídicas en la protección y conservación de las aguas y de los ecosistemas acuáticos en condiciones que permitan atender de forma óptima a la diversidad de usos

requeridos para satisfacer las necesidades humanas y mantener una equilibrada interpelación con los demás recursos naturales asegurando un adecuado desarrollo del ciclo hidrológico y de los elementos que intervienen en él, prestando especial atención a los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y a la capacidad de recarga de los acuíferos.

También en esta Ley el artículo 160 se refiere a que todo inversionista está obligado a asegurar condiciones ambientales que no afecten o pongan en riesgo la salud o la vida de los trabajadores, así como desarrollar las actividades laborales en armonía con el medio ambiente, garantizando además los medios de protección adecuados. El inversionista queda obligado a reparar los daños o perjuicios provocados por el incumplimiento de las obligaciones anteriores.

### **La Ley 76 de Minas de 1995**

Artículo 85: El concesionario estará obligado a crear una reserva financiera en una cuantía suficiente para cubrir los gastos que se deriven de:

Las labores de restauración del área de la concesión y de las áreas devueltas. El plan de control de los indicadores ambientales. Los trabajos de mitigación de los impactos directos e indirectos ocasionados por la actividad minera.

En el capítulo XV que se refiere al cierre de minas y la paralización o suspensión de la actividad minera:

Artículo 96: El titular de una concesión de explotación, de procesamiento o ambas podrá cerrar temporalmente la mina y demás instalaciones, con la aprobación previa del Ministro de Energía de Minas, por las causas establecidas en el Artículo 62 de la Ley de Minas.

Artículo 98: El programa de cierre definitivo de una mina contendrá, además de lo establecido en el Artículo 66 de la Ley de Minas, la actualización topográfica, geológica y minera del yacimiento, incluyendo los recursos (minerales) geológicos actualizados y la presentación de todos los documentos, planos y materiales geológicos a la autoridad minera para su conservación.

Artículo 99: Una vez cumplido el programa de cierre establecido en la disposición jurídica que lo autorizó, se firmará un acta de cierre definitivo entre el concesionario y la autoridad minera donde se evaluará el cumplimiento del programa aprobado y se reflejarán las medidas de post-cierre que correspondan. La concesión quedará extinguida y el área se declarará franca y concesible.

Artículo 100: Los depósitos de colas, escombreras, subproductos, rechazos del proceso industrial minero y otros que queden en el terreno después del cierre de la mina serán inventariados y registrados por la autoridad minera.

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara ubicada en el municipio Moa, provincia Holguín, mediante la tecnología carbonato amoniacal para la extracción de níquel y cobalto, genera grandes volúmenes de residuos mineros (colas) al año. Estas son almacenadas en la llamada presa de colas para su disposición final o futuro aprovechamiento.

Por lo que la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara tiene previsto entre sus prioridades el cierre definitivo de la actual presa de colas debido a que su capacidad se encuentra limitada, además de las posibles afectaciones al medio ambiente que traería consigo la sobreexplotación de la misma por encima de su capacidad.

Con el objetivo de crear las bases para desarrollar la Ingeniería Básica para el cierre definitivo de la presa de colas se realiza la presente investigación:

**Diagnóstico geólogo ambiental de la presa de colas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara para el cierre definitivo.**

**Problema:** Insuficiente conocimiento de las características geólogo ambientales de la presa de colas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara.

**Objeto:** La presa de colas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara.

**Campo de acción:** Las características geólogo ambientales de la presa colas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara.

**Objetivo general:** Caracterizar desde el punto de vista geólogo ambiental la presa de colas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara.

**Objetivos específicos:**

1. Realizar un diagnóstico geólogo ambiental en el área de emplazamiento de la presa de colas.
2. Identificar y evaluar los impactos ambientales que generan las actividades actuales de la presa de colas.
3. Proponer medidas de mitigación y control de los impactos ambientales negativos encaminados al desarrollo del proyecto de cierre definitivo.

**Hipótesis:** Si se logra realizar un diagnóstico geólogo ambiental de la presa de colas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara previo al cierre definitivo es posible trazar una estrategia encaminada a controlar y mitigar las afectaciones ambientales existentes.

# Marco teórico conceptual

**Marco teórico conceptual.****Conceptos fundamentales.**

**Medio ambiente:** Sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

**Diversidad biológica:** Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y complejos ecológicos de los que forman parte. Comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

**Recursos marinos:** La zona costera y su zona de protección, bahías, estuarios y playas, la plataforma insular, los fondos marinos y los recursos naturales vivos y no vivos contenidos en las aguas marítimas, fondos y subsuelos marinos y las zonas emergidas.

**Recursos naturales:** Todos los componentes del medio ambiente, renovable o no renovable, que satisfacen necesidades económicas, sociales, espirituales, culturales y de la defensa nacional, garantizando el equilibrio de los ecosistemas y la continuidad de la vida en la tierra.

**Recursos paisajísticos:** Entornos geográficos, tanto superficiales como subterráneos o subacuáticos, de origen natural o antrópico, que ofrecen interés estético o constituyen ambientes característicos.

**Ecosistema:** Sistema complejo con una determinada extensión territorial, dentro del cual existen interacciones de los seres vivos entre sí y de estos con el medio físico o químico.

**Geología Ambiental:** La geología ambiental aplica los conocimientos geológicos a la investigación del ambiente y en los casos de contaminación, contribuye al diagnóstico y corrección de dichos problemas. La geología ambiental, por consiguiente, se ocupa del estudio de los riesgos geológicos naturales y antropogénicos.

Los riesgos geológicos naturales son de diverso origen: erupciones volcánicas, actividad sísmica, inundaciones, deslizamientos de tierra, avalanchas de barro, erosión, incendios provocados por rayos u otras causas naturales.

Los riesgos generados por las actividades humanas, o riesgos de origen antrópico, que entren dentro del campo de la geología ambiental, son los relacionados con la mayor o menor vulnerabilidad de los terrenos y de las napas de agua subterráneas susceptibles de contaminación. Esta contaminación puede estar causada por productos químicos (principalmente fertilizantes y plaguicidas, pero también por otros productos tóxicos); por aguas cloacales, efluentes industriales, actividad minera o manufacturera y, en general, por mal uso de tecnologías.

Incluye:

- La administración geológica e hidrológica de recursos como los combustibles fósiles, los minerales, el agua (tanto de la superficie como subterránea) y el uso de la tierra.
- Definir y suavizar los efectos de los peligros naturales en las personas.
- Control de los residuos domésticos e industriales y minimización o destrucción de los efectos de la contaminación.
- Organización de actividades de concienciación.

Esta rama de la geología persigue como objetivo analizar el impacto ambiental de los procesos geológicos, en especial los influidos por la actividad antropogénica, buscando las posibles correcciones tanto al impacto natural como antrópico.

**Impacto Ambiental:** Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción produce una acción favorable o desfavorable en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales.

**Evaluación de impacto ambiental:** Es el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra, o actividad causa sobre el medio ambiente. Tiene como objetivo la identificación,



predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos.

**Estudios de Impacto Ambiental (EslA):** Es el estudio técnico de carácter interdisciplinar que integrado al procedimiento de la (EIA), está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno.

**Indicador Ambiental:** Se define como indicador ambiental “una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones” [Berger, A.R. 1983]. Un desarrollo particular de los indicadores ambientales son los indicadores de integración sectorial, estos indicadores interrelacionan el sector minero metalúrgico y el entorno, desde la óptica de la toma de decisiones.

Los indicadores ambientales constituyen un instrumento fundamental en el desarrollo de las políticas medio ambientales y, nos permite conocer con más profundidad la situación, que en este sentido se ejerce sobre el terreno. En los últimos años han adquirido relevancia debido a que los mismos permiten la toma de decisiones y la mitigación de los impactos ambientales.

### **El impacto ambiental: evaluación.**

A la vista de las consideraciones anteriores, el impacto ambiental de una actividad minera es la diferencia entre la situación del medio ambiente antes de llevar a cabo la actividad, y durante o tras la actividad minera. La evaluación de este impacto es la cuantificación de estas diferencias, mediante la realización de un estudio multidisciplinar que pretenderá identificar, predecir y prevenir las consecuencias o efectos sobre el medio ambiente de la actividad minera.

Los objetivos del estudio de impacto ambiental serían los siguientes:

1. Evitar posible errores y deterioros ambientales originados durante el proceso extractivo, cuya corrección posterior podría tener un alto costo, tanto desde el punto de vista privado (costes transferibles a las empresas) como desde el punto de vista social (costes transferibles a la sociedad).
2. Disponer de datos que permitan introducir en las decisiones empresariales los efectos de los proyectos de desarrollo en el medio natural y social, siempre difíciles de cuantificar y evaluar.
3. Presentar una información integrada sobre los impactos de nuestra actividad sobre el medio ambiente.
4. Integrar a los diversos organismos públicos y privados que tienen algún grado de responsabilidad sobre las decisiones que afectan al medio ambiente.

En definitiva, el principal objetivo de este tipo de estudios es el de indicar los elementos y características medioambientales susceptibles de ser afectados por la explotación minera, sobre los que se establecerán las recomendaciones de acciones correctoras, temporales o permanentes, y la definición de los criterios generales y específicos de restauración y recuperación de terrenos o de otros usos alternativos de rehabilitación.

**Gestión ambiental:** conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana.

Una **presa de colas (PDC)** no es más que una estructura u obra de ingeniería civil construida sobre la superficie del terreno. Generalmente consiste en un dique exterior de tierra u otro material que delimita una superficie determinada. En el área delimitada por el dique (vaso de presa) se almacenan los residuos minero-metalúrgicos. (Guardado y Columbié, 2013)

En la industria minero metalúrgica del níquel el mineral que se extrae entra al proceso industrial y sale como residuo sólido el que es depositado en las presas contiguas a la industria. Dentro de estos sólidos o suelos de relaves podemos diferenciar:(Guardado y Columbié, 2013).

**Las colas:** Son sedimentos friables, sueltos de granulometría pequeña y fina, fuertemente limosas, saturadas por las aguas, con alta capacidad de fluidez (ante el agua). Precisamente esta última propiedad puede tener lugar de diferentes formas, desde muy lenta, lenta, a rápida hasta llegar a un movimiento catastrófico. La movilidad de las colas indica que existe una inestabilidad en el medio, así como una pérdida de resistencia y la deformabilidad de este suelo. (Barrera S. & Lara J. (1998), Barrera S. & Riveros C. (2000).

**Los depósitos de residuos minero metalúrgicos pueden ser:**

**Cola fluida**



**Cola secas**



**Cola en pasta**



**Figura 1: Fotografía de cómo pueden ser los residuos mineros.**

**Los relaves mineros:** Son materiales de desecho provenientes de la planta de metalúrgica, con una distribución granulométrica que depende del tipo de proceso de extracción y de las características mineralógicas de la corteza laterítica del macizo rocoso explotado. El tamaño típico de las partículas de relaves minero corresponde al de las arenas de tamaño medio a partículas del tamaño de los limos. Los relaves son usualmente transportados desde la planta de proceso al área de deposición a través de tuberías en forma de pulpa con contenido de sólidos, concentración que varía de 35 a 56%.

En la industria minero metalúrgica del níquel el mineral que se extrae entra al proceso industrial y sale como residuo sólido el que es depositado en las presas contiguas a la industria. Dentro de estos sólidos o suelos de relaves podemos diferenciar:(Guardado y Columbié, 2013).

**Mineral de rechazo:** Es el que entra al proceso pero al no cumplir los compromisos técnicos sale del proceso y es depositado en forma de pulpa en las presas de residuos anexas.

**Desechos peligrosos:** Aquellos provenientes de cualquier actividad y en cualquier estado físico que, por la magnitud o modalidad de sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, explosivas, inflamables, biológicamente perniciosas, infecciosas, irritantes o cualquier otra, representen un peligro para la salud humana y el medio ambiente.

**Los impactos y riesgos ambientales negativos que generan una presa de colas.**

Todo depósito de relaves sin un adecuado tratamiento de remediación genera impactos negativos en el área, pudiendo afectar el ecosistema existente en forma perjudicial e irreversible. Es por eso que identificando los impactos ambientales y sociales se puede tomar decisiones puntuales para mitigar y contrarrestar estos impactos negativos.

Los principales impactos identificados son los siguientes:

- Paisajístico

- Erosión de la superficie del relave
- Contaminación por sulfuros
- Posibles deslizamientos
- Contaminación de las aguas
- Contaminación por infiltración a las aguas subterráneas
- Contaminación del aire por presencia de polvo

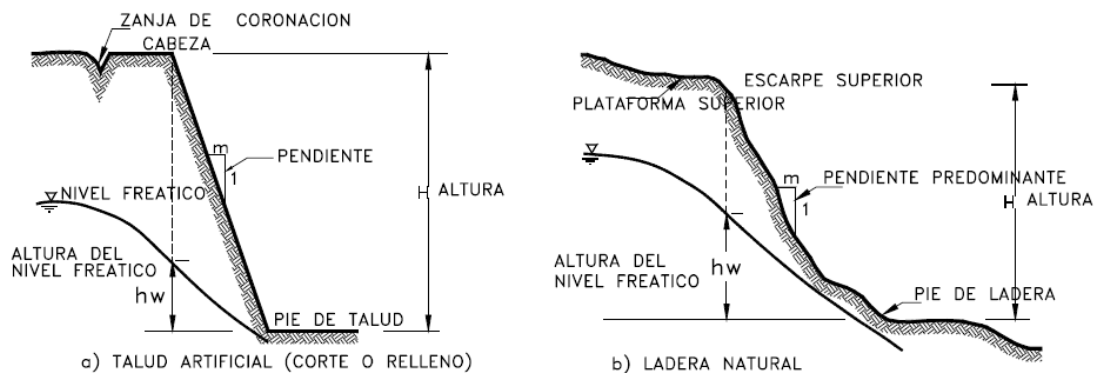
### **El riesgo ambiental por rotura de una presa de colas.**

El vertido de residuos mineros al medio ambiente por rotura de una presa de colas tiene frecuentemente consecuencias ambientales catastróficas. Esto se debe fundamentalmente a que la fracción sólida posee una elevada superficie específica (superficie por unidad de peso). Esta propiedad determina en primer lugar que la mezcla sólidos-agua (lodo) se comporte como un fluido viscoso, permitiendo que el volumen vertido se esparza sobre grandes superficies. Este lodo tiene además gran capacidad para cubrir drenajes, tapar tuberías, etc., debido al pequeño tamaño de las partículas, generalmente menor de 0.5 mm. Una vez ocurrido el vertido, la fina granulometría facilita la erosión de las colas por el escurrimiento superficial debido a las precipitaciones atmosféricas, permitiendo que las partículas vuelvan a ponerse en suspensión en el agua.

La rotura de una presa provoca que los residuos se extiendan sobre una gran superficie, con lo que la masa de sulfuros puesta en contacto con el oxígeno es varias veces mayor que cuando el residuo estaba confinado en el depósito. El ácido producido, al disminuir el PH del agua, y encontrarse en un medio con condiciones oxidantes (en contacto con el aire), tiene gran capacidad para disolver los metales. Por lo tanto, cabe considerar la posibilidad de que los metales presentes en los residuos vertidos con la rotura de la presa, se movilicen y terminen incorporándose al suelo, corrientes de aguas superficiales o aguas subterráneas, contaminándolos de tal forma que posiblemente su recuperación resulta económicamente inviable. (Oldecop.L y Rodríguez. R)

## Talud o ladera.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente.



**Figura 2. Nomenclatura de talud y ladera.**

## Deslizamientos.

Sharpe en 1938 definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas. Según Lomtadze V.D., (1977), es una masa de roca que se desliza cuesta abajo por la ladera o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc. Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional de tierras o rocas hacia el exterior de la ladera y descendente con la ayuda del agua como agente de transporte. A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

## Efectos Ambientales de Fallas de Taludes.

Los efectos ambientales de una falla de talud constan tanto de efectos directos como indirectos. Los efectos directos comprenden la pérdida inmediata de vida humana, y la destrucción de toda estructura, ya sea vida animal o vegetal por el paso de los relaves y/o desechos liberados.

Los efectos indirectos incluyen daños aparentemente menores al medio ambiente. La falla de un depósito de desecho adyacente a una corriente o río puede represar la corriente de agua, causando avenida aguas arriba. La eventual ruptura de la presa temporal de desecho puede ocasionar una avenida significativa y erosión aguas abajo. La falla de un depósito de desecho en un cuerpo de agua puede causar también la destrucción de la vida acuática. En el corto plazo, esto se debe principalmente a los sedimentos incrementados en el agua desde el desecho de mina. Por otro lado, en el largo plazo, la vida acuática puede ser destruida permanentemente por la contaminación del agua por material de desecho que genera ácido (drenaje ácido de roca) o por metales pesados contenidos en el desecho.

Asimismo, la falla de taludes en el terreno puede ocasionar impacto a largo plazo en el crecimiento de vegetación y afectar desfavorablemente la calidad de agua subterránea en el área de la falla. Los efectos indirectos también incluyen los impactos socioeconómicos tales como la pérdida de productividad de la mina debido a una paralización causada por una falla, los costos de reparación de la falla y la pérdida de la tierra afectada para cualquier uso productivo.

### **Sismicidad.**

Es de suma importancia establecer el nivel de actividad sísmica en el lugar del proyecto. Debe considerarse, en la selección de la ubicación, el efecto de las cargas sísmicas en la estabilidad de un dique y el potencial de licuefacción de las colas. En zonas de gran actividad sísmica es preferible construir presas relativamente bajas. El método de construcción aguas abajo es preferible a menos que quede demostrado que las colas detrás del dique serán bien drenadas y con un potencial de licuefacción bajo.

### **Geología e Hidrogeología.**

Es esencial la caracterización de la geología y la hidrogeología por tres razones principales. Primero, se debe establecer las condiciones de fundación para conseguir un dique estable. Segundo, se debe evaluar el potencial de



contaminación del agua subterránea debido a la infiltración. Tercero, se debe evaluar la disponibilidad de material adecuado para la construcción.

Condiciones desfavorables en la fundación pueden excluir el lugar como una potencial ubicación para una PDC. Condiciones de fundaciones suaves o blandas pueden limitar la altura de la presa debido al desarrollo de excesiva presión de poro y la subsecuente inestabilidad de la estructura. Suelos sueltos y saturados generalmente tienen un alto potencial de licuefacción y deben ser evitados. La presencia de estratos de espesor variable y compresible o discontinuo debajo del dique puede conducir a asentamientos diferenciales y comprometer la integridad del dique.

La cantidad de infiltración en una PDC por lo general está controlada por la permeabilidad del suelo natural o roca subyacente. Niveles de agua subterránea altos permitirán que la infiltración ingrese rápidamente al sistema. La migración de contaminantes dependerá de la profundidad, pendiente, y dirección del flujo de agua subterránea.

De requerirse un revestimiento de la cuenca este podría ser un serio inconveniente que conduciría al abandono de la ubicación identificada.

La geología del lugar también gobierna la disponibilidad de materiales de construcción para una PDC. Se requerirán materiales adecuados para la construcción del dique de arranque, arcilla para el alma de la presa, arenas y gravas para los filtros, y zonas de drenaje. La disponibilidad de materiales de préstamo, y de construcción adecuados en las cercanías es importante ya que en muy pocos casos se justifica económicamente la importación de materiales de préstamo. Se debe establecer también si existen conductos de flujo preferenciales, tales como fallas, depósitos de dolomita que pueden ser cavernosos, o la presencia de antiguas excavaciones subterráneas.

Las características del sitio geológico afectan la estabilidad física de las presas y la movilidad de los contaminantes potenciales hacia y dentro del agua subterránea. Si no son demasiado severas, algunas condiciones geológicas adversas pueden ser mitigadas por aspectos (a veces costosos) de diseño de ingeniería, pero otras se



evitan mejor cambiando a sitios alternativos. Como mínimo, se necesita un análisis detallado de pares estereoscópicos con fotografía aérea, mediante reconocimiento del terreno, y se requiere, por lo menos, algunas calicatas para proporcionar información relativa al sitio. Frecuentemente se evalúa profundidades de agua subterránea, direcciones de flujo, gradientes, y usos existentes como parte de los estudios ambientales de referencia necesarios, pero si no, también se puede requerir perforaciones para estudios del sitio.

Se necesita que las condiciones de suelo y roca que pueden afectar desfavorablemente la estabilidad física sean identificadas junto con la extensión y profundidad de cualquiera de dichos depósitos. Esto incluye plano de estratificaciones mal y/o débilmente orientado; depósitos de arena, limo o grava propensos a la licuefacción que están saturados, o que podrían volverse así bajo la influencia de la percolación de la represa.

### **Efectos Topográficos en depósitos de relaves.**

La topografía y la altitud afectan en gran medida el tipo y la cantidad de precipitación que se produce en un área. Muchas de los depósitos de relaves están ubicados en áreas montañosas que tienen un relieve topográfico extremo. Estas diferencias en el terreno afectan el flujo de aire, las nubosidades, temperatura, precipitación y escorrentía.

Las regiones montañosas bloquean el flujo de aire y esto ocasiona un levantamiento forzado. Este levantamiento ocasiona inestabilidades convectivas que producen o incrementan las precipitaciones. Conforme el aire se mueve hacia arriba de la vertiente del lado del viento, se enfría, expande y ocurre la condensación. Cuando el aire ascendente se vuelve saturado, las gotas de agua forman nubes. Si el aire que se mueve hacia arriba a lo largo de una pendiente está muy cargado de humedad, la cantidad de agua precipitable aumenta y de este modo también se incrementa la precipitación resultante.

**Planificación del cierre de presa de colas.**

Para que el cierre de una presa de colas contribuya positivamente al desarrollo sustentable se deben considerar los objetivos e impactos del cierre desde el comienzo del proyecto. El plan de cierre define una visión del resultado final del proceso y establece objetivos concretos para implementar dicha visión. Esto forma un marco general para guiar todas las acciones y decisiones que se tomarán durante la vida de la presa de colas.

Crucial para lograr el cierre de una presa de relaves mineros es asegurar que todos los beneficios de este proyecto, incluyendo ganancias y conocimientos especializados, vayan a ser utilizados para desarrollar la región de un modo que perdure una vez cerrada la presa. Un plan de cierre que incluya tanto rehabilitación física como estabilidad socioeconómica debería ser parte fundamental del ciclo de vida del proyecto y debería ser diseñado para asegurar que:

- No se comprometa la salud ni la seguridad de las personas.
- Los recursos ambientales no estén expuestos a deterioro físico ni químico.
- El uso posterior del área sea beneficioso y sustentable en el largo plazo.
- Garantizar el drenaje de la presa por medio de sus aliviaderos, zanjas, canales, etc.
- Desmantelamiento, salvamento y disposición de la infraestructura utilizada.
- Cualquier impacto socioeconómico sea reducido al mínimo.
- Todos los beneficios socioeconómicos sean maximizados.
- Protección para la erosión.
- Facilidad en el establecimiento de un drenaje permanente.
- Protección contra el derramamiento.
- Métodos para controlar el drenaje ácido y la disolución de contaminantes.
- Monitoreo pre-operacional.
- Monitoreo operacional.
- Monitoreo post-operacional.
- Costos de cierre de operaciones.
- Cronograma de ejecución del cierre.

El concepto moderno del cierre se basa en las siguientes consideraciones claves:

- La prevención de la contaminación es más barata que evitar los problemas o que intentar arreglarlos después. Las empresas tienen la obligación de entregar el área en una condición especificada al final del ciclo de la mina, por lo que creará sólidos incentivos para prevenir la contaminación durante el ciclo de la mina.
- Una planificación de cierre eficaz requiere capacidades y habilidades considerables por parte del estado y de las empresas, y esto en ocasiones no está disponible.

# Capítulo 1

## **Capítulo 1. Características físico geográficas de la región de estudio.**

### **1.1 Generalidades.**

El municipio de Moa tiene una extensión territorial de 732.6 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado en la provincia Holguín, al noroeste de Cuba Oriental. Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; por el Sur limita con el municipio guantanamero de Yateras; por el Oeste con los municipios de Frank País y Sagua de Tánamo y por el Norte con el estrecho de Bahamas en el Océano Atlántico. Próximos a sus costas se encuentran los cayos Moa Chico y Moa Grande situados frente a la Ciudad de Moa y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey.

### **1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.**

El área objeto de la investigación se localiza al norte de la Planta y lo constituyen 8,92 km de diques con relieve irregular. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con la carretera Moa- Baracoa, al este con el estuario del río Moa y al oeste con las instalaciones del Puerto de Moa.

Las lagunas ocupan una extensión aproximada de 250 ha, la mayor de ellas se ubica al oeste y contiene colas sólidas; en la parte este una laguna más pequeña se utiliza actualmente como depósito de agua.

### **Coordenadas de ubicación del área de estudio.**

Y = 222 400

Y= 224 000

X = 701 000

X = 703 400



Figura 3: Esquema de ubicación de la presa de colas.

### 1.3 Geomorfología.

Desde el punto de vista geomorfológico es característico de la región el sistema montañoso de las Cuchillas de Moa que desciende escalonadamente de sur a norte. Las pendientes en general aumentan hacia los cursos de los ríos donde pueden ser abruptas y llegan a formar cañones y valles profundos en forma de V.

En el territorio se formaron cortezas de intemperismo ferroniquelíferas que pueden llegar a alcanzar una potencia considerable (hasta 50.00 m), las cuales en sentido general se desarrollan en las partes inferiores de las laderas.

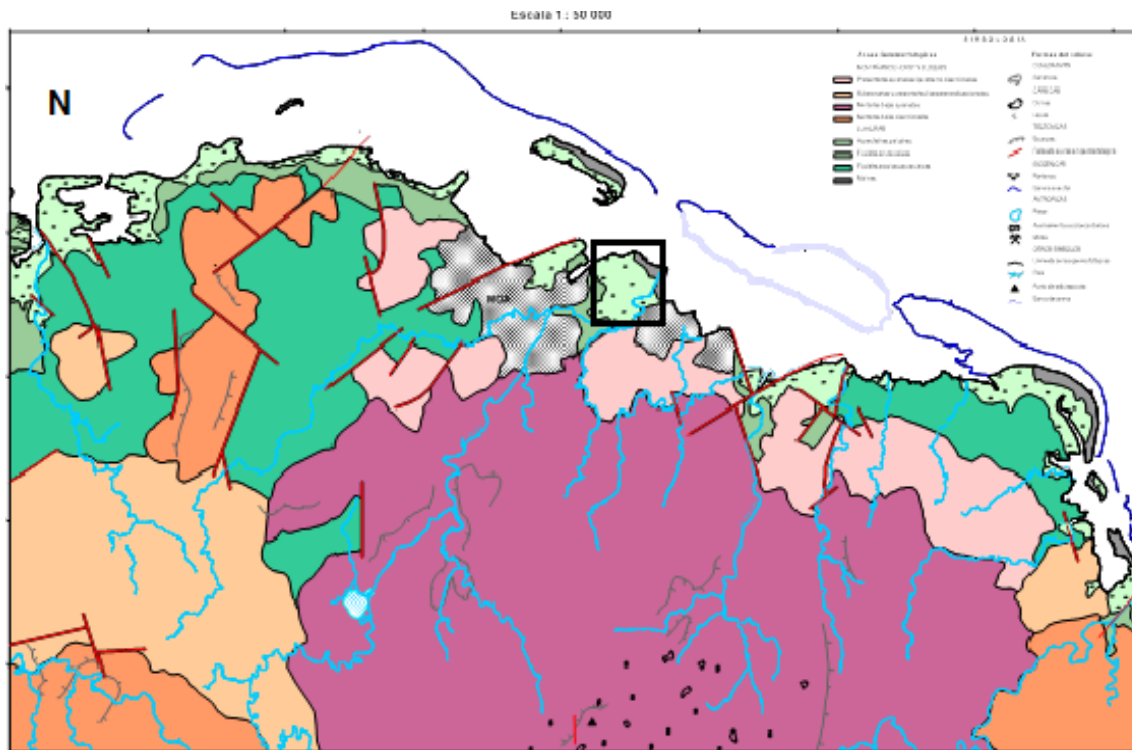
En la franja costera se extienden estrechas llanuras del tipo: abrasivo acumulativo, acumulativo fluvial y palustre, con dos niveles de terrazas diferenciales.

La costa es baja y festoneada de mangles.

En la desembocadura al mar de los Ríos Quesigua, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje y Moa se desarrollan extensos planos aluviales sobre depósitos deltaicos formados por el significativo acarreo de sedimentos.

El relieve del fondo marino es una continuación de la llanura abrasivo acumulativa, poco profunda, correspondiente a la plataforma insular, con pendientes suaves, limitada al norte por una barrera coralina que protege la zona litoral del efecto del oleaje.

El área de estudio se caracteriza por tener un relieve escarpado donde el 6 % de la superficie es de llanuras aluviales fundamentalmente y el 94 % montañas. La presa de colas actual se desarrolla en el valle aluvial del río Moa. Al Sur se desarrolla un relieve montañoso con macizos intemperizados y erosionados que está diseccionado por los causes del río Moa y Cabaña, conformando la red de drenaje principal que tributa hacia el área de estudio, desde los inicios de la construcción de la misma el relieve del área comienza a ser alterado en cada fase de construcción.



**Figura 4: Versión digital del mapa geomorfológico. Escala original 1:50000 (Modificado de Rodríguez A.1998).**

#### **1.4 Condiciones climáticas.**

El Municipio de Moa, situado al NE de la provincia de Holguín, se identifica, según la clasificación de Köppen como tropical húmedo con lluvia todo el año (Af), a diferencia de la mayor parte del resto del país, que ha sido clasificado como tropical con verano muy húmedo (Aw) (Díaz, 1989). Este rasgo distintivo del territorio, está relacionado con la ocurrencia de las mayores precipitaciones durante el período invernal, con valores máximos entre octubre y febrero, comportamiento diferente al de la mayor parte del país y el cual está condicionado fundamentalmente por la orografía presente.

##### **Temperatura del aire.**

El régimen de temperaturas del aire es el típico de zonas costeras de la región tropical, con un valor medio anual superior a 26°C y temperaturas máximas y mínima absolutas anuales de 36 y 12 °C respectivamente. Las mayores diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas horarias promedio en el día se producen para el mes de marzo, seguido de octubre.

##### **Precipitaciones.**

El régimen de precipitaciones en Moa, posee rasgos diferenciales respecto al contexto del país, pues en su ritmo anual se observa como tendencia la ocurrencia de láminas máximas entre los meses de octubre y enero es decir, hacia finales del período lluvioso (mayo - octubre) y comienzos del menos lluvioso (noviembre - abril), de forma que resulta más regular.

Este comportamiento es modelado fundamentalmente por las características del relieve montañoso, que unido a la influencia de los vientos alisios cargados de humedad, predominantes en la zona, provocan la frecuente formación de lluvias por convección orográfica, las cuales descargan en el vertiente norte del macizo correspondiente al área de estudio, que constituye la región más lluviosa de Cuba. Existe además un máximo secundario de precipitaciones en mayo y dos mínimos relativos, el principal de febrero a abril y el secundario de junio a septiembre.

La precipitación media anual en la región de Moa, evaluada para un período de 41 años (de 1931 a 1972) oscila entre 1 400 – 2 000 mm en la costa y de 2 000 a 3 800



mm en la zona montañosa, resultando noviembre el mes de mayor cantidad de días con lluvia. La distribución anual de la lluvia es muy uniforme, con coeficientes de variación de 0.26 y 0.20 para los periodos menos húmedo y húmedo respectivamente, indicando la poca variabilidad estacional de éste parámetro, que caracteriza a la zona.

El gradiente de precipitaciones con la altura para la vertiente N del macizo Sagua - Baracoa, es el mayor del país. Este supera los 173 mm / 100 m para alturas de hasta 280 m y llega a 90 mm / 100 m para alturas hasta 500 m.

De mucho interés resulta el comportamiento de la lámina de lluvia máxima diaria anual (1% de probabilidad), con valores que superan los 350 mm. Lluvias de tal magnitud se asocian básicamente con organismos depresionarios tropicales cuya temporada de ocurrencia abarca desde junio a noviembre, siendo octubre el mes más peligroso.

### **Humedad Relativa.**

En Moa la humedad relativa es alta, tanto a las 7.00 (90 - 95%) como a las 13.00 horas (75 - 80%). Son interesantes los intervalos en los cuales la humedad relativa disminuye por debajo del 75 % entre las 10.00 y las 17.00 horas para los meses de enero a abril además para octubre y noviembre, permaneciendo por encima del 75 % en esas horas de mayo a septiembre y en diciembre. Los valores máximos de la humedad relativa, alcanzados habitualmente durante la madrugada, se comportan por debajo del 85 % para los meses de septiembre, octubre y diciembre. A marzo le corresponden los menores valores absolutos de la humedad relativa horaria promedio mensual y a octubre los máximos absolutos.

### **Insolación.**

La insolación acumulada anual es de 2900 horas luz para las zonas costeras, mientras en las montañas alcanza un valor de 2500 horas luz. Para territorios como el de Moa se ha determinado una insolación media diaria anual de 8.5 h/d con un valor medio para el mes de diciembre de 7.5 h/d.

**Radiación Solar.**

En las condiciones climáticas de Cuba influye notablemente la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie. El régimen de radiación en el país presenta variaciones espaciales relacionada con factores orográficos, de manera que mientras en zonas costeras aparecen promedios diarios anuales superiores a 16.6 MJ/m<sup>2</sup>, en las alturas los registros son inferiores a 15.6 MJ / m<sup>2</sup>.

**Presión Atmosférica.**

El campo bórico en la zona es estable a través del año, con valores típicos de 1017.0 y 1016.5 en enero y julio respectivamente describiendo las condiciones correspondientes a invierno y verano, las cuales resultan muy similares a las determinadas para otras zonas costeras del archipiélago (Díaz, 1994).

**1.5 Vegetación.**

El municipio forma parte del sistema montañoso Moa – Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68% de especies autóctonas. El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998. La vegetación presente en el área es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria, pino cubensis (pino de Moa) y plantas latifolias, muchas de ellas endémicas de esta región, formando bosques típicos sobre las laderas.

En el área, el único tipo de vegetación natural que se conservaba, junto con el manglar es el bosque de pinos con *Pinus Cubensis* antropizado, pero está fuertemente impactado por la actividad de derrame de colas, formando parches que están altamente fragmentados. Esta vegetación se clasificó en dos variantes, que corresponden a los dos extremos del estado de modificación de este ecosistema en el área. La variante natural de este tipo de vegetación está conformada por bosques tropicales aciculifolios y perennifolios desarrollados sobre un suelo ferrítico púrpura típico sobre rocas del complejo ofiolítico. Presenta un estrato arbóreo donde domina la especie *Pinus cubensis* y también abundan elementos de bosque pluvial.

## **1.6 Características Geológicas del territorio.**

Geológicamente la región se caracteriza por su gran complejidad encontrándose de forma frecuente la superposición de eventos de edades y estilos diferentes que directa e indirectamente interfieren en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferroniquelíferos, en el relieve y en la ocurrencia de fenómenos naturales de carácter geodinámico que afectan la actividad socioeconómica y alteran el medio ambiente.

En la región predominan las rocas pertenecientes a las unidades oceánicas caracterizadas por la presencia de las secuencias ofiolíticas, con los niveles efusivos sedimentarios, el neoautóctono y los depósitos cuaternarios.

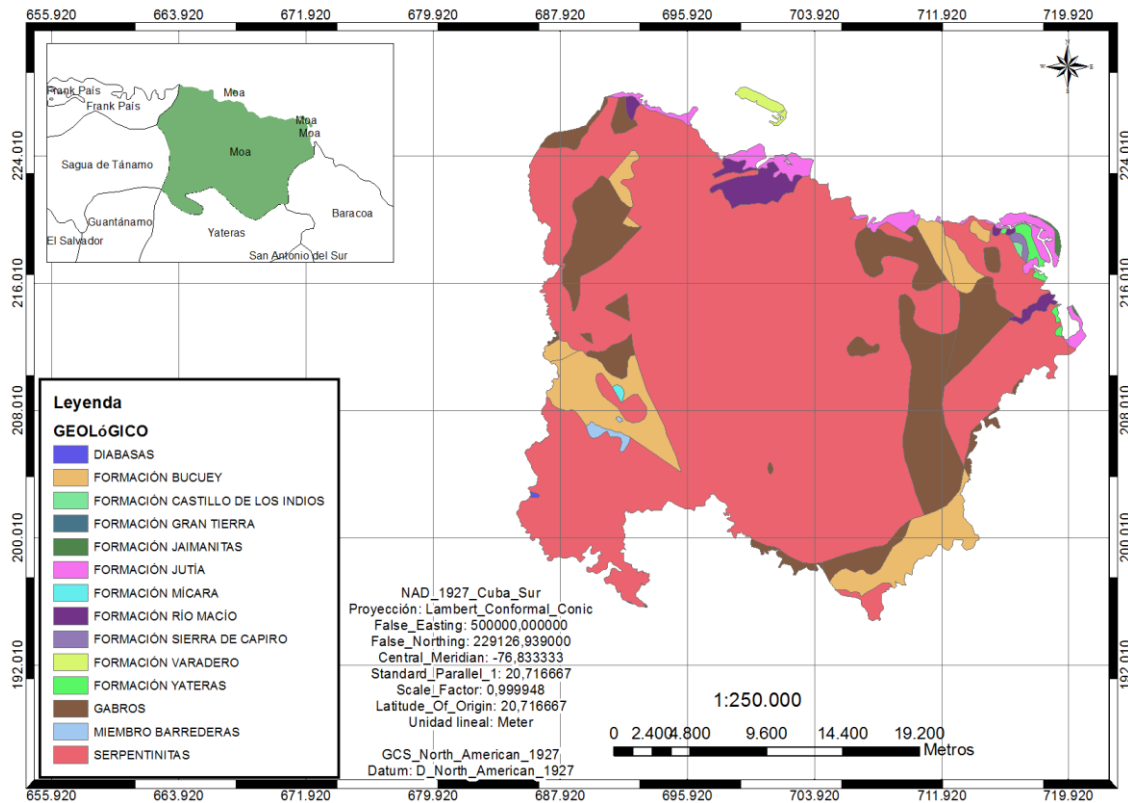
Las rocas típicas del complejo ofiolítico están representadas en la región de estudio como parte del macizo Sagua – Moa – Baracoa por las peridotitas (tectonitas) que presentan un gran desarrollo caracterizándose por un predominio de las harzburguitas, y los gabros los cuales forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico y el contacto entre ellos es mayormente tectónico.

El complejo vulcano – sedimentario está compuesto por basaltos amigdaloides y porfiríticos con intercalaciones de hialoclastitas, tobas y calizas.

El neoautóctono está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado, predominando en ellas las calizas (masivas, biogénicas, organodetríticas y arcillosas), margas, calcarenitas y areniscas.

Sobre estas formaciones antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios de génesis continental y pequeños espesores que constituyen una cobertura prácticamente continua, los mismos están constituidos por calizas con gran contenido de fauna (moluscos contemporáneos), aleurolitas, arenas margosas y arcillas.

El siguiente esquema geológico describe según la información del área de estudio las formaciones presentes en la región a escala original 1:250 000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001.



**Figura 5. Esquema geológico del Municipio Moa. Modificado de IGP 2001.**

**Escala 1: 250 000.**

En la región de estudio se distribuyen los sedimentos de la Formación Punta Gorda constituida por depósitos palustres y la Formación Río Macío representada por depósitos en valles aluviales de composición y granulometría heterogénea. Subyaciendo a estas formaciones geológicas se encuentra el complejo de ofiolitas, que se extienden como un cinturón que aflora en gran parte del norte de la provincia Holguín. En el área las ofiolitas están representadas por serpentinitas del tipo harzburgitas y peridotitas serpentinizadas en diferente grado.

**Río Macío (Holoceno):**

Está integrada por los materiales aluviales de las terrazas de los ríos Moa, Cabaña, y Cayo Guam (CGCO, 1980). La estratigrafía es bastante compleja, encontrándose hasta 8 capas donde es muy difícil poder definir la continuidad de las diferentes capas. En la zona de estudio, terrazas del río Moa, el área es de unos 10 Km<sup>2</sup> de extensión y su espesor de 25-35 m, está formado por los sedimentos aluviales

depositados por el río Moa y el Cabañas. La granulometría está compuesta por gravas, arenas, limos y arcillas (INRH, 1986). Se encuentran pellets de hierro de diferentes tamaños y fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas harzburgitas).

La mineralogía se caracteriza por la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita, y de aluminio principalmente gibsita. Además hay pequeñas cantidades de montmorillonita que no sobrepasan el 1%. El contenido de materia orgánica en la parte superior del corte (primeros 2 m) puede llegar al 1% del peso total (INRH, 1986) (Rodríguez Pacheco 2002).

### **Formación Punta Gorda (Mioceno):**

Está constituida por suelo lateríticos redepositados y pequeñas capas de material terrígeno carbonatado de granulometría variada, presentando lentes de material arenoso y capas de material limo-arcilloso. En ella es posible diferenciar una capa de margas masivas de unos 40 cm de espesor. Están presentes diferentes capas de material areno-arcilloso y pellets de hierro de diferentes tamaños (entre 1-15 mm).

En los minerales predominan los óxidos e hidróxidos de hierro (goethita, espinelas de cromo, hematitas), carbonatos, así como gibsita y montmorillonita. En esta formación se ha reportado la presencia de pirita (Formell y Oro, 1980). (Rodríguez Pacheco 2002).

### **Ofiolitas:**

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba a lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajalbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión superior a los 6500 km<sup>2</sup>. Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectónicas; b) una zona de harzburgitas que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasas y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y

pegmatoides gabróicos, así como cuerpos de cromititas) c) una zona de gabros, y d) el complejo vulcano-sedimentario. (Iturralde, 1998).

### **1.6.1 Características geológicas del área de estudio.**

De acuerdo a los informes ingenieros geológicos, el área investigada presenta un corte poco complejo que en orden descendente está constituido litológicamente (capas): relleno (formado por laterita y colas), cieno, arcilla muy plástica, sedimentos marinos, arcilla plástica, eluvio de serpentinita y serpentinita muy alterada.

#### **Relleno de laterita.**

El relleno de laterita sobreviene dentro de los diques y puede describirse como rojo oscuro a marrón rojizo, suelo laterítico húmedo a mojado derivado de la roca dura extremadamente alterada. Está compuesto generalmente de cieno arcilloso inorgánico a cieno arenoso con algunas gravas y tiene plasticidad mediana. La laterita, la cual se trajo de la cantera de préstamo del área de minería de ECG, se situó en los diques.

#### **Colas.**

Las colas pueden describirse como de húmedas a mojadas, oscuras, de cieno inorgánico a arena fina que exhiben baja plasticidad. La consistencia de las colas varía de suelta a muy suelta.

#### **Aluvión fino.**

Los depósitos de aluvión fino incluyen cieno, arena de granulometría fina y alguna arcilla típica de fluido plano o sedimentos del delta del río. Este material probablemente se depositó del río Moa y generalmente tiene un alto contenido de materia orgánica más cercana a la superficie. El material se describe mejor como de negro a verde a verde rojizo, cieno arcilloso arenoso inorgánico mojado que exhibe una plasticidad de mediana a alta. Ocurren algunas capas de arenas más limpias en algunas áreas en formas de lentes. El estrato se encuentra generalmente en un estado blando con capas firmes en profundidad. El aluvión fino se considera que sea altamente susceptible a la licuefacción.

**Aluvión mediano.**

Subyacente al aluvión fino, se encuentra generalmente un depósito de granulometría mediana de aluvión, sin embargo se mezcla también con el aluvión fino alrededor del sitio. El estrato se depositó probablemente por flujos moderadamente veloces de los canales que pasan del río Moa. El material en este estrato se describe mejor de un marrón a un gris oscuro verdoso, cienoso, arena mojada con huellas de algunas arcillas y grava variante y contenido de adoquines.

**Aluvión grueso.**

El material en este estrato se describe mejor como gris, arenoso, grava mojada con adoquines y algunas rocas. Es típico del material depositado por los flujos de mayor velocidad, probablemente de los canales que pasaron del río Moa. El aluvión grueso está de un estado compactado a muy denso basado en los valores El material se describe como grava con indicios de arena y cieno.

**Cieno orgánico.**

La capa de cieno orgánico contiene bolsas de materia orgánica y se depositó en un ambiente litoral o costero de los pantanos del manglar. De forma general, el estrato se describe mejor como de marrón a un gris verdoso, de mojado a muy mojado, cieno orgánico con arena fina y arcilla, que contiene bolsas de materia orgánica fina a gruesa. El cieno orgánico tiene consistencias de muy blandas a firmes de arcilla de variación, cieno, arena y grava y contiene materia orgánica y pedazos de madera.

**Sedimentos marinos.**

Generalmente subyace la capa de cieno orgánico o, en algunos casos se encuentra dentro del aluvión fino. Este material es típico de los sedimentos de granulometría fina depositados en un ambiente marino y que contiene evidencia de organismos marinos y fragmentos de conchas. De forma general, este estrato se describe mejor como de gris oscuro a verde, muy mojado, cieno arcilloso con arena fina. El material es de muy blando a duro en consistencia basado en los valores registrados de

resistencia. Los sedimentos marinos se consideran como altamente susceptibles a la licuefacción basada en los resultados de pruebas de índice in situ.

**Serpentina alterada.**

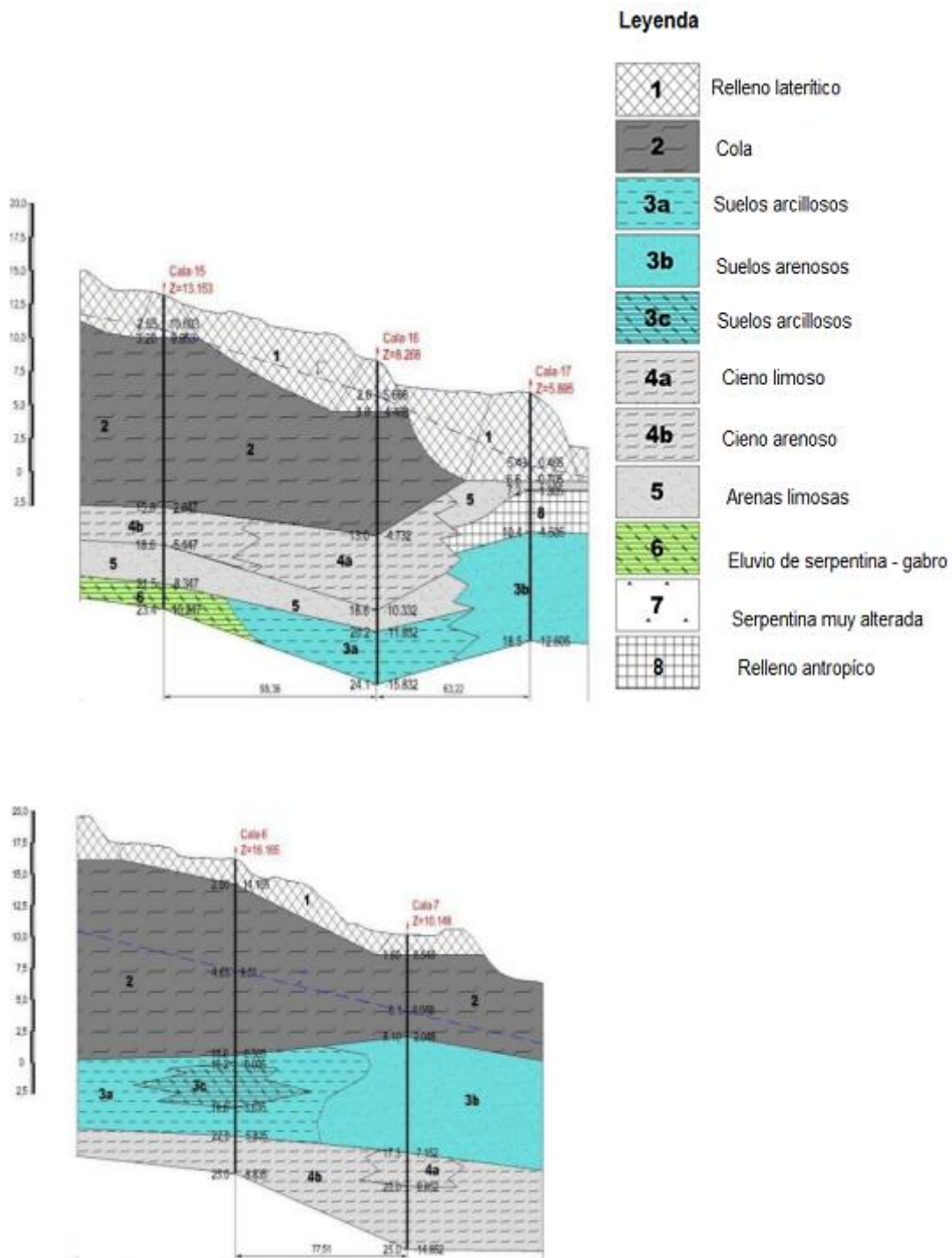
La serpentina alterada es típica de una roca altamente alterada o suelo residual (saprolita), y se describe mejor como un rojo marrón amarilloso, de húmeda a mojada, cieno arenoso altamente plástico con alguna arcilla y huella de grava. El estrato generalmente exhibe una consistencia de resistente a dura.

**Laterita residual y Coluvial.**

La laterita natural o residual se encuentra generalmente en la superficie. La laterita es típica de una roca dura extremadamente alterada o suelo residual y se describe mejor como de roja oscura, a rojiza marrón, mojada, cieno inorgánico, arcilla, arena y grava ferruginosa cuando se rompe de su estado naturalmente cementado. La laterita residual se encontró directamente recubriendo la serpentina alterada.

En la siguiente figura se representan una serie de perfiles que se confeccionaron a partir de la realización de calas que se desarrollaron en la presa de residuos mineros metalúrgicos de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara. Estas investigaciones ingeniero geológicas permitieron conocer las capas por la que están constituidos los diques de la presa de colas.





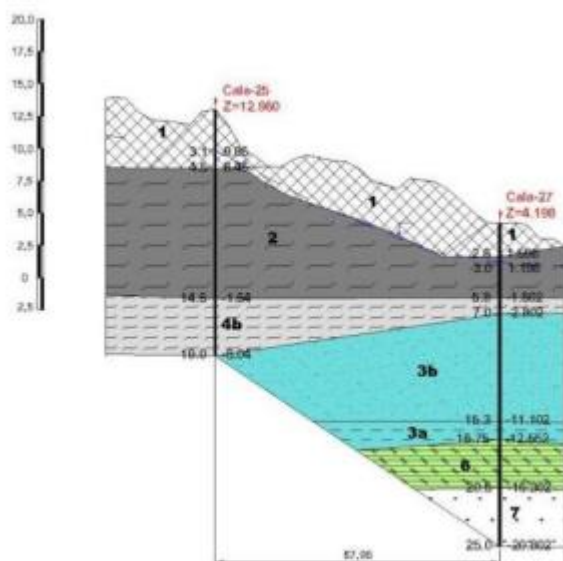


Figura 6: Perfiles ingeniero geológicos de la presa de colas Cmdte Ernesto Che Guevara.

### 1.7 Tectónica de la región de Moa.

La tectónica es compleja, en ella se manifiesta la superposición de fenómenos tectónicos como el intenso plegamiento de las secuencias más antiguas (gabros y serpentinitas), las cuales se desarrollan en un ambiente de compresión máxima, mientras que las más jóvenes (sedimentos cuaternarios palustres y fluviales) se han desarrollado bajo esfuerzos de tracción; estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques, que enmascaran las estructuras más antiguas las cuales se pliegan en dirección noreste – sureste, noroeste – suroeste y norte – sur.

El principal sistema de falla del territorio es el del eoceno medio, constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte – noroeste que se cortan y desplazan mutuamente siendo las más abundantes, de mayor extensión y límites principales de los bloques morfotectónicos; su génesis se asocia al proceso de colisión del arco volcánico cretácico sobre el paleomargen de Bahamas y están representadas en la región por las fallas: Los Indios, Moa, Miraflores, Cabaña, Maguey, Cayo Guam y Quesigua.

**Falla Los Indios:** Se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, atravesando hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte-noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste-sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

**Falla Moa:** Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla la barrera como tal desaparece, quedando reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

**Falla Miraflores:** Se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este-noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

**Falla Cabaña:** Se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande.

En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y

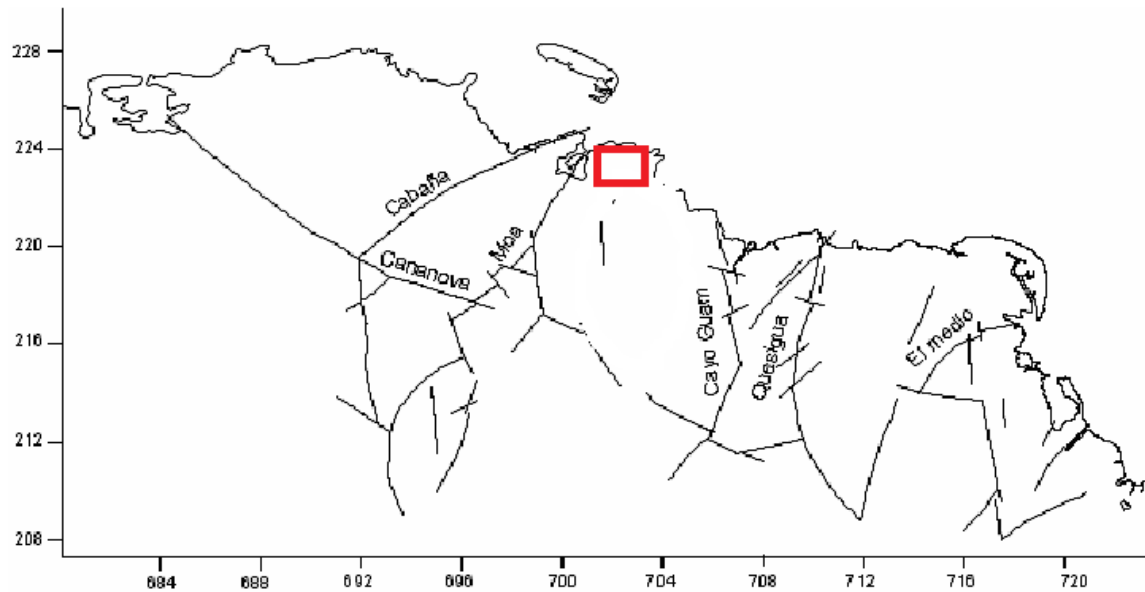
desplazada por la falla Cananova tomando una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

**Falla Maquey:** Limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, asumiendo un rumbo N65°E por más de siete kilómetros hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E siendo cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

**Falla Cayo Guam:** Con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

**Falla Quesigua:** Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

En las estructuras disyuntivas son características los ángulos de buzamientos abruptos, la presencia de espejos de fricción y asociados a estos una serie de estructuras secundarias como grietas y plegamientos.



**Figura 7: Ubicación en el marco tectónico regional del área de la presa de colas en rojo. Tomado del esquema representativo de las principales fallas según Rodríguez (1998).**

Los principales bloques presentes en el área de estudio son:

#### **Bloque Moa:**

Se encuentra ubicado en la parte centro occidental de Moa, al este del bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este. En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor por ciento de su superficie. Hacia el sur, en la zona de Calentura afloran las rocas cretáceas de la formación Santo Domingo, mientras que hacia el norte existe una extensa área de desarrollo de sedimentos fluviales y palustres del Cuaternario.

Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan las densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, coincidiendo con las alineaciones tectónicas.

Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos. Hacia el norte el relieve transiciona a premontañas bajas y aplanadas y de ahí a llanuras fluviales y palustres las cuales se encuentran cubiertas por las construcciones socioeconómicas de Moa.

Morfométricamente el bloque va a presentar características intermedias y contrastantes con las elevaciones máximas del este y la llanura fluvial del río Cabaña lo que conjuntamente con los valores hipsométricos hace considerar al mismo un peldaño intermedio de transición en la estructura escalonada regional.

Microtectónicamente las mediciones realizadas al norte de Nuevo Mundo y de Calentura dan para este bloque una dirección predominante de los planos de fractura de N20°E. Inicialmente el límite noreste del bloque fue considerado como la prolongación de la falla Moa en la estructura La Vigía que atraviesa la Bahía Yaguasey, pero estudios más detallados nos permitieron determinar su límite exacto que se desplaza hacia el este al norte de La Veguita extendiéndose hasta Punta Yagrumaje. (A. Rodríguez1998).

### **Bloque El Toldo:**

Ocupa la posición central de Moa y es el de máxima extensión, correspondiéndole también los máximos valores del levantamiento relativo de la región. Litológicamente está conformado en superficie por las rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Hacia la parte norte se desarrollan en un pequeño sector premontañas aplanadas.

El drenaje es de densidad media a baja, lo que está condicionado por las potentes cortezas de intemperismo que cubren al área y favorecen la permeabilidad del suelo y al intenso control estructural del drenaje que condiciona la formación de barrancos. En este bloque aparecen desarrolladas formas del relieve cársico en peridotitas ubicadas alrededor de las elevaciones máximas, siendo el punto de mayor cota El Toldo con 1174 m sobre el nivel del mar.

Los parámetros morfométricos para este bloque son los más relevantes al tomar valores que indican la máxima intensidad de levantamiento con isobasitas que

cierran en 900 m y 800 m para el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden respectivamente y valores de la disección vertical de 550 m/km<sup>2</sup>. Hacia la parte norte, en su prolongación dentro de la zona marina puede notarse la pérdida de la barrera arrecifal desde la intersección de la falla La Veguita hasta la falla Quesigua, donde sólo queda como testigo de su existencia un banco de arena de morfología similar, lo que se considera constituye un índice de los movimientos diferenciales entre los bloques.

Los análisis microtectónicos realizados para el bloque indican la existencia de una dirección máxima de agrietamiento de rumbo N85°W, apareciendo otras dos direcciones importantes, una sublongitudinal y una de dirección noreste. En este bloque y sólo de forma similar ocurre en los bloques Maguey y Cupey, aparece el sistema de fracturas norte-sur en el cual no se manifiestan desplazamientos horizontales y verticales intensos, lo que consideramos se debe a un proceso de descompresión, al ser el bloque de máxima intensidad de levantamiento reciente. El límite nororiental de este bloque está dado por la falla Cayo Guam, mientras que al sur limita con el bloque Cupey a través de la falla Quesigua. (A. Rodríguez 1998).

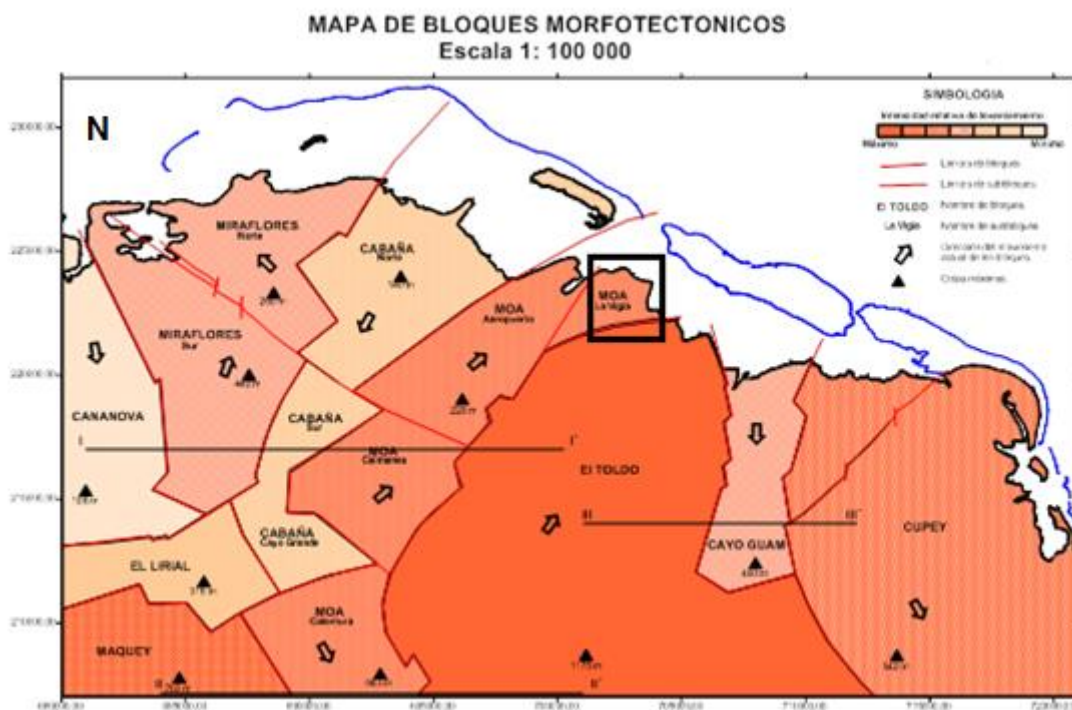


Figura 8: Versión digital del mapa de Bloques Morfotectónicos del área (Escala original 1:100000). (Modificado de Rodríguez A.1998).



### **1.8 Características hidrográficas e hidrogeológicas.**

La región se caracteriza por una red hidrográfica de tipo dendrítica que corre de sur a norte, dentro de la cual las principales corrientes son los ríos: Cabaña, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam y Quesigua, los cuales desembocan en la costa Atlántica siendo las lluvias su principal fuente de alimentación.

Desde el punto de vista hidrogeológico han sido identificados cuatro sistemas acuíferos, de los cuales los más extendidos son los correspondientes al complejo ofiolítico y a las cortezas de intemperismo lateríticas. Los otros dos sistemas se desarrollan en sedimentos aluviales de terrazas fluviales y en sedimentos costeros que aunque no ocupan una extensión significativa resulta imprescindible conocer sus peculiaridades hidráulicas e hidroquímicas, pues son los sedimentos sobre los cuales se asientan los diques de la Presa de colas.

### **1.9 Procesos geodinámicos y antrópicos.**

Los fenómenos físico-geológicos presentes en el área estudiada son:

**Meteorización:** Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio y ha dado lugar a una corteza de intemperismo compuesta por suelos lateríticos muy ricos en óxidos de Hierro y Aluminio, con espesores variables.

**Erosión:** Se debe a la acción de corrientes temporales, dando lugar a la formación de surcos y grandes cárcavas en los suelos, ocasionadas por el escurrimiento de las precipitaciones atmosféricas.

En el área de estudio, en gran parte de los diques que conforman la presa de colas se manifiesta en diferentes grados la acción de los procesos erosivos, es en el dique sur donde se observan con mayor intensidad.



La erosión en el área de estudio ha provocado cárcavas de importancia, donde se ha socavado el espesor de la laterita descubriéndose las colas, este proceso va acompañado de arrastre de los distintos tipos de materiales presentes en el cuerpo del dique.

### **1.10 Sismicidad.**

La región de Moa se encuentra localizada al noreste de la provincia Holguín y norte y noreste de la provincia Guantánamo, en lo que podría llamarse una zona de transición entre el límite sur de la placa Norteamericana y los territorios de Cuba pertenecientes al interior de la misma. Esto conlleva a que se presente una sismicidad moderada (Cotilla et al., inédito), debido a la influencia de la principal zona sismogeneradora de Cuba (falla Bartlett - Caimán) y de estructuras de menor orden como la Cauto - Nipe, la Cauto - Norte y la parte oriental de la Norte - Cubana.

Para la zona que incide sobre Moa se valora el comportamiento de la actividad sísmica en el período de 1964 al 2010 para eventos con magnitudes mayor o igual a 2.5 Richter en toda la región Oriental, tomada de esta forma por la incidencia que pueden tener los sismos con estas magnitudes o mayores en nuestra zona de estudio.

La sismicidad vinculada con magnitudes menores de 1.5 Richter, generalmente es considerada como “sismicidad de fondo”, formando parte de la sismicidad de interior de placas, la cual no produce ningún efecto en edificaciones presentes en el área de estudio.

El 2004 fue un año en el cual ocurrieron varias series de terremotos en la región Oriental con un número elevado de sismos con magnitudes mayores de 2.5. El brusco aumento a finales de 1998 y principios del año 1999, se debe a la ocurrencia de dos terremotos perceptibles de gran energía registrados al Norte de Moa, cuyos efectos se sintieron fundamentalmente en la zona de referencia, uno el 28 diciembre de 1998 y otro el 5 de julio de 1999, que tuvieron réplicas del orden de los 1000 eventos (SSSN, 2010).

La sismicidad como factor primario de los efectos de los terremotos en el área ha sido discutida en diversos trabajos, así como la potencialidad de las zonas

sismogeneradoras que afectan al área de estudio. Importante es destacar terremotos con niveles de perceptibilidad en Moa en marzo/1992, el 28 de diciembre/1998 y el 5 de julio/1999; en el campo cercano han ocurrido en Santiago de Cuba el 12 de junio/1766, el 20 de agosto/1852, el 26 de noviembre/1852, el 3 de febrero/1932 y el 7 de agosto/1947, así como terremotos importantes al norte de La Española, que por el campo de isosistas pudieron sentirse con fuerza en el sitio.

La siguiente tabla muestra intensidades que han sido estimadas en la ciudad de Moa por terremotos en diferentes zonas sismogénicas desde el año 1551 hasta 1999.

**Tabla 1. Intensidades estimadas en la ciudad de Moa por terremotos con epicentro en diferentes zonas sismogénicas. Magnitud (Ms) e Intensidad (MSK - EMS).**

<b>Año Mes/Día</b>	<b>Ms</b>	<b>Zona del epicentro</b>	<b>Intensidad</b>
1551	5.8	Bayamo	4.0
1624 oct	5.2	Bayamo	3.0
1766 jun/12	7.6	Santiago de Cuba	6.5
1842 may/7	8.2	La Española	7.0
1852 ago/20	7.3	Santiago de Cuba	6.5
1887 sep/23	7.9	La Española	7.0
1932 feb/3	6.8	Santiago de Cuba	5.5
1946 ago/4	8.1	La Española	5.0
1947 ago/7	6.8	Santiago de Cuba	5.5
1992 mar/20	4.5	Moa	6.0
1998 dic/28	5.5	La Española	6.0
1999 jul/5	4.0	Moa	5.0

El segundo factor, efecto de los terremotos a diferentes distancias, ha sido ampliamente estudiado en Cuba para el caso de las intensidades sísmicas. En Álvarez y Chuy (1985), puede encontrarse la descripción del modelo propuesto por estos autores en el cual se caracteriza el campo macrosísmico en forma de Isosistas elípticas. Con este modelo se ha podido caracterizar una buena parte de las zonas sismogeneradoras del país, incluyendo las que inciden en el área de estudio.

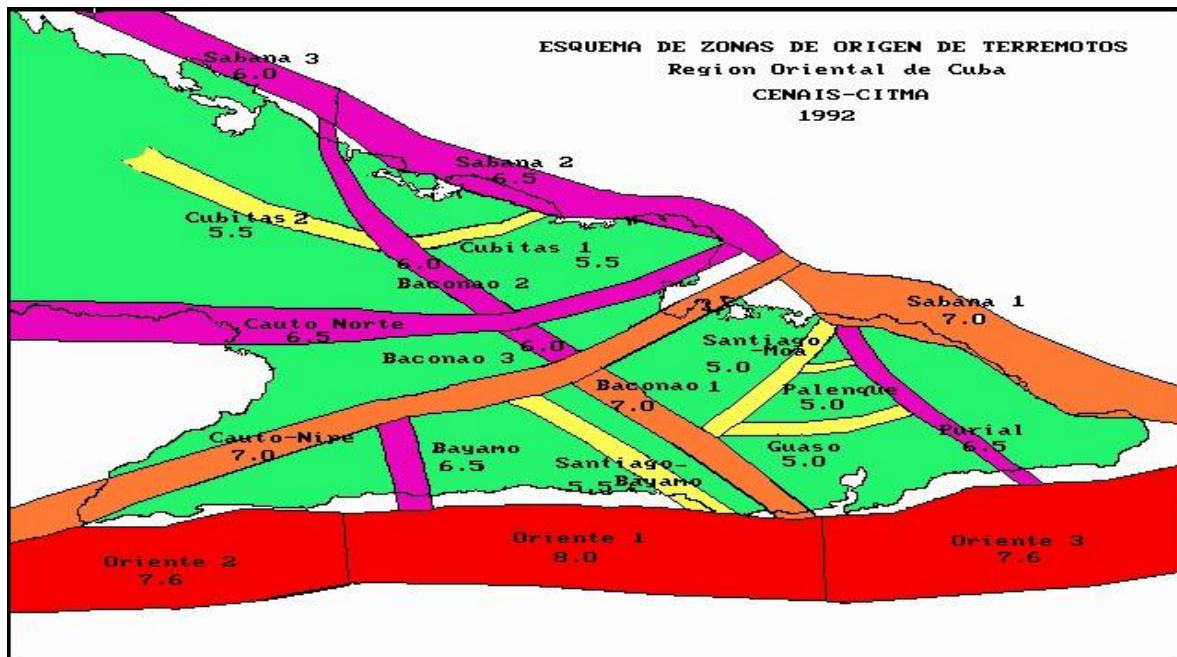


Figura 9: Zonas sismogeneradoras principales que afectan al territorio oriental de Cuba, dentro de ellas se observan subzonas que afectan a Moa de manera directa. Tomado de Chuy et al (1997).

# Capítulo 2

## **Capítulo II. Metodología de la investigación.**

### **Introducción.**

Durante el desarrollo del presente capítulo se realizará una descripción detallada de la metodología aplicada durante la investigación para la realización del diagnóstico geólogo ambiental de la presa de colas de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara a partir de las tres etapas principales establecidas para llevar a cabo la investigación, iniciando desde la revisión de los trabajos precedentes, trabajo de campo e interpretación de los resultados.

Este diagnóstico se realizó con el objetivo de conocer las condiciones geólogo ambientales que afectan la presa, aspectos que serán considerados durante el plan de cierre definitivo y postcierre de modo que garanticen la estabilidad de la obra, minimicen los riesgos y protejan el medio ambiente circundante.

### **2.1. Etapas de la investigación.**

En el siguiente diagrama de bloque se describe la estructura de la Metodología de la Investigación a seguir para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

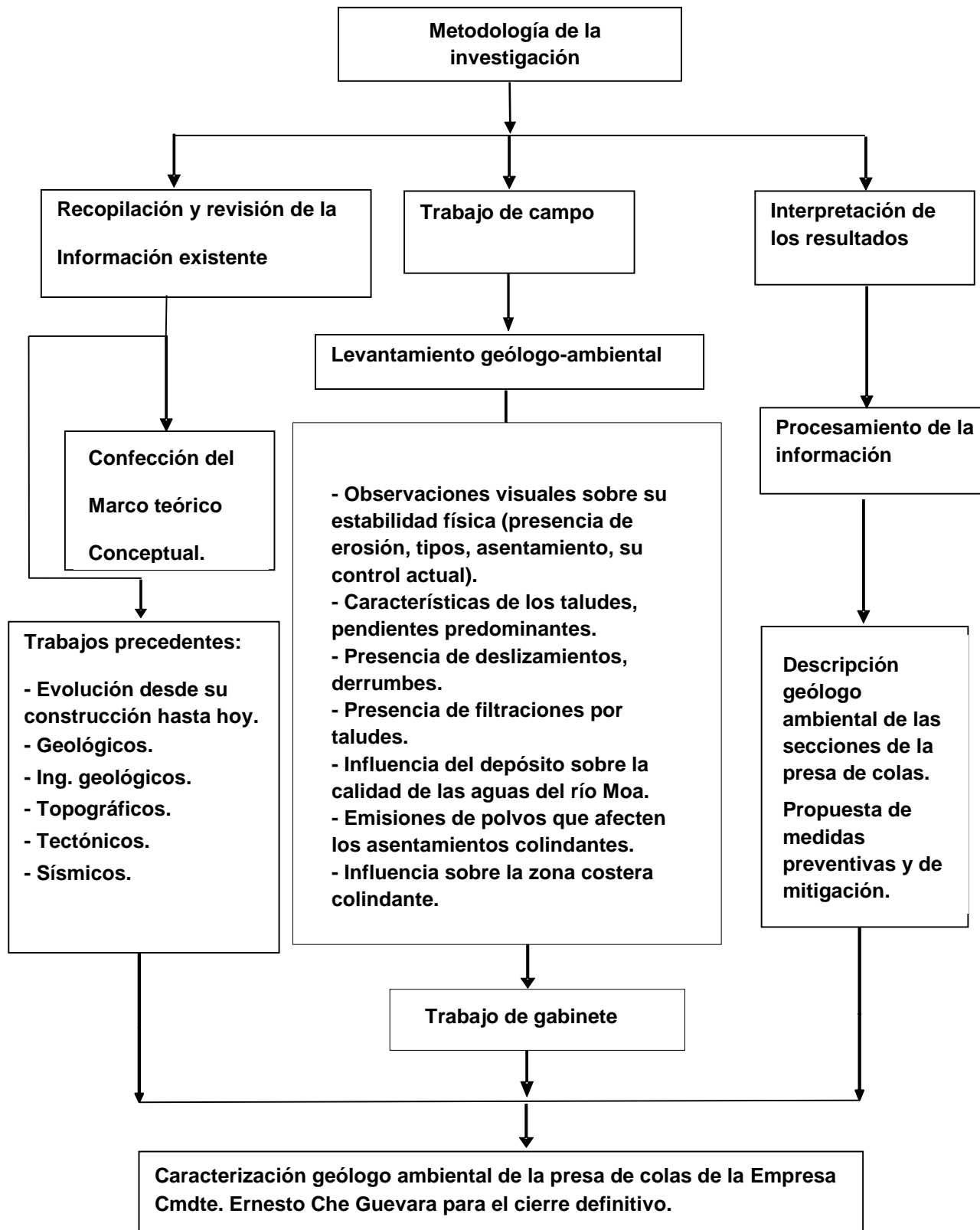


Figura 10: Diagrama de la metodología de investigación.

## **2.2. Recopilación y revisión de la información existente.**

Esta es la etapa preliminar del capítulo, en ella se define en gran medida todo lo que se ha hecho anteriormente relacionado con el objeto de estudio. La revisión de los trabajos precedentes es de gran importancia ya que sirve como punto de partida para la investigación.

Para el desarrollo de esta etapa se consultó la base de datos con que cuenta el Centro de Información del ISMM y el empleo de su biblioteca virtual insertada en su página web <http://www.ismm.edu.cu>. Se consultaron materiales sobre estudios realizados en Cuba y el mundo sobre diagnósticos de presas de relaves, proyectos ejecutados en la Empresa CEPRONIQUEL. Luego de desarrollada la búsqueda se procedió al procesamiento de los datos disponibles y la interpretación de los resultados obtenidos llevándose esta última a formato digital como parte de la memoria escrita de la investigación y como documentos gráficos (mapa de ubicación geográfica, mapa geológico de la región de Moa, mapa de bloques morfotectónicos, mapa geomorfológico, tablas de registros sísmicos registradas en Moa y otros).

## **2.3. Trabajo de campo.**

El trabajo de campo se realizó con el objetivo de hacer una caracterización general del medio natural (flora, fauna, suelos, relieve, aguas y aire) del entorno donde se ubica la presa de colas, con una descripción amplia y detallada en términos cualitativos y cuantitativos haciendo énfasis en su influencia sobre los factores socioeconómicos en general.

Para ello se realizaron tres marcha rutas abarcando toda el área, para un mejor desarrollo y comprensión del trabajo de campo, se dividió la presa de residuos minero metalúrgico de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara actual en 7 secciones de acuerdo a los puntos de inflexión y una plataforma central: Sección 1. Sur – Oeste, Sección 2. Oeste, Sección 3. Noroeste, Sección 4. Noreste, Sección 5. Este – Norte, Sección 6. Sur – Este, Sección 7. Este – Sur y la Plataforma Central.

Durante el desarrollo de las marcha rutas se describieron aspectos relacionados con la vegetación, la fauna, la calidad del aire, estado de la zona costera aledaña,

estado de la desembocadura del río Moa, fenómenos presentes, consecuencias sobre otros ecosistemas, principales procesos y fenómenos geoambientales presentes en los taludes, destacando la presencia de procesos erosivos, su clasificación, posible origen, su extensión y profundidad, consecuencias que han traído consigo al medio circundante, la erosión eólica y sus características.

Se describió además la presencia de tuberías de decantación, puntos de descarga y sus características, la acumulación de aguas y sus incidencias, presencia de humedad en los taludes, origen de la misma, emisiones de polvos que afecten los asentamientos colindantes, entre otros aspectos de interés.

### **2.3.1 Levantamiento geólogo ambiental de la presa de colas.**

Para la ejecución del levantamiento geólogo ambiental de la presa de colas se tomaron como base los siguientes planos topográficos:

- Plano 2623 – J – 001
- Plano 2623 – J – 002
- Plano 2623 – J – 003
- Plano 2623 – J – 004
- Plano 2623 – J – 005
- Plano 2623 – J – 006
- Plano 2623 – J – 007
- Plano 2623 – J – 008

A partir de estos planos se realizaron recorridos por las secciones definidas para el diagnóstico, describiendo los taludes presentes, grietas en el área de estudio, tipos de erosión que afecta los taludes de la presa, deslizamientos presentes en ellos, calidad de las aguas del río Moa y las filtraciones de los taludes. Se tuvieron en cuenta la presencia de tuberías de decantación, puntos de descarga y sus características, la acumulación de aguas y sus incidencias en los taludes.



### **2.3.1.1 Observaciones visuales.**

Se describieron las características de los taludes, sus pendientes predominantes, la presencia de procesos erosivos, deslizamientos, derrumbes, la presencia de filtraciones por taludes, la influencia del depósito sobre la calidad de las aguas del río Moa y las emisiones de polvos que afecten los asentamientos colindantes, además se describió el estado actual de las tuberías de drenajes y decantación y los puntos de descargas.

- **Características de los taludes, pendientes predominantes.**

Se tuvo en cuenta la longitud de los taludes, pendientes predominante de los mismos y presencia de vegetación existente. Se hizo énfasis en la presencia de procesos erosivos en los mismos y sus características.

- **Presencia de filtraciones por taludes.**

Con el objetivo de determinar la presencia de filtraciones en los taludes se realizó una descripción del agrietamiento de los taludes, presencia de agua y derrames de colas en los mismos, el estado de los aliviaderos, zanjias, canales, tuberías de drenajes activas en los sectores de la presa de colas y la acumulación del agua en las plataformas.

- **Influencia del depósito sobre la calidad de las aguas del río Moa.**

Para determinar la influencia de la presa de residuos mineros sobre las aguas del río Moa desde el punto de vista visual se tuvo en cuenta el arrastre de sedimentos provenientes de los taludes. La percolación de elementos nocivos como metales pesados a las aguas superficiales debido a la filtración en estado líquido de los mismos. Problemas que causa la intensas lluvias y las descargas ilegales y no controladas de colas y aguas del proceso al entorno, causas de la deforestación así como la colmatación, reducción y alteraciones a la dinámica de los cursos de agua y al sistema de drenaje natural y la influencia de la erosión eólica sobre las áreas cercanas a la presa de colas.

- **Emisiones de polvos que afecten los asentamientos colindantes.**

Con el objetivo de determinar las emisiones de polvos que afectan los asentamientos colindantes del área de estudio no fue posible realizar mediciones o evaluaciones que permitieran cuantificar los daños por lo que se realizaron entrevistas a los vecinos del reparto Rolo Monterrey sobre esta afectación y las épocas de mayor incidencia. Además se revisaron estudios de Línea base ejecutado por CESIGMA S.A en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. **Ver anexo 3.**

#### **2.3.1.1.1 Aspectos generales de los procesos erosivos y fenómenos geoambientales.**

Se tomaron evidencias fotográficas de los fenómenos físicos geológicos presentes en cada una de las secciones, existencia de cárcavas, zanjas, deslizamientos, sus dimensiones y características, presencia de derrumbes describiendo sus características, comportamiento y repercusión en la estabilidad de los taludes.

Dentro de los procesos erosivos y fenómenos geoambientales que pueden afectar los taludes de una presa de residuos mineros y que se consideran para la etapa de trabajo de campo se encuentran los siguientes:

- 1. Erosión natural o geológica.**
- 2. Erosión artificial o antrópica.**

#### **Erosión natural o geológica.**

- **Erosión hídrica.**

En este tipo de erosión se deben considerar cuatro procesos:

1. Remoción por el impacto de las gotas de lluvia.
2. Remoción por el flujo de escorrentía.
3. Transporte del suelo removido por salpicaduras.
4. Transporte del suelo removido por la escorrentía superficial.

Dentro de los procesos erosivos bajo la influencia de los efectos del agua se consideran los siguientes para esta etapa de trabajo de campo:

- Erosión en surcos: El agua, traza su camino siguiendo la pendiente de arriba hacia abajo y al arrastrar las partículas en ellas contenidas, irá formando pequeños cauces o surcos.
- Erosión en cárcavas: Son canales mayores que los producidos durante la erosión por surcos. Sus dimensiones son funciones del caudal de la escorrentía y su velocidad, además de las características del suelo y la pendiente.

La extensión y la profundidad de las cárcavas aumentan debido a una serie de procesos que pueden ocurrir aislados o conjuntamente:

- El roce, en el fondo y paredes de las cárcavas, de la corriente de agua y los materiales abrasivos que esta lleve (arena, grava, guijarros, etc.)
- Regresión progresiva de las cabezas de las cárcavas debido a la erosión del agua que en ella se precipita.
- Desmoronamiento de los márgenes de las cárcavas por la acción lubricante de las aguas de infiltración o por la socavación del agua que corre por el fondo de la cárcava.
- Erosión en pináculo: Se asocia a canales verticales profundos situados junto a las cárcavas que profundizan rápidamente hasta que se unen y dejan el pináculo aislado.
- Las cárcavas pueden tener dimensiones muy variadas, tanto por sus características físicas, ubicación, edad, como por otros factores. Pueden ser estrechas, poco profundas (0.5 - 1.0) m o llegar a dimensiones enormes.

El corte transversal de una cárcava presenta generalmente, la forma de una V o de una U. El primero, cuando el subsuelo es resistente al corte por el agua, mientras que el corte en U se encuentra donde el suelo sea de textura suelta fácilmente erosionable.

### Consecuencias de la erosión hídrica.

La erosión hídrica priva al suelo con el agua, de nutrientes esenciales para las plantaciones y parte del sustrato sobre el que deben vivir, provocando la sedimentación otro problema de envergadura.

Sedimentación: Es el suelo desplazado de su ubicación original por la erosión y depositado en otro lugar, bien sea cerca del lugar de origen, o en el mar. La distancia que recorren las partículas de suelo desprendidas por la erosión depende, del tamaño, densidad, forma de las mismas y de la velocidad de la escorrentía.

Las partículas que menor distancia recorren y primero se sedimentan son las arenas gruesas. Después lo hacen las de arena fina y el limo, a medida que el agua de escurrimiento disminuye la velocidad. Algunos limos (muy finos) se sedimentan únicamente en las aguas tranquilas. La arcilla y el humus coloidal no se sedimentan ni siquiera en aguas tranquilas, sino que permanecen en suspensión indefinidamente, se coagulan si el medio alcanza una concentración determinada de electrolitos (generalmente sales) o también pueden precipitarse por un brusco descenso de la temperatura.

En la figura siguiente se esquematizan las causas de la erosión hídrica.



Figura 11: Causas de la erosión hídrica.

- **Erosión eólica.**

La erosión eólica es el resultado de la acción del viento sobre la superficie del suelo y su variación solo se mide en cuanto a intensidad. Su ritmo de actuación, bajo condiciones naturales de vegetación y manejo de suelo, es muy lenta.

Los principales factores que intervienen son: clima, suelo y vegetación. Este tipo de erosión se produce fácilmente en zonas áridas y semiáridas donde se dan los siguientes factores:

- Suelo seco y bastante suelto.

**Erosión artificial o antrópica.**

En este caso la erosión artificial o antrópica, es producida por la actividad del hombre. Que crean condiciones de desequilibrio que no son fáciles de controlar y van en aumento de año en año.

Las causas conocidas de la erosión artificial son muchas, pero podrían sintetizarse en dos:

1. La destrucción de la estructura superficial natural de los suelos, conformada naturalmente para resistir los golpes de las gotas de lluvia, evitando la separación de sus partículas componentes.
2. La acumulación y velocidad del agua en función de muchos factores, arrastran y traslada con el escurrimiento las partículas separadas. Esta es superior a la de la formación del suelo, no permite su recuperación natural.

**Causas y factores que determinan la erosión de los suelos.**

Dentro de las causas o agentes de la erosión que pueden afectar la estabilidad física de los suelos se encuentran los siguientes:

1. **El agua de lluvia** que provoca la erosión del suelo a través del impacto de las gotas sobre la superficie, cayendo con velocidades y energía variable, su acción erosiva depende de la distribución pluviométrica, más o menos regular, en el tiempo y en el espacio y su intensidad. Lluvias torrenciales o chaparrones intensos constituyen la forma más agresiva de impacto del agua en el suelo. Durante esos eventos la aceleración de la erosión es máxima.

El índice que expresa la capacidad de la lluvia de provocar erosión es conocido como erosividad. Cuando los otros factores que provocan la pérdida de suelos por erosión son mantenidos constantes, la erosividad es proporcional al producto de la energía cinética total de las gotas de lluvia y su intensidad máxima en treinta minutos.

La escorrentía que provoca la erosión por lavado de la superficie del suelo al arrastrar las partículas del mismo (cuando la cantidad de agua que cae es mayor que la que se puede infiltrar).

2. **El viento**, causante de la erosión o arrastre de las partículas de menor tamaño, con lo que se provocan las nubes de polvo (polvareda) en suelos descubiertos.
3. **Gravedad**, causa de la erosión por gravedad, principalmente de los deslizamientos de tierras.

### **Factores que facilitan o retardan la intensidad de la erosión.**

Los factores que determinan la mayor o menor intensidad de la erosión sobre los suelos en los taludes son:

- El régimen climático.
- Inexistencia de vegetación.
- Actividad antrópica (actividad del hombre).
- Tiempo durante el cual actúan los agentes.

### **2.4 Trabajo de gabinete.**

Una vez realizado el trabajo de campo se procede a procesar los resultados obtenidos durante el mismo describiendo el estado de cada una de las componentes ambientales, destacando el estado de la vegetación circundante, la presencia de la fauna, la calidad del aire, estado de la zona costera aledaña, estado de la desembocadura del río Moa, los fenómenos presentes, consecuencias sobre otros ecosistemas, principales procesos y fenómenos geoambientales presentes en los taludes, la presencia de procesos erosivos, su clasificación, posible origen, su extensión y profundidad, consecuencias que han traído consigo al medio circundante, la erosión eólica, sus características, así como la acumulación de

aguas y sus incidencias, presencia de humedad en los taludes, origen de la misma, emisiones de polvos que afecten los asentamientos colindantes.

Se consultaron las normas ambientales cubanas vigentes que deben cumplirse para este tipo de investigación: NC 39: 1999 Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios. Enmienda NC 111: 2004 Calidad del aire - Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos, NC 27 2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. (Obligatoria). NC 521: 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas — especificaciones, NC 1020: 2014. Calidad del aire — contaminantes — Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (Obligatoria).

En la siguiente tabla se representan las normas cubanas que se consultaron para dar propuesta a las medidas generales y específicas para el cierre definitivo de la presa de colas.

Tabla 2. Normas cubanas consultadas.

NC.23: 1999	Franja forestal de las Zonas de Protección a Embalses y Cauces Fluviales.
NC.31: 1999	Calidad del Suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de Tierra.
NC 1020:2014	Calidad del aire — contaminantes — Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (Obligatoria).
NC .39: 1999	Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios.
NC.111: 2004	Calidad del aire - Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
NC.27:2012	Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado.
NC.521:2007	Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y a las aguas marinas.

Se propuso un sistema de medidas de mitigación y control para cada una de las secciones de la presa de colas con el objetivo de resolver los problemas detectados que se tendrán en cuenta para el plan de cierre definitivo de la presa de colas.

Se confeccionaron planos topográficos de cada una de las secciones para dar una ubicación exacta de los mismos y se proponen las medidas de mitigación según el fenómeno descrito para cada una de las secciones.



# Capítulo 3

### **Capítulo III. Interpretación de los resultados.**

#### **Introducción.**

Los resultados obtenidos y presentes en este capítulo constituyen un aporte al conocimiento del estado actual de las características geólogo ambientales que afectan la presa de colas de la empresa Cmdte Ernesto Che Guevara. Estos resultados contribuirán a proponer un conjunto de medidas de mitigación y control de los impactos ambientales que afectan dicho objeto estudio.

#### **3.1 Caracterización geólogo- ambiental de la presa de colas actual.**

Como ya se había mencionado en el anterior capítulo, se dividió la presa de colas actual en 7 secciones de acuerdo a los puntos de inflexión y una plataforma central de la siguiente forma:

- Sección 1. Sur – Oeste
- Sección 2. Oeste
- Sección 3. Noroeste
- Sección 4. Noreste
- Sección 5. Este – Norte
- Sección 6. Sur – Este
- Sección 7. Este – Sur
- Plataforma. Central

Cada talud presente en cada una de las secciones está formado por 5 fases que a continuación se describen las características actuales de cada uno de ellos.

##### **Sección 1. Sur – Oeste.**

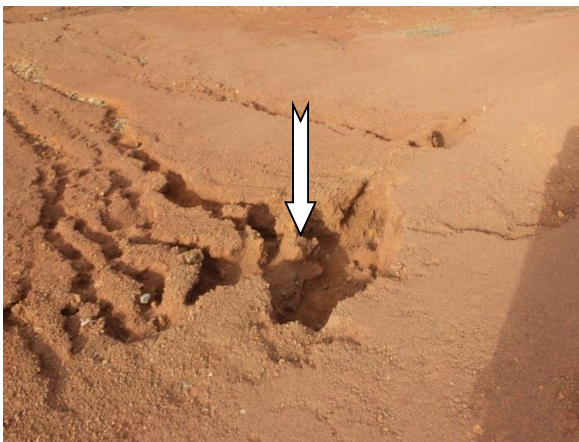
El talud ubicado en la sección 1 Sur – Oeste de la Presa de Colas: Limita con la carretera Moa Baracoa, próxima a la Empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”. Presenta una longitud de 1 218.9 m y pendiente de 16.22 %. **Ver anexo 2.1.**

Es un talud de relleno en sus 5 fases, que emite un gran impacto visual negativo. El mismo presenta un corte poco complejo que en orden descendente está constituido litológicamente por los siguientes elementos ingeniero – geológicos (capas): relleno

(formado por laterita y colas), cieno, arcilla muy plástica, sedimentos marinos, arcilla plástica, eluvio de serpentinita y serpentinita alterada.

La parte superior del talud en la fase 1, presenta una gran cantidad de surcos como consecuencias de la erosión, en un relieve poco regular.

Existe un sector de aproximadamente 120 m de ancho y 170 m de largo en el que se percibe la cola superficialmente (consecuente con algún derrame previo), el resto de los sectores de este talud presentan terreno vegetal (laterita ferruginosa) recubriéndola. Además existen plantaciones muy pobres de pasto estrella y hierba fina.



**Figura 12:** Surcos erosivos, relieve irregular.



**Figura 13:** Sector en el que se percibe la cola superficialmente.

Hay presencia de restos de madera, escombros de construcción, rocas sobredimensionadas y aislados tranques y estacas abandonadas de las protecciones del talud ejecutadas anteriormente.

Existe otro sector en la porción central del talud en el que se intentó la rehabilitación por parte de la Empresa Rehabilitación Minera (REMIN) donde se observa un mínimo desarrollo de las plantaciones por el escaso volumen de materia orgánica depositado, (debe ser de 0.20 cm). Se divisan además biorretenedores de napiel. Las estacas son de 50 y 70 cm de largo.

El área en toda su extensión presenta varias acumulaciones de agua producto a los salideros de las tuberías paralelas a la carretera. Hay presencia de revegetación de

verbena, tua tua, leucaena, hierba de guinea y especies endémicas, pero no existen representantes de especies faunísticas silvestres, probablemente por la influencia del amoníaco de las colas. **Ver anexo 1.1.**

### **Sección 2. Oeste.**

El talud en esta sección, es uno de los más extensos desde el suroeste del dique hasta el punto de inflexión en la curva. Se localiza entre las estaciones 196 + 46 y la 208 + 80 e incluye el contrafuerte Oeste (estación 500 + 00 a 505 + 53) completado en la fase 3. Los taludes presentan aproximadamente una longitud de 1 361.28 m y pendiente de 13.12 %. El sector se caracteriza por la intensidad de los procesos erosivos en todas las fases. **Ver anexo 2.2.**

El relleno de laterita puede describirse como rojo oscuro a marrón rojizo, suelo laterítico húmedo a mojado derivado de la roca dura extremadamente alterada.

La parte inferior del área que ocupa el talud, presenta un bosque bien desarrollado de pinos y plantaciones de marañón bordeándolo.

El camino inferior del contrafuerte situado entre el bosque de pino y el botadero no tiene un buen sistema de drenaje. El bosque de pino está bien desarrollado, las plantas están entre los 3 y los 4 m de altura con presencia abundante de acículas e inicio de formación del sotobosque; se encuentran además plantas de marañón, marabú, yerba de guinea, pasto estrella, rejo de boniato, y verbena.

La fauna está representada por mariposas de colores y palomas silvestres.

El vertedero de residuos sólidos presenta múltiples montículos de desechos contaminados por el vertimiento indiscriminado, restos de tuberías y chatarra.

El talud de la fase 2 presenta surcos erosivos, cárcavas de mediana magnitud y algunas rocas que dificultarían la rehabilitación hasta la cerca perimetral.

La parte superior del talud de la fase 2 hasta el camino, presenta erosión por pináculos, surcos erosivos y cárcavas de mediana magnitud con ancho inferior promedio de 2.7 m, 1.3 m de ancho superior y 3.82 m de largo respectivamente.



**Figura 14: Talud de la fase 2 fuertemente erosionado.**



**Figura 15: Cárcava representativa de gran magnitud en el talud de la fase 2.**

En la fase 2, próxima a la entrada sur del dique, existe un bosque bien desarrollado de leucaena, pasto estrella y en las proximidades de éste, montículos de terreno vegetal. Existe una zona en la que se observan plantaciones de plátano, calabaza, marabú, rejo de boniato, cordobán, malanga de jardín, vicaria morada, pinpinillo, aguacate, almendra, romerillo, platanillo, yuca, frutabomba, moriviví y una variedad de frijol gandul.

La fauna está representada por mariposas de colores y palomas silvestres. Se encontraron además concentraciones de desechos domésticos.

Después del camino transversal a la cerca perimetral, la fase 2 está fuertemente erosionada, existen sectores con ligeras ondulaciones provocadas por el arrastre de material por las lluvias. Se observan rocas aisladas de diferentes dimensiones y cárcavas de mediana y gran magnitud. Existe además gran humedad en este talud y sectores con una capa superficial fina de amoníaco presente en los residuos.

Generalmente las cárcavas en esta fase vienen de la fase 3 con mediana o baja magnitud. Estas presentan acumulaciones de agua y rocas.

El acceso a la fase 3 está en mal estado y el talud presenta múltiples cárcavas, una de ellas de gran magnitud en la que se divisa un perfil donde aparecen colas y su influencia llega hasta la fase 4. También se observan surcos erosivos y erosión por

pináculos. Se observan restos de alambres, palos, escombros de construcción y pequeños cúmulos de material estéril.

Existen concentraciones de plantaciones de hierba de jardín, moriviví, leucaena, verbena, hierba de guinea y raíces de árboles. Muy representativo del área es el grado de humedad de la superficie de la fase 3 y la presencia de una tubería de drenaje activa con gran caudal, pero de la que se desconoce el origen.



**Figura 16: Tubería de drenaje activa con caudal considerable.**



**Figura 17: Acumulación de agua de la tubería.**

Se considera de especial seriedad los riesgos que implica la contaminación del agua subterránea observada en este talud, provocando gran dificultad para remediar esa afectación, incidiendo en los costos de monitoreo a largo plazo, situación que puede ser manejada a través de los gradientes hidráulicos.

Por lo antes expuesto se recomienda un estudio de estabilidad de la fase 1 y 2 de este talud. Se dificulta actualmente saber el origen de estas aguas, se tenía que haber determinado durante la etapa de explotación, implicando un desafío durante la ejecución del cierre porque se observa la alta permeabilidad de estas colas, facilitando la infiltración de las precipitaciones atmosféricas y su almacenamiento en la base del depósito. **Ver anexo 1.2.**

Existe otra tubería extensa abandonada que se utilizó para el transporte de las colas y restos de chatarra. En la curva (del oeste hacia el norte) se encuentran más cárcavas de mediana y gran magnitud.



**Sección 3. Noroeste.**

El talud se ubica desde el punto de inflexión hasta el faro específicamente desde la estación 208 + 80 a la 218 + 25. Presenta una longitud de 115.54 m y pendiente de 8.51 %. Es un talud de relleno en sus 5 fases, caracterizado por presentar en el talud de la fase 1 pendientes abruptas y plantaciones aisladas de pinos sobrevivientes a la influencia de las colas. **Ver anexo 2.3.**

El sector, presenta un corte poco complejo constituido litológicamente por capas de relleno que están formadas por laterita y colas. Próximo al punto de inflexión se encuentra una tubería de drenaje inactiva y otras abandonadas. Además se observan rocas sueltas.

Desde la fase 2 hasta el talud base original se observan múltiples cárcavas de gran magnitud con dimensiones promedio de 3.72 m de ancho inferior y 12.28 m de largo. En la fase 1 existen varias socavaciones producto al sistema de drenaje y unas cuantas tuberías abandonadas. Se observan también restos de chatarra y varios surcos erosivos. **Ver anexo 1.3.**

Es relevante la presencia de tuberías inactivas de diámetro considerable en el talud de la fase 1, y de hierba fina en la fase 3. Así como deslizamientos del talud de la fase 4.

La fase 5, activa actualmente, presenta una red de tuberías para el transporte de colas y aguas residuales.



**Figura 18:** Pendiente abrupta de 85° a 90° desprendimiento de rocas y plantaciones aisladas de pino.



**Figura 19:** Tuberías abandonadas, cárcavas y rocas aisladas sueltas en la fase 2 y 3.

#### **Sección 4. Noreste.**

El talud se localiza entre la estación 218 + 25 y la 225 + 90, desde el faro hasta el punto de inflexión al norte según el plano topográfico. Presenta una longitud de 838.85 m y pendiente de 8.19 %. Se evidencia el impacto de la presa residuos a la costa. **Ver anexo 2.4.**

Es característico de este sector la presencia de un ambiente litoral o costero con restos de vegetación característica de pantanos (manglares). El estrato se describe como de marrón a un gris verdoso, de mojado a muy mojado, cieno orgánico con arena fina y arcilla, que contiene bolsas de materia orgánica fina a gruesa. El cieno orgánico tiene consistencias de muy blandas a firmes de arcilla, arena y grava y contiene materia orgánica y pedazos de madera.

En el talud de la fase 1 se observa menor afectación por la erosión. En el fondo existen plantaciones de pino, mangles y leucaena, sobrevivientes a los derrames de colas. Es considerable la huella ecológica como consecuencia de la catástrofe del 2007, la conformación de un ecosistema de colas derramadas. **Ver anexo 1.4.**

En esta zona del dique de colas, los taludes de las fases superiores presentan bajas pendientes, no estando bien definidos. Se observan pequeños y ligeros surcos y socavaciones de corteza pronunciadas (con dimensiones promedio de 12 m de



largo y 7 m de ancho) debajo de cada una de las tuberías de desagüe del dique en la fase 1.

Es notorio observar que desde 1986 (con el inicio de explotación del dique) producto al derrame de colas el litoral retrocedió unos 110 m aproximadamente.



**Figura 20:** Talud 4 caracterizado por menor afectación por los procesos erosivos.



**Figura 21:** Plantaciones sobrevivientes a los derrames de colas.

### **Sección 5. Este – Norte.**

El talud ubicado desde el punto de inflexión en el norte hasta el próximo punto de inflexión buscando el este, se localiza desde la estación 225 + 90 a la 230 + 87, incluyendo el contrafuerte este (desde la estación 500 + 00 a la 504 + 12) dispuesto en la fase 2. **Ver anexo 2.5.**

Presenta una longitud de 583.77 m y pendiente de 6.81 %. Es un talud de relleno, que se caracteriza por la presencia del río Moa próximo a la fase 1.



**Figura 22: Río Moa próximo a la fase 1.**

La descarga no controlada de las colas ha conformado un bloqueo del río Moa, incorporando metales pesados (hierro, en elevado contenido) y otros elementos en bajos por cientos de Ni (Níquel), Co (Cobalto) y concentraciones significativas de azufre, silicio, amoníaco y magnesio que ahora fluyen hacia la bahía a través de un canal abandonado con anterioridad. Continúan desarrollándose grandes playas de colas negras a lo largo de la línea costera oceánica y se siguen extendiendo hacia al Océano Atlántico. **Anexo 1.5.**

En el sector se percibe el daño recrudescido al río (en las proximidades del contrafuerte este) y al litoral costero que se encuentran colmatados por las colas. Las aguas residuales de las colas desde la fase 5 hasta la 1, descargan directamente en las aguas del río y consecuentemente por el contenido alto de amoníaco, tiene una coloración blanca similar a la leche.

#### **Sección 6. Sur – Este.**

El talud se encuentra ubicado desde el punto de inflexión en el este hasta el próximo punto de inflexión en dirección sur y se localiza en la estación 230 + 87 hasta la 181 + 00. Incluye el contrafuerte sur (estación 400 + 00 a la 405 + 86) dispuesto en la fase 2 y el dique de la cuenca de agua dispuesto en la fase 3. **Ver anexo 2.6.**



**Figura 23:** El talud incluye el contrafuerte sur y el dique de la cuenca de agua.

Presenta una longitud de 596.68 m, el área se caracteriza además por la presencia de surcos erosivos, y destrucción parcial en algunos sectores de la fase 1.

Presenta una pendiente de 13.98 %. Está constituido litológicamente por relleno (formado por laterita y colas), cieno, arcilla muy plástica, sedimentos marinos, arcilla plástica, eluvio de serpentinita y serpentinita muy alterada como en los demás taludes del dique.

El relleno de laterita puede describirse como rojo oscuro a marrón rojizo, suelo laterítico húmedo a mojado derivado de la roca dura extremadamente alterada, en algunos sectores se observa superficialmente el amoníaco contenido en las colas producto a los derrames.

El material de estrato en algunos sectores inferiores del talud se describe como gris, arenoso, grava mojada con adoquines y algunas rocas, típico del material depositado por los flujos de mayor velocidad, probablemente de los canales que pasaron del río Moa. El aluvión grueso está de un estado compactado a muy denso basado en los valores. El material se describe como grava con indicios de arena y cieno.

El área se caracteriza por la presencia de 2 líneas de tubería de transporte de colas activa en la fase 5 y la existencia de múltiples montículos de escombros que no han sido esparcidos ni compactados. De forma general los taludes de la zona no están bien definidos. En el talud de la fase 1 próximo a la vegetación circundante del río

Moa se observan plantaciones de leucaena, moringa y otras. La fauna está representada por mariposas de colores.

Se divisan cárcavas de mediana y gran magnitud, y surcos erosivos profundos. También tuberías abandonadas en las fases 1 y 2.

Se observan varios derrames de colas desde la fase 5 hasta la 1. Existen deslizamientos en masa en el talud de la fase 1 y restos de tuberías abandonados.

En el dique de la cuenca de agua dispuesto en la Fase 3 existen plantaciones de leucaena, yerba fina y nones bien desarrollados. También se observa colas y residuales sólidos así como surcos erosivos y cárcavas de mediana magnitud. **Ver anexo 1.6.**

### **Sección 7. Este – Sur.**

El talud se localiza desde la estación 181 + 00 a la 186 + 00. Presenta una longitud de 512.24 m y pendiente de 7.9 %. **Ver anexo 2.7**

La laterita natural o residual del talud, se encuentra generalmente en la superficie. La laterita es típica de una roca dura extremadamente alterada o suelo residual y se describe de roja oscura, a rojiza marrón, mojada, cieno inorgánico, arcilla, arena y grava ferruginosa cuando se rompe de su estado naturalmente cementado. La laterita residual se encuentra directamente recubriendo la serpentina alterada. **Ver anexo 1.7.**

Las estructuras del manejo de las lluvias (aliviaderos) de las Fases 1 a la 5 están en malas condiciones y esto ha causado continuos desbordamiento de agua contaminada con colas al entorno. En algunos casos el nivel de escorrentía y la influencia de esos derrames han acentuado la magnitud de las cárcavas existentes.

La vegetación del pie del talud de la fase 1 próximo al río Moa se caracteriza por la presencia de nones, cupey, campanita, júcaro, y hierba fina. Existe también una especie de orquídea endémica, marañón y hormigas como representantes de la fauna silvestre. Las aguas del río Moa presentan gran concentración de carbonato amoniacal como consecuencia de los vertimientos indiscriminados del proceso metalúrgico de la fábrica. En la fase 2 y 3 existen grandes cárcavas, numerosos

palos, rocas aisladas y múltiples montículos de desechos sólidos, incluso anillos raschig.

En la fase 5 existen huellas de derrames continuos de agua y colas oscuras y se observan numerosas tuberías, surcos erosivos y rocas. Existe una socavación representativa consecuentemente al derrame.

De forma general las fases del sector no están bien definidas, en las que existe numerosas tuberías abandonadas y chatarra.



**Figura 24:** Derrames de las colas depositadas en la fase 5 del dique.



**Figura 25:** Tuberías abandonadas y procesos erosivos intensos en las fases 3 y 4.

### **Plataforma Central.**

La Plataforma Central se encuentra en la parte superior del dique, ocupando el perímetro de la fase 5 construida a partir de la estación 187 + 50, presenta una longitud de 546.87 m aproximadamente. **Ver anexo 2.8.**

Mediante la salida de 2 líneas de tubería activas y sus respectivas cachimbas, se depositan por un lado colas y por otro aguas residuales de la planta de calcinación, estas últimas a través de la Estación 186. Las colas deberían transitar por las tuberías perimetrales (espigos) según proyecto pero no están funcionando.

Las colas depositadas van de húmedas a mojadas, caracterizadas por ser cieno inorgánico negro con alguna arena y huellas de arcilla que exhiben baja plasticidad. La consistencia es muy blanda en las regiones norte y este del dique y más fuertes

en las regiones sur y oeste. Las diferencias en la resistencia se deben a las prácticas históricas de distribución de colas ya que las colas más gruesas se depositaron más cercanas a los lugares históricos de descarga de simple punto. Las colas de lixiviación amoniacal se consideran como altamente susceptibles a la licuefacción basada en los resultados de las pruebas índice e in situ.

Tanto las colas como las aguas residuales con altas temperaturas desprenden gases dañinos (por la presencia de amoníaco y cobalto) que son expulsados a la atmósfera.

Para estabilizar la superficie del embalse se requiere ante todo que el agua superficial del embalse sea drenada o se le permita evaporarse o que la superficie de las colas se deje secar. La desecación de la superficie debe garantizar la resistencia suficiente para soportar equipos, puede tomar de dos a tres estaciones secas, especialmente para las zonas de lamas. Aunque se han desarrollado métodos empíricos para predecir este tiempo de secado se deben practicar experiencias de campo para la mayoría de los depósitos de colas individuales. Es común que el drenaje de la plataforma continúe uno o dos años (puede llegar a más) después del cierre.

Se observa también que el nivel del agua se eleva, creándose condiciones de inestabilidad y riesgo de colapso. Además el agua ha rebasado el muro en algunas partes, erosionándolo y arrastrando colas fuera de la fase 5, con lo que puede generar un colapso del talud. **Ver anexo 1.8.**





**Figura 26:** Vista panorámica del estado de la plataforma Central.



**Figura 27:** Tuberías perimetrales (espigos) que no están funcionando por las que se transporta las colas.

### **3.2. Impactos ambientales provocados por los tipos de erosión presentes en la presa de colas.**

#### **Impacto por erosión eólica.**

La erosión eólica transporta fuera de sus límites partículas finas de polvo, en ocasiones a decenas de kilómetros, a consecuencia del soplo del viento predominantemente con rumbos del 1er y 2do cuadrantes (entre NNE y ESE) y su velocidad relativamente estable. El área del embalse es susceptible a la erosión del viento por lo que el polvo resulta a menudo un problema, cuando es arrastrado y disperso por la influencia del viento hacía las instalaciones y comunidades que se encuentran cercanas al área de emplazamiento de la presa de colas.

Las colas provocan emanaciones de polvo que recorren grandes distancias afectando el medio ambiente. Los polvos contienen partículas de sustancias corrosivas que no sólo caen directamente a la superficie de los objetos, sino que quedan suspendidas en el aire. Esto alarga la acción de agresividad de la atmósfera. Además se hace contaminante en su inevitable escorrentía por la superficie de las cuencas fluviales. El exceso de polvo procedente de la presa que se deposita sobre las superficies foliares, reduce la actividad fotosintética, lo cual provoca el deterioro y muerte de las especies utilizadas en las parcelas experimentales para la

rehabilitación de los taludes y otras que existían en el área que no eran resistentes a dicha alteración.

A partir de las entrevistas que se tuvieron con los habitantes del reparto Rolo Monterrey se corrobora que la comunidad es vulnerable a las emisiones de polvo provenientes de la presa de colas Ernesto Che Guevara lo que afecta y provoca daños en calidad de vida de las personas, bienes materiales, plantaciones y en la calidad del aire principalmente.

### **Impacto por erosión hídrica.**

De forma general los sistemas de drenajes de la FMCAR se encuentran en malas condiciones por lo que la erosión hídrica ligada a los continuos desbordamientos de agua y de colas líquidas y semilíquidas genera el arrastre de sedimentos hacia los acuíferos libres adyacentes a la presa de residuos mineros. Las condiciones más graves de estrés ecológico en la Bahía de Moa y el río Moa se encuentran fundamentalmente en las zonas donde predominan los fondos fangosos y areno-fangosos, con una biodiversidad muy baja y poca transparencia como resultado del aporte terrígeno ocasionado por el arrastre de sedimentos a los ríos, los escurrimientos de la presa de colas y el régimen hidrológico imperante.

La percolación de las aguas de la presa de colas y de las aguas de lluvias a los taludes a través de fisuras y grietas, provoca el aumento de la presión hidrostática en los mismos, por lo que genera pequeños deslizamientos en algunos sectores de la presa debido a la pérdida de resistencia de los taludes. La contaminación de las aguas subterráneas debido a las filtraciones de las aguas de la presa de colas incorpora elementos nocivos como amoníaco, metales pesados y azufre. Estos elementos en altas concentraciones pueden causar serios daños a los organismos vivos como peces e incluso al hombre, por lo que es de vital importancia el monitoreo de estas aguas.



**Impacto por erosión antrópica.**

En el área de estudio se observa deterioro en el paisaje natural, como consecuencia del movimiento de tierra para la construcción de terraplenes. Las descargas no controladas de las colas al medio permitieron que las mismas fluyan hacia la Bahía de Moa a través de un canal abandonado previamente y provocaron el bloqueo del río de igual nombre. Las colas rebasan los límites de los diques y se originan diversas formas antrópicas de relieve, las cuales contrastan por su color oscuro y estructura con el entorno natural.

Se observa gran cantidad de polvo en el aire debido a la operación de los equipos pesados, lo cual incide negativamente en el mundo biótico.

Los paisajes naturales marinos han sido severamente modificados por la acción antrópica, lo que se manifiesta en una reducción de la superficie de los hábitats naturales, una disminución de la conectividad entre ecosistemas marinos y costeros, lo que ha provocado una pérdida de su singularidad y naturalidad.

**3.3 Sistema de medidas propuestas para el cierre definitivo de la presa de colas.**

Luego de haber realizado la caracterización geólogo ambiental de la presa de colas y haber identificado la situación actual de cada talud, y las principales afectaciones al medio ambiente, se propone una serie de medidas con vista a su cierre definitivo. Para proponer estas medidas se tomaron como guía las normas cubanas que se mencionaron en el anterior capítulo.

Se tuvieron en cuenta medidas generales y específicas para la solución de la problemática de cada uno de los taludes ubicados en las distintas secciones y la plataforma central teniendo en cuenta las situaciones y problemas geólogo ambientales y físico geológicos de la presa de residuos mineros.

**3.3.1 Medidas generales.**

De forma general se proponen las siguientes medidas encaminadas a lograr la estabilidad de los taludes y mejorar el sistema de drenaje.

1. Todos los taludes serán protegidos mediante la plantación de hierba a menos que por las características del suelo, se indique otro tipo de protección de talud.
2. Las posturas a plantar y que conformaran el césped responderán a las características del suelo y de la zona dicha plantación se efectuara una vez que se haya extendido la tierra vegetal sobre el talud que es objeto de protección contra la erosión.
3. Realizar la correcta compactación del material de préstamo para la conformación de las capas de los diques.
4. Conformar los taludes inestables, suavizar el ángulo de las pendientes y garantizar un manejo correcto de las colas, con el fin de evitar rebozos de aguas ácidas.
5. Comenzar la rehabilitación progresiva de los diques.
6. Remodelación y protección de los taludes de la presa de colas para atenuar la acción de la erosión y favorecer la plantación de la cubierta vegetal.
7. Evacuar rápidamente las aguas de lluvias y las aguas de deposición de las colas que escurran de forma ordenada por los canales y aliviaderos diseñados al respecto. Utilizar materiales adecuados para el manejo de las aguas.
8. Garantizar una correcta operación de la descarga de las colas por los espigos.

### **3.3.2 Medidas específicas.**

Conociendo ya las características de cada sección y el estado en que se encuentra cada una se proponen como medidas las siguientes:

#### **Sección 1.**

1. Reconstruir el sistema de drenaje óptimo en la cuneta y en las plataformas de los niveles.
2. Sanear todo el talud y retirar las rocas que se encuentran dispersas.
3. Proteger el talud con geomantas o con materia orgánica y terreno vegetal.

**Sección 2.**

1. Realizar el movimiento de tierra y reconstruir el sistema de drenaje al final del contrafuerte.
2. Limitar la velocidad de los camiones que descargan desechos en el dique durante el transporte por los accesos.
3. Realizar riego con agua periódico y permanente para el control de las partículas en suspensión.
4. Esparcir y compactar el material de desecho de los tanques de petróleo de la Empresa Puerto Moa y crear un sistema de drenaje en la plataforma inferior del contrafuerte.
5. Sanear y propiciar el desarrollo de las plantas existentes con el depósito de materia orgánica en la plataforma de la fase 2.
6. Realizar perforaciones y calas hidrogeológicas para determinar las causas del alto grado de humedad en el oeste de la zona.

**Sección 3.**

1. Reconstruir el talud en varios sectores de la fase 1 por las socavaciones existentes.
2. Utilizar mallas y biorretenedores para detener la erosión.
3. Darle el destino correcto a las tuberías en desuso.

**Sección 4.**

1. Conformar los taludes de cada una de las fases y dar mantenimiento a los caminos en mal estado.
2. Retirar las tuberías inutilizables que provoquen la socavación en los taludes.
3. Proteger los taludes con mallas y biorretenedores.

**Sección 5.**

1. Ejecutar mantenimiento a las tuberías de desagüe deterioradas.
2. Colocar mallas de retención en la fase 4 por la pendiente presente en este talud.

**Sección 6.**

1. Cambiar el material constituyente en el sector donde ocurrieron los deslizamientos en masa.
2. Proteger los taludes con mallas y biorretenedores.

**Sección 7.**

1. Corrección de cárcavas y surcos.
2. Recoger las tuberías en desuso.
3. Aumentar la altura del talud donde hay derrames.

**Plataforma central.**

1. Mantener el espejo de agua para que no se produzcan emanaciones de polvo.
2. Observar el nivel de las aguas y reparar los daños causados por la erosión al muro de contención.

# Conclusiones

**Conclusiones.**

1. El diagnóstico geólogo ambiental realizado en la presa de colas de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara permitió conocer las características físico geológicas presentes y las condiciones geólogo ambientales que afectan actualmente el área de emplazamiento de la misma.
2. En los recorridos realizados por el área se detectó que:
  - Existe riesgo de daño a la infraestructura de la presa de colas actual debido a la inexistencia de aliviaderos, en el área se han desarrollado grandes playas de colas negras a lo largo de la línea costera causando daños a la ecología, y la descarga descontrolada de colas ha provocado el bloqueo total de la desembocadura del río Moa provocando la desviación del mismo.
  - Dentro de los procesos y fenómenos geoambientales que afectan los taludes de la presa de colas se encuentran la erosión hídrica, eólica y antrópica, esto se evidencia por la presencia de cárcavas, socavaciones en los pies de los taludes, surcos erosivos y el transporte de polvo de las fuera de sus límites.
3. Se propone un sistema de medidas generales y específicas de mitigación y control de los impactos negativos ejercidos por el área objeto de estudio sobre el medio ambiente.

# Recomendaciones

**Recomendaciones.**

1. Ejecutar la ingeniería básica para diseñar las medidas de cierre definitivo de la presa de colas actual.
2. Implementar las medidas específicas en cada uno de los taludes.
3. Realizar la rehabilitación técnica y biológica de los taludes que sea incluido en el plan de cierre definitivo.
4. Realizar un estudio de estabilidad sísmica, para confirmar las condiciones geotécnicas de la presa y actualizar el modelo de estabilidad del dique.



# Bibliografía

**Bibliografía.**

Álvarez, J. L. y Chuy, T. (1985): Isoleismal Model for Greater Antilles. Proceedings of the 3rd Internacional Symposium on the Análisis of Seismicity and Seismic Risk. Líblice Castle, Czchoslovaquia, pp 134 – 141.

Arango, E. (1996): Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis en opción al Grado de Máster en Ciencias en el Instituto Politécnico Nacional, México, D. F, 111 pp.

BARRERA S; LARA J. (1998). Geotechnical Characterization of Cycloned Sands for the Seismic Design of Tailings Deposits. 3rd International Congress on Environmental Geotechnics. Lisboa.

BARRERA S; RIVEROS C. (2000). Sand Transport and Placement. Tailings and Mine Waste Fort Collins. Colorado. USA.

BERGER, Antony R. 1998. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature. GSA TODAY. A Publication of the Geological Society of America. Vol 8, N 1. p 3-8.

CAMPOS, Y, 2010. Comportamiento de las propiedades físicas .y la compactación de los materiales que constituyen los diques de la presa de colas de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba. Tesis de diploma. Departamento de geología, ISMM, 2010.

Crozier, M.J. 1986. Landslides. Causes, consequences & environment. Ed. Routledge. London & New York. 252 p.

Formell, F.; Oro, J.R 1980. Sobre los procesos de redeposición del Yacimiento Punta Gorda. Ciencia de la Tierra y el Espacio.

Guevara, I. 2000. Informe de estudio ingeniero geológico del dique de colas de la planta Ernesto Che Guevara. INEL (Empresa ingeniería de proyectos para electricidad de Holguín).

Hernández Columbié T, Guardado Lacaba R (2009). Presas de Relaves Mineros en la Empresa Comandante Pedro Soto Alba, V Conferencia Internacional de

Aprovechamiento de los Recursos Minerales y el Desarrollo Sostenible, CINAREM 2009, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Holguín Cuba Libro de resúmenes.

Hernández C .T, Ulloa C. M, “Impacto ambiental de la ampliación de una presa de colas de la industria cubana del níquel”. Revista Minería y Geología, 2014.

Hernández G; R; 2014. Caracterización geotécnica del dique de la presa de residuos Minero-Metalúrgico de la empresa Cmte. Ernesto Che Guevara. Tesis de diploma, ISMM.

ITURRALDEVINENT,M.A.(1996).Geología de las ofiolitas de Cuba.En:IturraldeVincent, M.(ed).Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba.IGCPProject364.Special contributionn.1,p. 83-120.

INRH (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS) (1986a). Informe sobre la contaminación por sulfatos de la terraza del río Moa.

INRH (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS) (1986b). Informe hidrogeológico sobre las terrazas del río Moa.

Informe de plan de medidas para la actualización del plan de reducción de desastres (FMCY) desarrollado por (GEOCUBA Oriente Sur). 2010.

Informe de cartografía de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos por deslizamientos en el Municipio Moa. Colectivo profesores y estudiantes; Grupo de Gestión y Reducción de Riesgos Geológicos Tecnológicos; ISMMM; 2013.

JUNGHANS M.; HELLING C. 1998. Historical mining, uranium tailings and waste disposal at one site: Can it be managed. A hydrogeological analysis., In BALKEMA (ed.), Proceedings of the International Conference on Tailings and Mine Waste , Fort Collins, CO, USA 26-28 January 1998, 117-126.

KELLER, E.A. (1982) -3a. ed. Environmental Geology.Charles E. Merrill Pub. Company.

Ley 81 de Medio Ambiente; año 1997.

Ley 76 de Minas; año 1994.

Lomtadze, V. D. 1977. "Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería". Ed. Pueblo y Educación, 560 p.

MARKLAND, A; EURENIUS, J. 1976. Stability investigations of an existing tailing dam. 12th International Congress on Large Dams. ICOLD, México, 407-417.

Miller, S; Rennat, E. A; Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de minas. Lima 41, Perú. 1997.

Norma Cubana. 23: 1999. Franja forestal de las Zonas de Protección a Embalses y Cauces Fluviales. (Obligatoria).

Norma Cubana.27: 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado. Especificaciones.

Norma Cubana.31: 1999. Calidad del Suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de Tierra.

Norma Cubana 39: 1999 Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios. Enmienda.

Norma Cubana 521: 2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.

Norma Cubana1020:2014. Calidad del aire — contaminantes — Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (Obligatoria).

OLDECOP, L; RODRÍGUEZ, R (Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros) Instituto de Investigaciones Antisísmicas "Ing. Aldo Bruschi" Universidad Nacional de San Juan Facultad de Ingeniería Av. Libertador (Oeste) 1290 Provincia de San Juan (Argentina). Departamento de Química Facultad de Ciencias Universidad de Girona Campus de Montilivi 17071 Girona (España).

QUINTANA, H. (1998). Diques de estériles. Industria y Minería, 33, 52-56.

RODRÍGUEZ, A. 1998b: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis doctoral. Centro de Información ISMMM.

RODRÍGUEZ, R. (2002). Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, p 17-19.

Sharpe, C.F.S. 1938. Landslides and their control. Academia & Elsevier, Prague. 205 p.

SSNC (2010): Datos instrumentales (1964 al 2010) e históricos (1528 - 2010) del Servicio Sismológico Nacional de Cuba (CENAIIS), Fondos del CENAIIS – CITMA, Santiago de Cuba.

Zapata B. J.A; Rosabal D. Sandra; Y. Estudios sismológicos para proyecto de factibilidad de la presa de en el rio Yagrumaje (Empresa Ernesto Che Guevara), Moa, reporte de investigación, CENAIIS, 2010.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa\\_ambiental](http://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%ADa_ambiental).

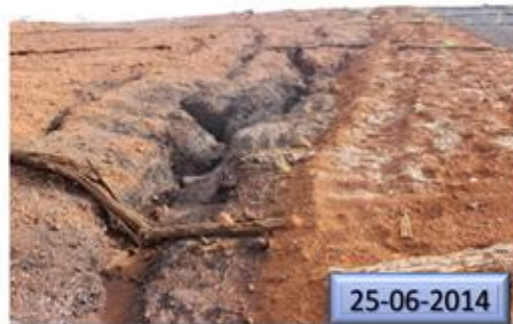
<http://www.ismm.edu.cu>

# Anexos

**Anexos.**

**Anexo 1 Fotos de impactos geólogo-ambientales en la presa de colas.**

**(1.1).Talud Sur Oeste (desde la estación 186+00 a la 196+46).**



**Anexo (1.2).Talud Oeste (desde la estación 196+46 a la 208+80).**



**Anexo (1.3).Talud Nor Oeste (desde la estación 208+80 a la 218+25).**





**Anexo (1.4). Talud Nor Este. Impacto costero.**

**(Desde la estación 218+25 a la 225+90).**



**Anexo (1.5). Talud Este-Norte (desde la estación 225+90 a la 230+87).**



**Anexo (1.6). Talud Sur Este (desde la estación 230+87 a la 181+00).**





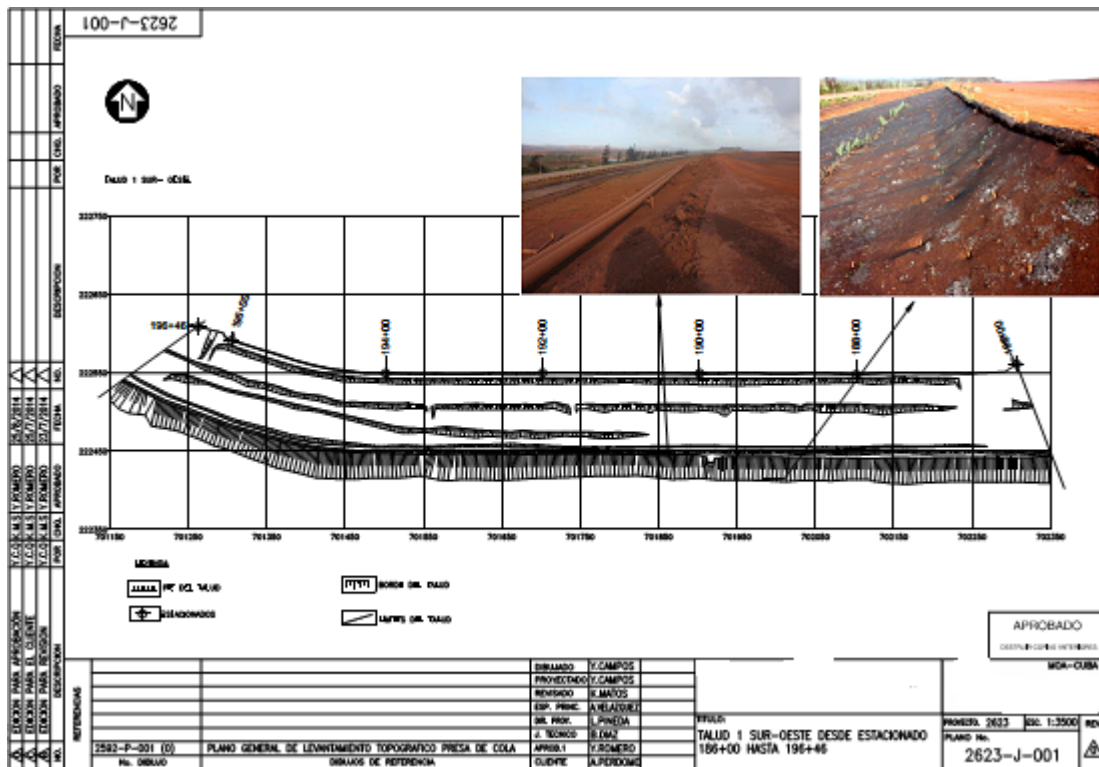
**Anexo (1.7).Talud Este Sur (desde la estación 181+00 a la 186+00).**



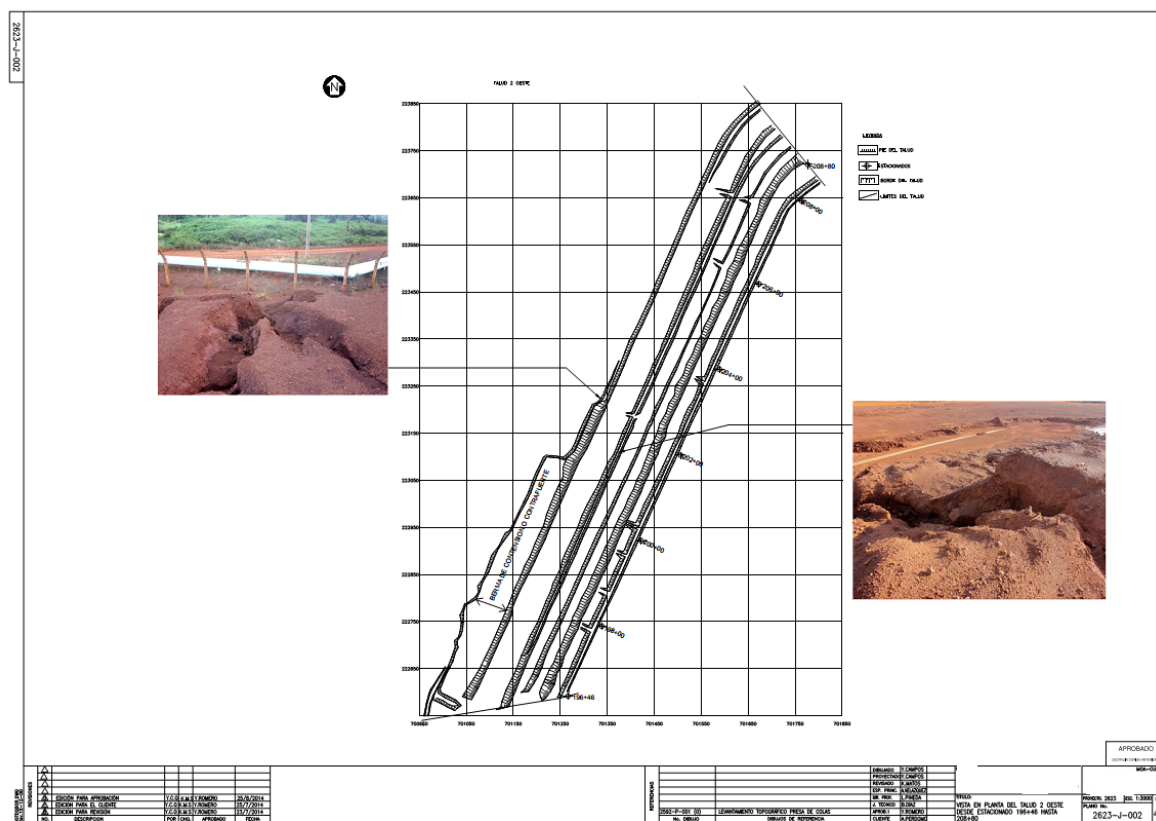
**Anexo (1.8).Plataforma.**



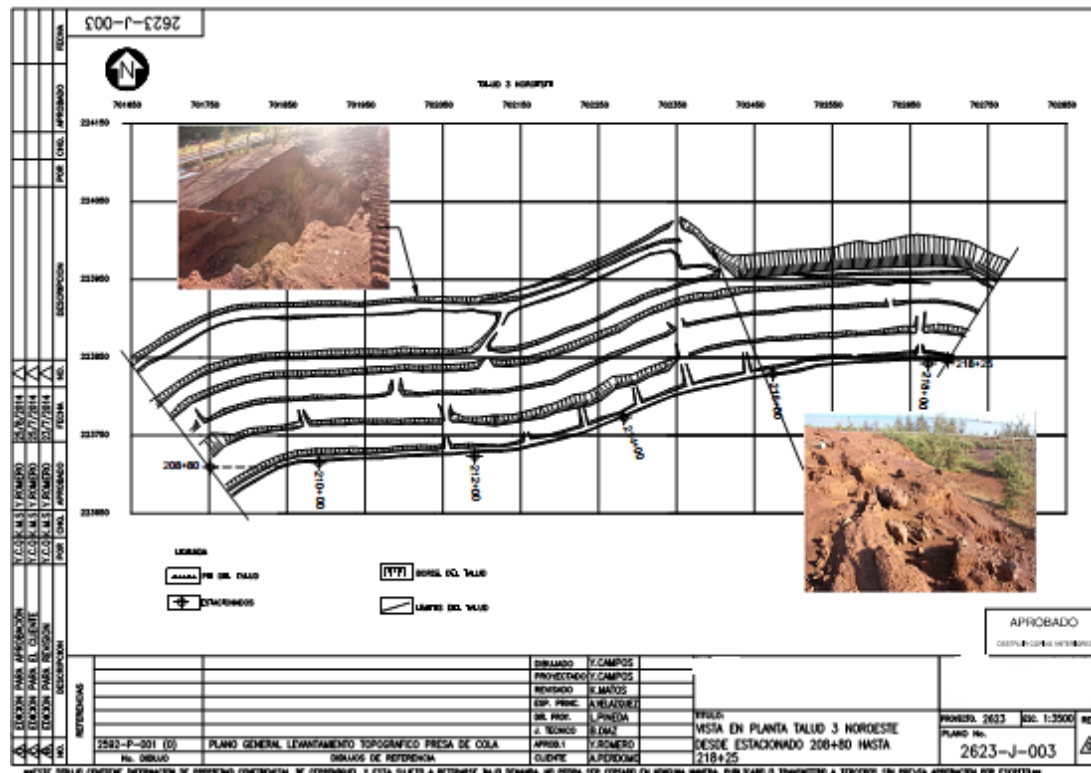
**Anexo 2 (2.1) Plano topográfico 2623 – J – 001.**



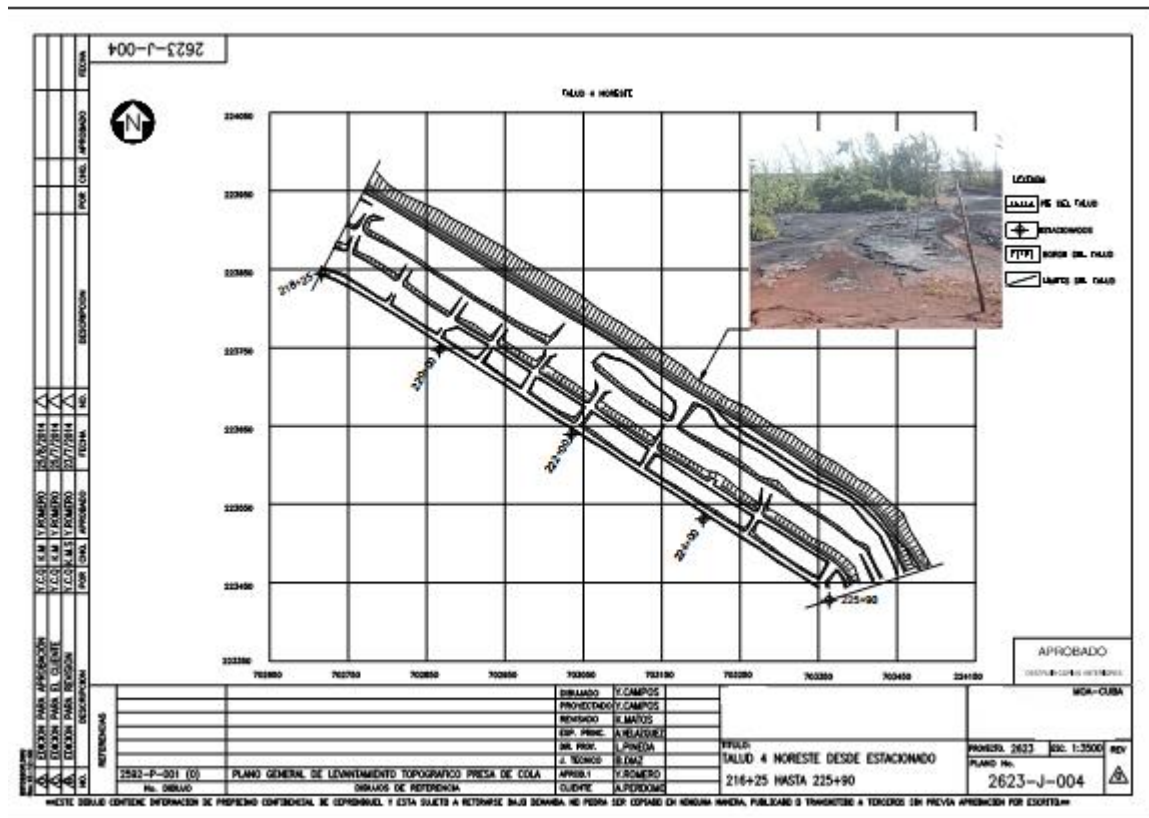
## Anexo (2.2) Plano topográfico 2623 – J – 002.



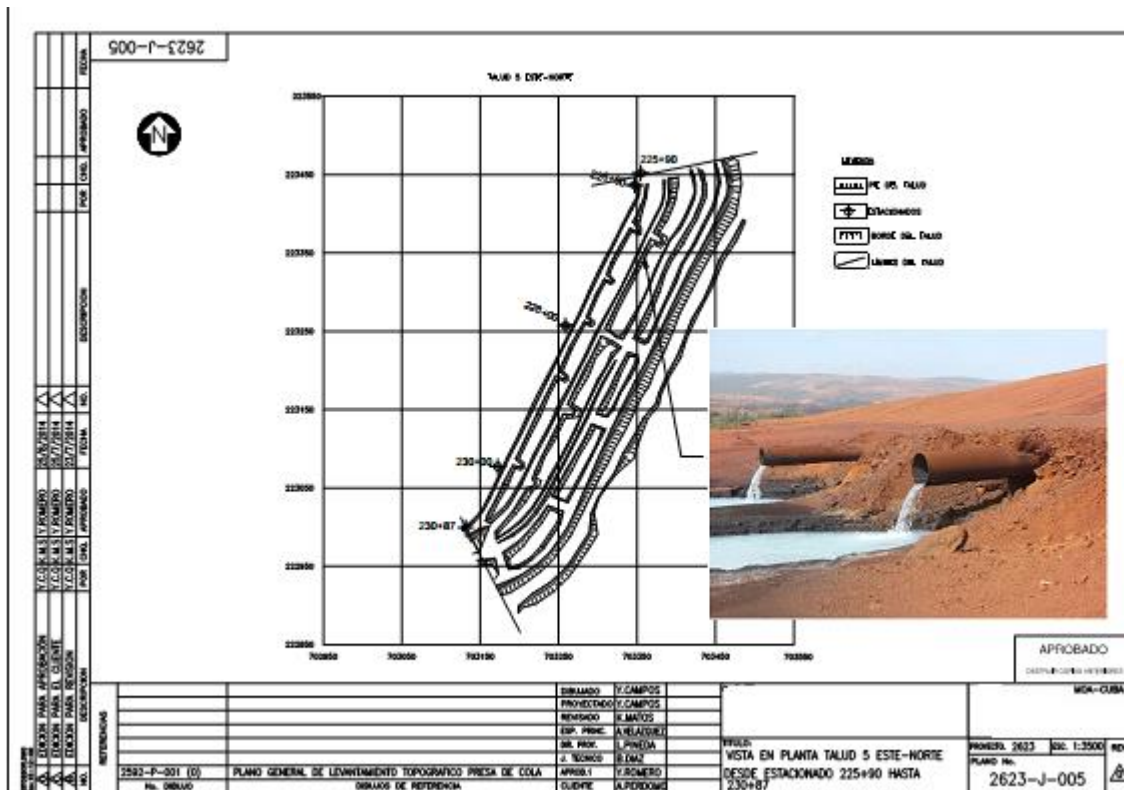
### Anexo (2.3) Plano topográfico 2623 – J – 003.



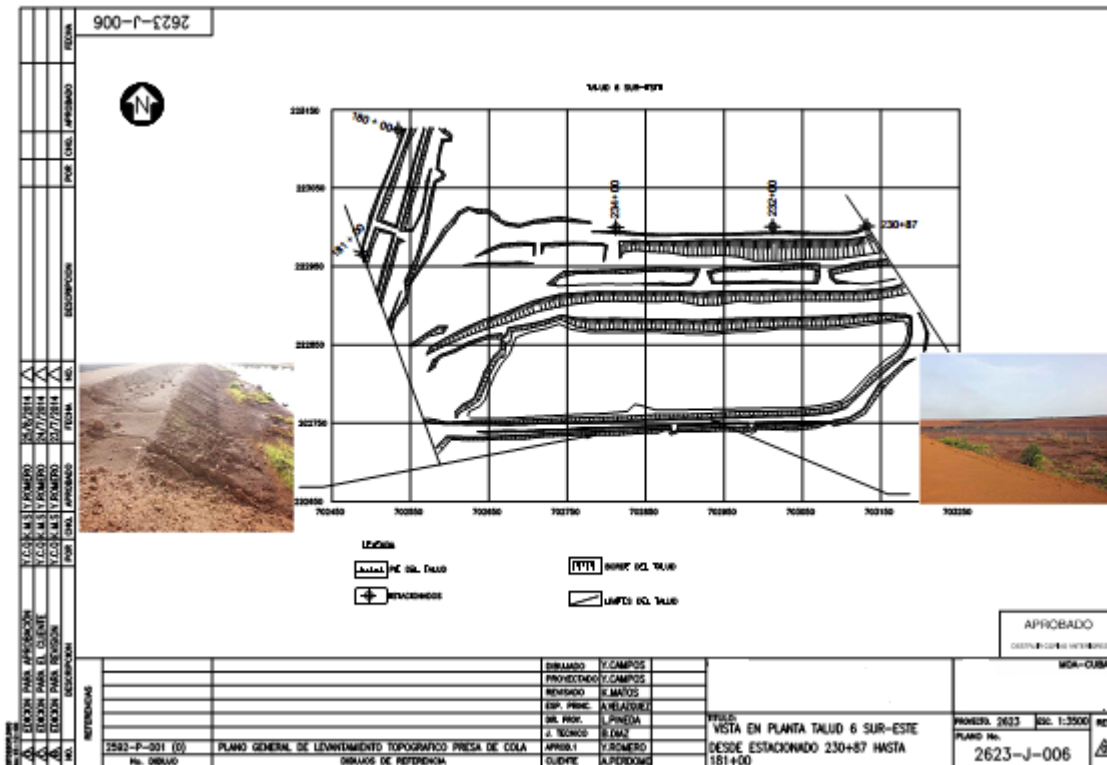
## Anexo (2.4) Plano topográfico 2623 – J – 004.



### Anexo (2.5) Plano topográfico 2623 – J – 005.

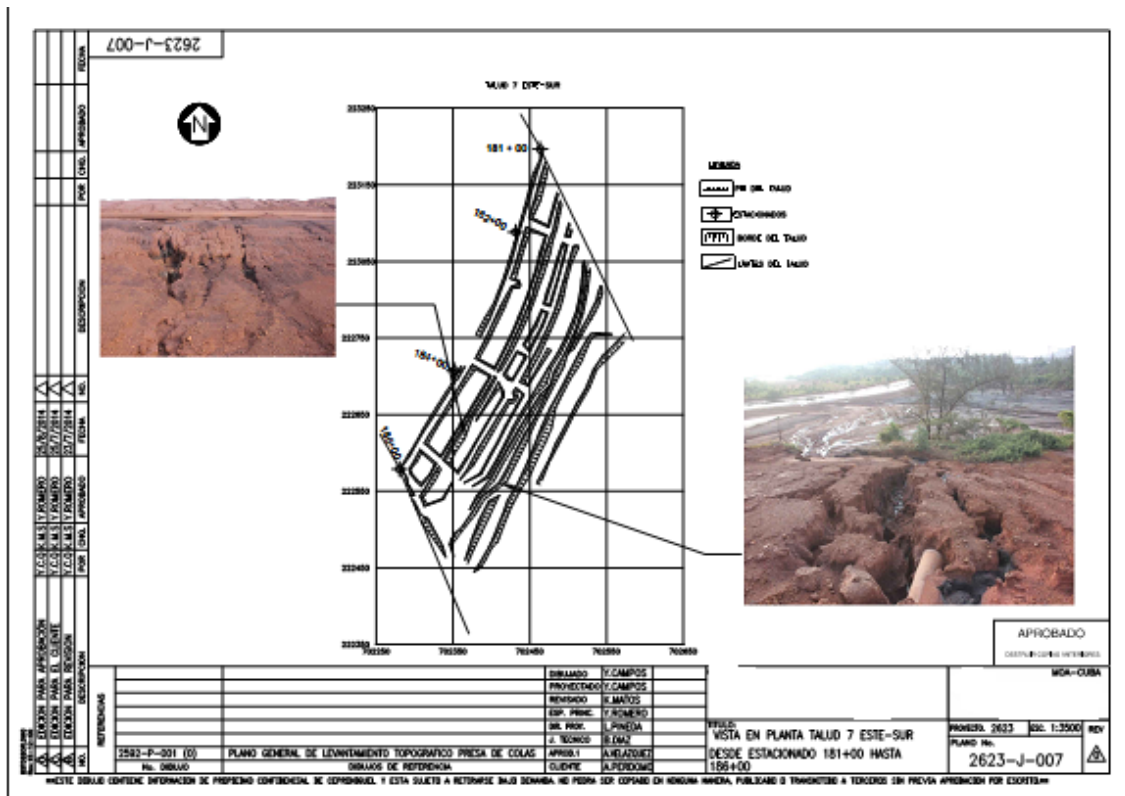


**Anexo (2.6) Plano topográfico 2623 – J – 006.**



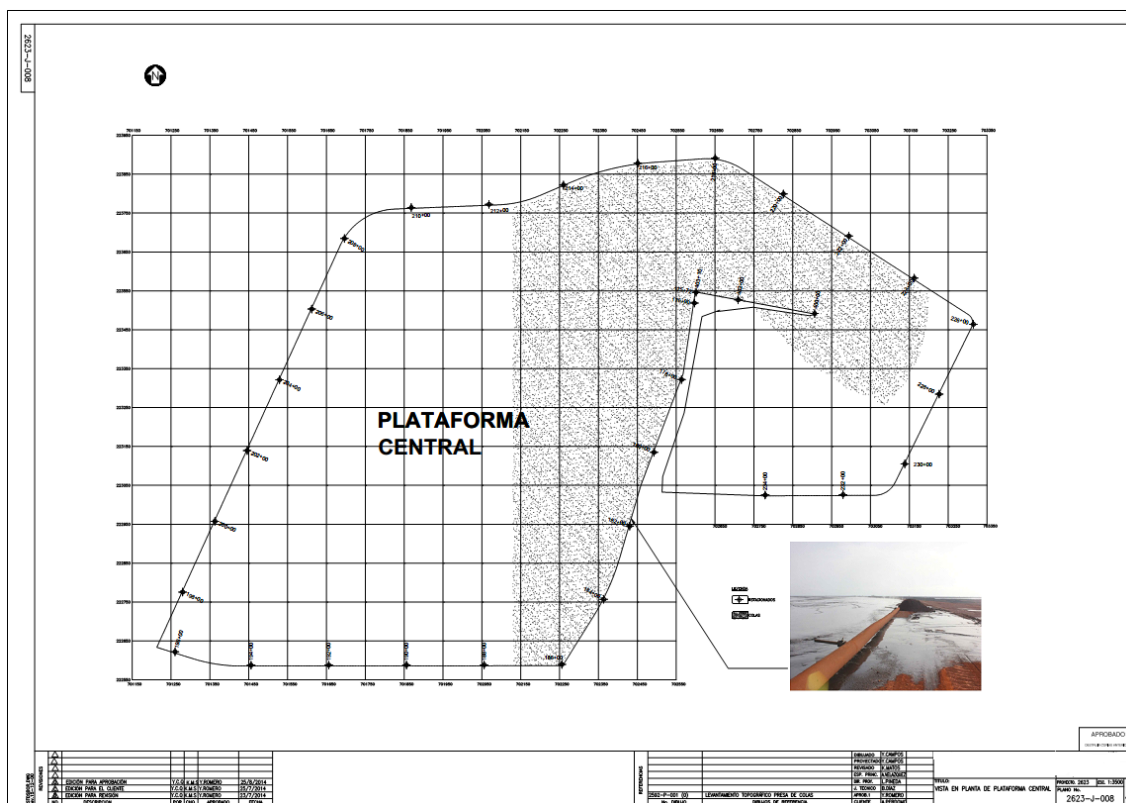


## Anexo (2.7) Plano topográfico 2623 – J – 007.





### **Anexo (2.8) Plano topográfico 2623 – J – 008.**



**Anexo 3. Cuestionario.****Cuestionario a la población de la comunidad o reparto Rolo Monterrey sobre las emisiones de polvo que emite la presa de colas Ernesto Che Guevara.**

Provincia \_\_\_\_\_ Barrio o Comunidad \_\_\_\_\_

1. ¿Qué tiempo lleva viviendo en este lugar? \_\_\_\_\_ años.
2. Si tuviera que evaluar esta zona teniendo en cuenta la vulnerabilidad con relación a las emisiones de polvo provocada por la presa de colas Ernesto Che Guevara cómo la calificaría.

de Alta vulnerabilidad	de vulnerabilidad Media	de Baja vulnerabilidad	No sabe
---------------------------	----------------------------	---------------------------	---------

3. En una escala del 1 al 5 hasta qué punto se encuentra personalmente expuesto al peligro por emisiones de polvo:

1	2	3	4	5

4. ¿Ud. Cree que las emisiones de polvo pueden provocar afectaciones al Medio Ambiente?

Si provoca daños	No provoca daños	No sabe
------------------	------------------	---------

5. ¿Qué elementos son los más afectados con las emisiones de polvo? (Puede marcar más de una)

La población	Las plantas(las cosechas)
El aire	El paisaje
El agua	El suelo
Los animales	todo
Los bienes materiales (viviendas, etc.)	No sabe

6. Si compara este peligro, con otros peligros ambientales como son los ciclones, los incendios forestales, la contaminación por gases tóxicos, los impactos de los deslizamientos le parecen: (Leer alternativas y marcar una sola respuesta)

Más peligrosos que otros problemas	Menos peligrosos
Igualmente peligrosos	No sabe

7. ¿Ud. Cree que las personas que viven en este lugar conocen las afectaciones que pueden provocar las afectaciones que puede generar las emisiones de polvo?

(Puede marcar solo una de las alternativas)

Si conocen bien	No conocen
Conocen, pero no mucho	No sabe

8. Las emisiones de polvo se pueden mitigar:

(Leer alternativas y marcar una sola respuesta)

No se pueden mitigar	A corto plazo
A largo plazo	
A mediano plazo	No sabe

9. Si tuviera que evaluar el riesgo por emisiones de polvo en una escala de 1 a 5 puntos, cómo lo calificaría:

	1	2	3	4	5	
Creciente						Decreciente
Observable						No observable
Catastrófico						No catastrófico
Consecuencias no fatales						Consecuencias fatales
Fácil de reducir						Difícil de reducir
Controlable						No controlable
Inmediato						A largo plazo
Desconocido						Conocido
Temido						No temido
Evitable						No evitable
Reciente						Antiguo

10. ¿Alguien se preocupa por los problemas que ocasionan estas afectaciones?  
(Puede marcar más de una de alternativa)

El gobierno	Otras organizaciones
Las organizaciones barriales	Nadie
Los vecinos	No sabe

11. Conoce Ud. Si alguien o alguna Institución se ocupa estudiar los problemas de las emisiones de polvo?

(Puede marcar más de una de alternativa)

El gobierno	Nadie
Las organizaciones barriales	No sabe
Los vecinos	
Otras Instituciones ¿cuáles?	

12. ¿Qué condiciones harían falta para mitigar los efectos negativos que provocan las emisiones de polvo? En caso de saber menciónelas.

No sabe	

13. ¿Has pensado en alguna sugerencia o propuesta que permita evitar o disminuir estos efectos negativos?

(Si responde **Si**, preguntar cuál y escribir la respuesta completa del entrevistado. Si responde **No** continuar la entrevista)

Si	No
Cuál	

**Para terminar, me podría responder las siguientes preguntas:**

14. Sexo. Masculino \_\_\_\_\_ Femenino \_\_\_\_\_

15. Edad. \_\_\_\_\_ años

16. Nivel de instrucción vencido.

Sin escolaridad	Primaria	Secundaria
Bachiller	Técnico	Superior

17. Situación ocupacional

Ama de Casa	Desocupado
Jubilado o pensionado	Trabajador
Estudiante	No sabe

18. Si es trabajador especifique por favor:

<b>Usted trabaja en el sector :</b>		
Estatat	Privado	cooperativo o mixto
<b>Usted trabaja como:</b>		
obrero	trabajador de servicio	técnico
administrativo	dirigente	

19. Total de personas en el núcleo\_\_\_\_\_ Cuántas trabajan \_\_\_\_\_

**MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN.**

**Anexo (4).****Unidades de medidas utilizadas y terminologías utilizadas.**

Km	Kilómetros
Ha	Hectárea
m	Metros
Af	Húmedo con lluvia todo el año
Aw	Verano muy húmedo
°C	Grado celsius
mm	Milímetro
h/d	Insolación media diaria anual
MJ/m <sup>2</sup>	Régimen de radiación
Km <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
Ms	Magnitud
MSK - EMS	Intensidad
cm	centímetro
Φ Diámetro	Unidad de longitud