



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALÚRGICO DE MOA**

**“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MINAS**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Minas**

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE CIENO  
CARBONATADO EN LA BAHÍA DE CAYO MOA**

**Autor(a): Claudia Evelin Hernández Pérez**

**Moa-2017**



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA**  
**“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE MINAS**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Minas**

**CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE CIENO  
CARBONATADO EN LA BAHÍA DE CAYO MOA**

**Autora: Claudia Evelin Hernández Pérez**

**Tutores: M. Sc. Yaritza Cabrales Caplé**

**Moa-2017**

---

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y por haberme dado las fuerzas y la salud para lograr mis objetivos.

A mi madre y padre por haberme apoyado incansablemente en todo momento, por los valores que me inculcaron, por su motivación constante que me ha hecho una persona más fuerte y mejor, por la perseverancia y la constancia que me han infundado siempre, pero más que nada por su amor y dedicación incondicional a ellos toda mi gratitud.

A mis abuelos por quererme y apoyarme siempre.

A mi novio por estar siempre a mi lado y apoyarme siempre en los momentos más difíciles.

A Virginia Frometa Pellecier y familia por brindarme su apoyo incondicional y por haberme recibido como una hija en su casa.

A Bárbara Ramírez Olmo y familia

A Mariela y familia

A Gustavo Hernández Tamayo y familia

A Yamila Azares Ríos

A mis amistades por el tiempo compartido, por el apoyo mutuo en momentos difíciles de adaptación y en nuestra formación profesional.

A mi tutor M. Sc. Vladimir Roble Lavaceno por su ayuda prestada para la realización de esta tesis.

A mis amistades, familiares y demás personas en mi vida en general a todos ellos gracias por haberme apoyado para llegar hasta aquí.

---

## **Agradecimientos**

A mi madre y padre

A mis abuelos

A mi novio y suegros

A mis amistades más cercanas

A mi tutora M. Sc. Yaritza Cabrales Caplé

A la Dr.C Mayda Ulloa Carcásés y al Dr.C José Antonio Otaño Noguel por su apoyo ofrecido en este trabajo para la culminación de mis estudios y para la elaboración de esta tesis.

---

## **PENSAMIENTO**

“El tiempo es limitado, así que no lo pierdas viviendo la vida de otra persona”

Steve Jobs

---

## RESUMEN

La minería es la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante procesos mineros. La obtención de estos materiales requiere cada vez más de la extracción y procesamiento de materias primas naturales, lo cual conduce al agotamiento de los mismos; y finalmente, al aumento de la contaminación. La minería en alta mar plantea interrogantes acerca de los daños ambientales de las zonas circundantes. Un caso particular es la empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", la cual en el proceso de obtención del producto final emplea una pulpa de Cienos Carbonatados rica en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para neutralizar el ácido libre en exceso que contiene la pulpa lixiviada. Este material es extraído de los arrecifes coralinos situados al oeste de Cayo Moa Grande. Donde los efectos del dragado en la extracción de minerales han afectado el medioambiente. Por esta razón se necesita caracterizar el proceso de extracción de Cieno Carbonatado para determinar las afectaciones ocasionadas por el dragado del material extraído de los arrecifes coralinos. En el desarrollo de la investigación se caracterizó el sistema de obtención de Cieno Carbonatado, se determinó el costo de producción y las afectaciones al medio lo que permitió caracterizar el proceso de extracción del yacimiento. Los resultados de la investigación corroboraron que el dragado en la bahía de Cayo Moa afecta el medio ambiente de las zonas circundantes.

Palabras claves: bahía, yacimiento, ambiente marino, dragado, afectaciones ambientales.

---

## **ABSTRACT**

Mining is the selective extraction of minerals and other materials from the earth's crust. All materials used by modern society have been obtained through mining processes. Obtaining these materials increasingly requires the extraction and processing of natural raw materials, which leads to their exhaustion; And finally, to increased pollution. Offshore mining raises questions about environmental damage in surrounding areas. A particular case is the company "Comandante Pedro Sotto Alba", which in the process of obtaining the final product uses a calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) pulp to neutralize the excess free acid contained in the leached pulp. This material is extracted from the coral reefs located to the west of Cayo Moa Grande. Where the effects of dredging on mineral extraction have affected the environment. For this reason it is necessary to characterize the extraction process of carbonated sludge to determine the effects caused by the dredging of the material extracted from the coral reefs. In the development of the research was characterized the system of obtaining carbonated sludge, it was determined the cost of production and the effects to the medium which allowed to characterize the process of extraction of the deposit. The results of the investigation corroborated that dredging in the bay of Cayo Moa affects the environment of the surrounding areas.

Key words: bay, reservoir, marine environment, dredging, environmental impacts.

---

ÍNDICE	Páginas
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA</b> .....	5
1.1 Antecedentes y actualidad del tema en el mundo .....	5
1.2 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba .....	7
1.3 Aspectos legales del cuidado y preservación de los fondos marinos .....	8
<b>CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE CIENO CARBONATADO DE LA BAHIA DE CAYO MOA</b> .....	11
2.1 Ubicación geográfica y descripción general del área .....	11
<input type="checkbox"/> Geología de la región .....	14
<input type="checkbox"/> Características oceanográficas de la bahía .....	14
<input type="checkbox"/> Nivel del mar .....	15
<input type="checkbox"/> Circulación de las aguas .....	15
<input type="checkbox"/> Circulación en la bahía de Cayo Moa.....	15
<input type="checkbox"/> Hidrología superficial.....	16
<input type="checkbox"/> Condiciones climáticas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<input type="checkbox"/> Condiciones climáticas.....	17
<input type="checkbox"/> Precipitaciones.....	18
<input type="checkbox"/> Propiedades físico-químicas de las aguas .....	18
<input type="checkbox"/> Características mineralógicas .....	19
<input type="checkbox"/> Características morfológicas del fondo .....	20
<input type="checkbox"/> Caracterización de la materia prima.....	20
<input type="checkbox"/> Características litológicas y estratigráficas.....	21
2.2 Caracterización del yacimiento de Cieno Carbonatado de Cayo Moa .....	26
<input type="checkbox"/> Sistema de explotación del yacimiento .....	26
<input type="checkbox"/> Condiciones minero - técnicas .....	26
<input type="checkbox"/> Análisis del proceso tecnológico .....	26



2.3 Residuos generados en el proceso productivo.....	30
2.4 Costo de producción.....	30
<b>CAPÍTULO III. AFECTACIONES AMBIENTALES PRODUCTO DE LA EXTRACCIÓN DEL CIENO CARBONATADO .....</b>	<b>32</b>
3.1 Afectaciones ambientales.....	32
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>45</b>

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del área de estudio.....	21
<b>Figura 2.</b> Yacimiento conformado por Cienos Carbonatados y la arena.....	22
<b>Figura 3.</b> Espesor de Cieno Terrígeno.....	23
<b>Figura 4.</b> Espesor de Cieno Carbonatado .....	24
<b>Figura 5.</b> Espesor de arena.....	25
<b>Figura 6.</b> Excavadora con cuchara de quijada bivalva de 2.5 m <sup>3</sup> .....	27
<b>Figura 7.</b> Material extraído en una patana de carga.....	28
<b>Figura 8.</b> Foso de rechazo de Torre de Preparación.....	30
<b>Figura 9.</b> Escombrera donde se deposita el rechazo generado por la extracción de Cieno Carbonatado .....	33
<b>Figura 10.</b> Modelo del perfil batimétrico I-I´.....	34
<b>Figura 11.</b> Modelo del perfil batimétrico II-II´ .....	35
<b>Figura 12.</b> Ubicación de los perfiles batimétricos utilizados para valorar los cambios geomorfológicos en el fondo de la laguna.....	36

---

---

**ÍNDICE DE TABLAS****Páginas**

<b>Tabla 1.</b> Vértices del área de la concesión minera.....	13
<b>Tabla 2.</b> Características de los sedimentos del yacimiento.....	25
<b>Tabla 3.</b> Características de la pulpa de Cieno Carbonatado.....	28

**ÍNDICE DE ANEXOS****Páginas**

<b>Anexo .1</b> Métodos básicos de minería marina.....	48
<b>Anexo 2.</b> Rechazo generado por Torre de Preparación.....	48
<b>Anexo 3.</b> Grúa LIEBHERR HS873HD.....	45
<b>Anexo 4.</b> Vaciadero temporal.....	45
<b>Anexo 5.</b> Turbidez de los fondos marinos.....	46
<b>Anexo 6.</b> Incremento de sólidos en suspensión.....	46
<b>Anexo 7.</b> Puntos de muestreo de sedimentos en la Bahía de Cayo Moa.....	47
<b>Anexo 8.</b> Esquema tecnológico de Planta de Beneficio.....	47

---

## INTRODUCCIÓN

La minería es la obtención selectiva de minerales y otros materiales (salvo materiales orgánicos de formación reciente), a partir de la corteza terrestre. Todos los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante procesos mineros para su fabricación. Puede decirse que, si un material no procede de una planta, entonces es que se obtiene de la tierra, incluso las otras actividades del sector primario agricultura, pesca y silvicultura, no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar por ello que la minería es la industria más elemental de la civilización humana. La misma siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso resulta imposible que la minería no afecte al medio ambiente, siendo una de las causas fundamentales de degradación medioambiental provocada por los seres humanos.

La minería en el fondo del mar es un proceso de extracción de mineral, los yacimientos se suelen hacer en torno a grandes áreas de nódulos polimetálicos o fuentes hidrotermales activas o extintas a unos 1400 – 3700 m bajo la superficie oceánica, estos depósitos son extraídos utilizando bombas hidráulicas o sistemas de cubeta que llevan el mineral a la superficie para ser procesado, como ocurre con todas las operaciones mineras, la minería en alta mar plantea interrogantes acerca de los daños ambientales de las zonas circundantes. Eliminar partes del lecho oceánico perturba el hábitat de los organismos bentónicos, dependiendo del tipo de minería y de la localización, provocando alteraciones permanentes. Aparte del impacto directo de la minería en la zona, las fugas, derrames y la corrosión alterarían la composición química del área. Las zonas costeras presentan un alto valor ecológico; asociado a la presencia de arrecifes, manglares, humedales y zonas intermareales, que resultan imprescindibles para asegurar la reproducción y cría de multitud de especies marinas, y que son primordiales para el mantenimiento de la biodiversidad del planeta.

---

La ocurrencia de diversos fenómenos naturales, exige el establecimiento de medidas dirigidas a la utilización económica planificada y ambientalmente racional de nuestras costas en correspondencia con la naturaleza de estos recursos y con una proyección encaminada a la protección de sus valores naturales y culturales, su aprovechamiento racional y la adopción de acciones encaminadas a su restauración y mejoramiento.

Cuba, a partir del triunfo de la Revolución presta especial atención a la protección del Medio Ambiente. En la ley No. 81, Ley de Medio Ambiente, incluye entre los recursos marinos protegidos la zona costera y su zona de protección, los fondos marinos y los recursos naturales vivos y no vivos contenidos en las aguas marítimas y sus zonas emergidas y establece los principios generales para su conservación y mejora conforme a la política integral de desarrollo sostenible del país y los principios enunciados en el Capítulo 17 del Programa 21, adoptado en la conferencia de Naciones Unidas , sobre el Medio Ambiente y Desarrollo , celebrada en Rio de Janeiro, Brasil, en junio de 1992.

En este contexto se encuentra el litoral cubano, donde implementar nuevas regulaciones resulta extremadamente difícil, por no contar con los medios financieros necesarios. Si a esta carencia monetaria, le unimos el bloqueo y el legado de errores cometidos en décadas anteriores, nos encontramos con dificultades objetivas que atentan con las posibles soluciones o proyecciones a desarrollar sobre estas zonas.

El níquel desde sus inicios se ha manifestado como uno de los principales rubros de exportación, representado por la Industria Cubana del Níquel, la cual se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación de sus capacidades y modernización de su tecnología, lo que permitirá incrementar su aporte a la economía nacional. En la actualidad, Cuba representa el cuarto lugar en la exportación de níquel superado por países desarrollados como Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

---

Los yacimientos lateríticos constituyen la materia prima para su obtención y aunque en el país se concentran reservas importantes, las producciones mundiales de estos elementos obligan a incrementar el control del proceso metalúrgico para poder competir en el mercado internacional con productos de alta calidad. Un caso particular es la empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, la cual en el proceso de obtención del producto final emplea una pulpa de Cienos Carbonatados rica en Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para neutralizar el ácido libre en exceso que contiene la pulpa lixiviada. Este material es extraído de los arrecifes coralinos situados al oeste de Cayo Moa Grande, donde los efectos del dragado en la extracción de minerales han alterado la geomorfología del fondo, la composición química del agua y la destrucción de los organismos bentónicos. En consecuencia, con lo antes expuesto, se necesita una solución que resuelva tal problemática, lo que constituye la situación problemática de la investigación, fundamentado en la misma se fórmula como **problema** la necesidad de caracterizar el proceso de extracción del Cieno Carbonatado de la Bahía de Cayo Moa y su conversión en Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Objeto de estudio:** las características de obtención del Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Objetivo general:** caracterizar el proceso de extracción de Cieno Carbonatado de la Bahía de Cayo Moa para determinar las afectaciones ocasionadas por el dragado del material extraído de los arrecifes coralinos.

**Campo de acción:** yacimiento de Cieno Carbonato de la Bahía de Cayo Moa.

**Hipótesis:** si se caracteriza el proceso de obtención del Carbonato de Calcio del Cieno Carbonatado de la Bahía de Cayo Moa, se determina su costo de producción, se identifican las afectaciones ambientales producto de la extracción, entonces es posible la caracterización del proceso de extracción.

---

### **Objetivos específicos:**

1. Realizar una caracterización geológica del yacimiento.
2. Caracterizar el sistema de obtención del Cieno Carbonatado.
3. Determinar el costo de producción.
4. Determinar las afectaciones ambientales producto de la extracción del Cieno Carbonatado.

### **Para la realización del trabajo se utilizan los métodos teórico y empírico de la investigación científica:**

➤ Dentro de los métodos teóricos:

Análisis y síntesis: en procesamiento de la información obtenida a partir de la revisión de la literatura, documentación especializada y la experiencia de especialistas.

Inductivo - deductivo: Para la caracterización del Carbonato de Calcio utilizado como neutralizador en el proceso de lixiviación ácida a presión y la interpretación de los resultados obtenidos.

➤ Dentro de los métodos empíricos:

Se utilizó la observación para de manera consciente y planificada percibir visualmente las afectaciones al ecosistema de la región producto del dragado de la extracción de minerales de los arrecifes coralinos situados al oeste de Cayo Moa Grande.

---

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA**

### **Introducción**

Las afectaciones al fondo marino producto de la extracción de Cienos Carbonatados es un tema abordado en la bibliografía especializada. Para el estudio del tema se hizo necesario el análisis y procesamiento de la bibliografía existente atendiendo a los principales aspectos relacionados con el tema.

Este capítulo tiene como objetivo ofrecer el problema de las afectaciones producto de la extracción en el lecho marino, de modo, que pueda servir como referencia en los esfuerzos por contrarrestar el problema en Cuba, principalmente en la zona niquelífera moense.

### **1.1 Antecedentes y actualidad del tema en el mundo**

Se aprecia que las afectaciones en los fondos marinos es un problema que engloba además de algunos sectores de la sociedad actual, el sector de la minería. Es del conocimiento que la sociedad no tiene una buena aceptación por la industria minera, y por consiguiente las afectaciones que ocurren en el lecho marino causado por la extracción minera, son asumidas por administraciones que tienen el punto de mira en la gestión que realizan las empresas por su cuidado y protección.

En estudios realizados (Escobar, 1997), plantea que existe evidencia que señalan que los impactos al ambiente marino son producidos por la operación del vehículo minero, alterando la capa superior de los sedimentos, apelmazando y fragmentando la capa más dura subyacente, produciendo cambios en la morfología del fondo y en el equilibrio de los sedimentos superficiales. Los efectos son inmediatos, las comunidades de organismos bentónicos son aplastadas y los daños a largo plazo afectan también el comportamiento y las relaciones de los organismos.

El impacto físico más grave de la minería marina son las alteraciones del suelo marino causadas por la extracción (Azcuay, 2010), esta alteración de la morfología y de la composición del fondo marino implica la reestructuración total de éste. Ello se debe a los procesos naturales de clasificación que tienen

---

lugar al sedimentarse las partículas residuales de tamaño excesivo, las colas y, en caso dado, los desmontes.

En investigaciones realizadas por (Levin, 2012), identificó que el principal impacto del dragado surge de la substracción física de todo el fondo marino, ya que causa la muerte de todos los organismos asociados al fondo marino, dejando lo que efectivamente es un desierto subacuático. Los fondos arenosos y pastos marinos son ecosistemas muy diversos que contienen en ellos especies claves como algas, rayas, estrellas, erizos, e invertebrados entre otros, y cumplen funciones tan importantes como lo hacen los arrecifes coralinos y el manglar. El segundo impacto significativo, son las plumas de sedimentación que se generan con el dragado. Durante el proceso de remoción del fondo marino se genera el levantamiento de partículas de pequeño tamaño que, así como el polvo en el aire, son levantadas y suspendidas en la columna de agua, y luego se sedimentan tanto en el lugar de dragado, como en el área adyacente, creando lo que se conoce como pluma de sedimentación. Las plumas de sedimentación son un riesgo a la vida marina ya que estos altos niveles de sedimentos tienden a ahogar a las especies, afectando todas las comunidades de fondo de la zona, como los arrecifes coralinos. El tercer gran impacto está relacionado con los sólidos suspendidos en la columna de agua, estos, son levantados en el proceso de dragado, solo que al contrario de los sedimentos, se mantienen suspendidos en el agua por largos períodos de tiempo. La presencia de estas partículas disminuye la penetración de luz en el agua, causando que organismos que requieren de esta, para la fotosíntesis no puedan obtenerla, y mueran, tales como las algas y los corales, aunque algunas especies de corales parecen ser más sensibles que otras a altos niveles de turbidez o sedimentación.

La realización del dragado causa efectos tan devastadores que escasamente se recupera parte de los ecosistemas de la bahía; este proceso en ocasiones incluye técnicas de uso de dinamita, donde muchas especies desaparecen como resultado de esa obra, ecosistemas como los pastos marinos y fondos arenosos son removidos y junto con ellos toda su biodiversidad, sin embargo, el alto impacto ambiental sobre los ecosistemas marinos se debe a que el



---

dragado es un proceso que consiste en remover todo el material del lecho marino, movilizándolo y recogiendo los sedimentos arenosos para depositarlos posteriormente en otros lugares. Durante dicho proceso se realiza la excavación, transporte y disposición de material blando del fondo, causando varios impactos desfavorables en las especies y ecosistemas marinos, algunos temporales, otros permanentes, y muchos irreversibles, especialmente cuando se realiza en hábitats sensibles como los arrecifes coralinos, pastos marinos o manglares (Muñoz, 2016).

## **1.2 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba**

Los primeros estudios referenciados se remontan a (Correa 1957), quien realizó un estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al oeste de Cayo Moa Grande, para la evaluación y uso posterior del mismo.

En la década de los 60 se inicia la extracción de los Cienos Carbonatados (denominados en esa época “coral” o “fangos coralinos”), en 1964 el Centro Coordinador para el Desarrollo del Norte de Oriente, solicita al Instituto Cubano de Recursos Minerales (I.C.R.M.) la realización de estudios de localización y ubicación de las reservas de “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

(Nedved, 1966), presenta el informe final de los trabajos de búsquedas de fangos coralinos, donde se tomaron diferentes muestras evaluándose en las mismas el contenido de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

El equilibrio dinámico en las zonas costeras a menudo se ve afectado por la acción natural o antropogénica que provoca cambios en la intensidad de los procesos de erosión y sedimentación, modificándose la configuración de la línea de costa. La región nororiental de Cuba no está exenta de estos cambios, específicamente en Cayo Moa Grande, al noreste de la ciudad de Moa donde se registran transformaciones geomorfológicas principalmente en los últimos 50 años, (Menéndez, 2001).

En el fondo de la bahía predominan sedimentos clásticos friables cuaternarios de carácter biodetrítico y terrígeno. La litología está representada por cuatro

---

horizontes, de abajo hacia arriba: Arena calcárea, Cieno Carbonatado Arenoso, Cieno Carbonatado Limoso y Cieno Terrígeno (Azcuy, 2001).

La Bahía de Cayo Moa, situada al noreste de la provincia de Holguín, ha sufrido en sus costas una gran alteración debida a la actividad minero-metalúrgica. Tales alteraciones tienen su origen desde mediados del siglo pasado y se han incrementado con el desarrollo industrial y urbano de la ciudad de Moa.

El origen de los sedimentos está asociado a la barrera arrecifal que bordea todo el sector costero y al aporte de sedimentos de las principales corrientes fluviales del entorno que descargan en la laguna costera, donde el régimen de corrientes está regido por el efecto de la marea, observándose un movimiento predominante de dirección oeste durante el período llenante y hacia el este durante el vaciante, aunque este último con menor intensidad. Esto implica que gran parte de los sedimentos arrastrados por los ríos y la escorrentía lleguen a la bahía y se depositen en el entorno costero (Cervantes, 2011).

### **1.3 Aspectos legales del cuidado y preservación de los fondos marinos**

En el mundo es grande la preocupación sobre el manejo de la extracción minera en los fondos marinos. Muchos son los países que han establecidos decretos y leyes que tratan el tema de la explotación de los fondos oceánicos para la minería. Dentro del ámbito internacional Cuba es firmante en el manejo de los recursos mineros del mar, para ello se llevan a cabo una serie de tratados y acuerdos en materia ambiental.

El Convenio de Río de Janeiro sobre Biodiversidad pone de manifiesto propuestas para las naciones ante el desarrollo sustentable de la protección de la biodiversidad, con énfasis en los beneficios provenientes de la conservación y aprovechamiento de la diversidad biológica que sirve de sustento al desarrollo de los pueblos. La regulación de marcos regulatorios genera incentivos para la conservación y el uso sustentable de los recursos biológicos existentes, además de reducir considerablemente la pérdida de especies. La aplicación de la convención sobre la diversidad biológica y la reducción significativa del ritmo actual de empobrecimiento de la biodiversidad aumenta

---

el suministro de nuevos recursos financieros y técnicos a los países en desarrollo, a fin de mantener o restablecer las reservas a un nivel que permitan obtener un rendimiento máximo sostenible.

El Convenio de Basilea sobre desechos peligrosos expone que sus principales objetivos son: reducir al mínimo, controlar estrictamente los movimientos transfronterizos de desechos y eliminarlos de manera ambientalmente racional, reducir al mínimo la generación de residuos peligrosos tanto en términos de cantidad como de peligrosidad y eliminar los residuos peligrosos tan cerca como sea posible de la fuente de generación.

El Convenio para la Prevención de la Contaminación del Mar por vertimiento de desechos y otras materias, conocido como Londres 1972 plantea que el medio marino y los organismos vivos son de vital importancia para la humanidad y que es de interés común el utilizarlo de forma que no se perjudiquen ni su calidad ni sus recursos. La capacidad del mar para asimilar los desechos y convertirlos en inócuos, y sus posibilidades de regeneración de recursos naturales no son ilimitados. De acuerdo a la conformidad con la carta de las Naciones Unidas y los principios del Derecho Internacional, los estados tienen derecho soberano de explotar sus propios recursos según su propia normativa en materia de medio ambiente y la responsabilidad de asegurar que las actividades que se realicen dentro de sus jurisdicciones o bajo su control no causen daño al medio ambiente de otros estados o al de zonas situadas fuera de los límites de la jurisdicción nacional. La contaminación del mar tiene su origen en diversas fuentes tales como vertimientos y descargas a través de la atmósfera, los ríos, los estuarios y tuberías, siendo importante que los estados utilicen los mejores medios posibles para impedir dicha contaminación y elaboren productos y procedimientos que disminuyan la cantidad de desechos nocivos que deben ser evacuados.

Por otra parte, la Constitución de la República de Cuba en su artículo sobre la Protección del Medio Ambiente después de la Cumbre de Río con su artículo No. 27, 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 ley 76 de Minas de enero de 1995 establece en sus artículos 40 y 42 que todos los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios de impactos derivado de la actividad minera en los términos que establece la legislación.

A pesar de que en Cuba existen las legislaciones que establecen las normativas sobre minería y medio ambiente, son todavía insuficientes las labores relacionados con las afectaciones que causa la minería sobre el lecho marino lo cual es una insuficiencia que necesariamente debe ser tratada en un futuro inmediato.

---

## **CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE CIENO CARBONATADO DE LA BAHIA DE CAYO MOA**

### **Introducción**

La empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, es una concesión minera perteneciente a la Industria Cubana del Níquel en la provincia Holguín. Entre sus objetivos fundamentales se encuentra la obtención final de los sulfuros (Ni + Co) que en el proceso de obtención de este producto se emplea una pulpa de Cienos Carbonatados rica en Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para neutralizar el ácido libre en exceso que contiene la pulpa lixiviada. La explotación de los Cienos Carbonatados es un servicio que la empresa Moa Nickel S.A. tiene contratado a la empresa Puerto Moa del grupo empresarial Cubaníquel la cual es la encargada de los procesos esenciales de la actividad minera como, extracción y transporte del mineral hasta la Planta de Beneficio.

### **2.1 Ubicación geográfica y descripción general del área**

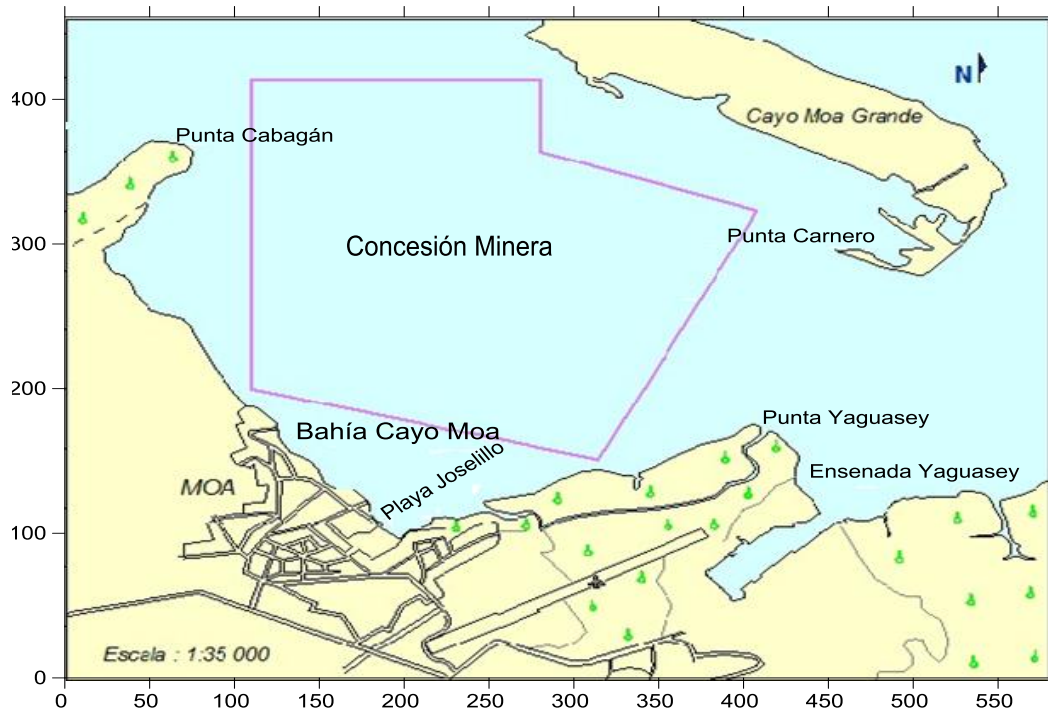
El yacimiento se localiza en el interior de la Bahía de Cayo Moa al sur de Cayo Moa Grande conformada por varias ensenadas, siendo las más destacadas las de Cayo Moa (donde se localiza la zona de interés), Yaguasey, Coco y Yagrumaje. El acuatorio está limitado al norte por una extensa barrera de arrecifes coralinos que en ocasiones velan dentro de los cuales emergen los cayos Moa Grande y Moa Chico, únicos territorios insulares del litoral norte de Cuba a una distancia de tres a cuatro kilómetros de la línea de costa. Por el sur, la bahía se encuentra rodeada por llanuras que se extienden desde la costa hasta las cotas de +100 m, pasando bruscamente a las alturas. Toda esta zona se encuentra dentro del distrito de las montañas del noreste de Oriente, el cual se encuentra conformado por alturas de origen tectónico erosivo. El área de la concesión minera abarca una extensión de 8.05 km<sup>2</sup>, aledaña a la franja costera, desde punta Cabagán por el oeste, hasta las proximidades del canal del puerto de Moa por el este y desde la línea de la costa de la región emergida adyacente por el sur, hasta las cercanías a Cayo Moa por el norte. La bahía es del tipo abierta, aunque el intercambio de las aguas con el mar abierto se encuentra limitado pues la acción del oleaje y

---

corrientes litorales del océano siendo interrumpida por la barrera arrecifal, provocando que el acuatorio constituya una zona de sedimentación o trampa natural de la plataforma, donde descargan sus volúmenes de agua y sedimentos terrígenos las corrientes fluviales de la región, cuya red hidrográfica presenta un sistema fluvial denso y bien definido que ocupa un área de 288 km<sup>2</sup> y una longitud de 42 km desde su nacimiento a una altura de 1160 m hasta su desembocadura en el mar.

Presenta un canal de entrada de 400 - 500 m de ancho y 40 m de profundidad, la que va disminuyendo hacia el interior donde se aprecia un cañón natural con ancho variable entre 200 - 700 m y profundidades entre 10 - 20 m. A este canal de entrada le sigue un canal de acceso a la dársena, ambos artificiales construidos en la década del 50, donde se ubica el puerto de Moa. En ambos dragados se ha observado en el transcurso del tiempo una fuerte sedimentación que ha hecho necesario el dragado de restitución en varias ocasiones.

La costa de la región se caracteriza por su regularidad, sobresaliendo algunos promontorios que constituyen prolongaciones de la línea de costa, los que constituyen las puntas Yaguasey, Coco, Fábrica y Río Moa. Predomina el tipo de costa baja pantanosa con vegetación de mangle, encontrando costa de playa arenosa solamente en el tramo litoral entre la desembocadura del Río Moa y punta La Fábrica.



**Figura 1.** Ubicación geográfica del área de estudio

**Tabla 1.** Vértices del área de la concesión minera

Vértices	X(m)	Y(m)
I	700500	226 500
II	69 9400	224400
III	697000	225000
IV	697000	227600
V	699000	227600
VI	699000	227000

---

- **Geología de la región**

Se corresponde con la Unidad Tectónica de Oriente, conformada por rocas de origen básico y ultra básico fundamentalmente serpentinas y peridotitos cubiertas por cortezas de intemperismo ferroniquelíferas que son explotadas industrialmente. Al sur de Moa aparece una zona conformada por esquistos, al oeste aparecen rocas de origen volcánico (tobas y piroclásticas) y al norte formaciones calcáreas de origen marino. En la región predomina el escurrimiento superficial sobre el subterráneo condicionado por el régimen de precipitaciones, el grado de pendientes y las características de la corteza de intemperismo.

- **Características oceanográficas de la bahía**

La bahía constituye un acuatorio separado del Océano Atlántico por Cayo Moa Grande y una barrera de bajos fondos que limitan el intercambio al primer metro de profundidad. Presenta varios canales de acceso y fuerte influencia de las aguas oceánicas adyacentes, la principal vía de comunicación con mar abierto es un canal (Quebrado de Moa) orientado al NNE, cuyas profundidades alcanzan los 18 m, a través de él se incorporan a la bahía el grueso de los flujos encargados de renovar las aguas de la bahía, también presenta fuerte influencia de los escurrimientos fluviales y de las zonas bajas aledañas a la bahía. A través del río Moa se descargan mayoritariamente las sustancias contaminantes y azolves que llegan a la bahía.

Por su ubicación, características del relieve y características geomorfológicas de su geografía, se comporta como un estuario en el entorno de los efluentes fluviales. Las variaciones térmicas de las aguas en este acuatorio están influidas fundamentalmente por factores tales como la radiación solar, la profundidad, la geomorfología, la velocidad y dirección de los vientos, así como el régimen de lluvias. En toda la bahía se observa un gradiente vertical de estos parámetros hidrológicos que demuestra la presencia en la superficie de las aguas menos densas y salinas provenientes del escurrimiento terrestre y aguas con características oceánicas en las capas inferiores.



---

- **Nivel del mar**

El carácter de la marea en la localidad es mixto semidiurno de tipo sinódico, presentando diariamente dos pleamares y dos bajamares con defasajes en amplitud y tiempo entre dos mareas consecutivas. Estas mareas responden fundamentalmente a las fases de la Luna, variando en amplitud a lo largo del mes en concordancia con las mismas. Las mayores mareas ocurren cuando la Luna se encuentra en las fases de Luna llena o nueva; cuando esto sucede, y a la vez el astro está en máxima declinación o próximo a ella, o en perigeo, o en ambos casos simultáneamente, las mareas resultan aún mayores. Las menores mareas suceden durante las fases de cuadratura, y son un poco más pequeñas cuando la Luna está en el plano del Ecuador.

- **Circulación de las aguas**

Las corrientes marinas en las aguas próximas a la costa se generan fundamentalmente por la acción combinada del viento, la marea y las corrientes del mar abierto adyacente, siendo afectadas por la topografía del fondo, la configuración de la línea costera y por el escurrimiento de agua dulce y las correspondientes anomalías pícnicas espaciales que pueden aparecer en determinadas épocas del año.

Las velocidades de las corrientes se presentan débiles en el interior de la bahía fluctuando entre los 5-15 cm/seg, produciéndose las mayores intensidades a media marea y las mínimas durante los paros de marea. En respuesta al viento predominante del este, las intensidades de las corrientes durante las vaciantes son mayores que durante la llenante, produciéndose en ocasiones de persistentes vientos la ausencia del cambio de sentido de la corriente superficial. Todo lo planteado, unido a la configuración del litoral y la morfología de los fondos, provoca que el movimiento neto de las aguas en la región sea hacia el oeste con velocidades entre 3-5 cm/seg.

- **Circulación en la Bahía de Cayo Moa**

Los esquemas de circulación en las diferentes fases de marea, según los datos existentes, parecen mostrar cierta tendencia a producir flujos de entrada de agua por el extremo oriental de la ensenada y salida por su extremo occidental

---

durante el semiciclo de bajamar, mientras que durante el semiciclo de pleamar se produce exportación de aguas por todos los accesos a la bahía. En cuanto a la circulación residual, por el extremo occidental de la ensenada parece producirse una salida neta de aguas por sobre la barrera de bajos fondos que unen a punta Cabagán con Cayo Moa Chico. Por su parte el extremo oriental, muestra un flujo residual hacia el este. Para que se resuelva adecuadamente el balance hídrico de la cuenca, debe producirse una entrada de agua importante que, según la configuración de la zona y su régimen de vientos, ésta debe caracterizarse por flujos residuales estables de una fuerte componente hacia el oeste.

De ser así, entre punta Yaguasey, en tierra firme y punta Pájaro, en Cayo Moa Grande y bajo la persistente acción de los vientos del primer cuadrante característicos de la región, debe producirse una importante entrada de aguas. Esta debe encontrar salida por la porción occidental de la bahía, sin embargo, la existencia de una barrera de bajos fondos entre punta Cabagán y Cayo Moa Chico, debe limitar considerablemente el área de intercambio efectivo entre el interior y el exterior de la bahía por ese paso, y como consecuencia, debe obligar al flujo excedente a buscar salida por algún otro lugar. Este escape puede producirse por uno de los canales situados al norte y al sur del bajo Yaguasey, o bien por ambos, a una profundidad determinada de la columna de agua.

- **Hidrología superficial**

En la zona adyacente al área de la concesión minera no se localizan redes fluviales importantes, excepto hacia el oeste, donde desemboca el Río Moa, el cual tiene una importancia significativa por el volumen de contaminantes y de carga terrígena que aporta a la bahía, lo afecta la composición químico-mineralógica y la textura de la materia prima por el alto índice de contaminantes sólidos y líquidos que aporta al mar, y que son esparcidos por las corrientes. En toda el área existen condiciones óptimas para la formación del escurrimiento superficial, determinada por el significativo régimen de precipitaciones en la región y su homogénea distribución espacio - temporal.

---

El drenaje es por lo general dendrítico y en ocasiones angulares, debido al control tectónico; los valles forman profundos cañones en forma de (V) con fuertes pendientes, los que se hacen más amplios y profundos a medida que aumenta el orden de las corrientes; los perfiles de los ríos son muy abruptos, con frecuentes rupturas de pendientes que forman saltos de agua de hasta algunas decenas de metros en los tercios medios y superiores.

En general la lámina de escurrimiento fluvial se corresponde con altos valores de precipitaciones en el área, pues se acerca o supera en todos los casos los 1000 mm. En todos los ríos de la zona los valores del módulo de escurrimiento son altos (30 y 35 l/seg/km<sup>2</sup>), en función de la homogénea distribución de las precipitaciones. Todos los ríos que drenan el área, corren en general de SSW a NNE y descargan directamente al mar en la costa norte. Los caudales máximos de estos en la zona se han registrado durante el paso de tormentas ciclónicas. Durante la ocurrencia de eventos similares los caudales máximos pueden superar en 200 veces al caudal medio anual calculado, lo que incide en el ambiente de bahía no sólo por el volumen de agua, sino por la gran cantidad de sedimentos que arrastra hacia esta.

- **Condiciones climáticas**

El municipio de Moa, en el NE de la provincia de Holguín, se identifica, según la clasificación de *Köpen* como tropical húmedo con lluvia todo el año, a diferencia de la mayor parte del resto del país, que ha sido clasificado como tropical con verano muy húmedo. Lo cual está relacionado con la ocurrencia de las mayores precipitaciones durante el periodo 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.

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° C y 12° C respectivamente. La combinación de altas temperaturas con valores también elevados de humedad en el aire provoca sensaciones de notable incomodidad en la población.

---

En Moa la humedad relativa es alta, tanto a las 7.00 horas (90 - 95%) como a las 13.00 horas (75 - 80%). Para territorios como este 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.

- **Precipitaciones**

El régimen de precipitaciones en Moa, tiene como tendencia la ocurrencia de láminas máximas entre los meses de octubre y enero, es decir, hacia finales del período lluvioso (5 - 10 meses) y comienzos del menos lluvioso (11 - 4 meses), de forma que resulta más regular. Este comportamiento es determinado por las características del relieve montañoso, que unido a la influencia de vientos cargados de humedad predominantes en la zona provocan la frecuente formación de lluvias por convección orográfica, las cuales descargan en la vertiente norte del macizo correspondiente al área de estudio, que constituye la región más lluviosa de Cuba. El gradiente de precipitaciones con la altura para la vertiente norte 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. 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.

- **Propiedades físico - químicas de las aguas**

#### **Salinidad**

Las variaciones temporales y espaciales de la salinidad dependen inversamente de las precipitaciones y del escurrimiento terrestre. En general, es de esperar, que para el área de la Bahía de Cayo Moa, la salinidad presente poca variación estacional en su ciclo anual, siendo mayor en épocas de seca, y menor en periodos de lluvias, con mínimas en las zonas de desembocadura de los ríos del área. De esta forma, en los meses de escasas precipitaciones (usualmente, de febrero a abril y de junio a septiembre), tienen lugar salinidades del orden de las 36.0 – 37.0%, que podrían ser superiores. Durante el periodo de precipitaciones intensas (mayo, octubre, noviembre y diciembre), el tenor halino en el acuatorio desciende.

---

- **Características mineralógicas**

Los sedimentos poseen una composición mineralógica relacionada con las rocas de la asociación ofiolítica (corteza de intemperismo laterítica) y con los depósitos biogénicos de la barrera arrecifal, de la cual se derivaron los aportes principales de Carbonato de Calcio en el depósito. Los elementos predominantes son los materiales calcáreo-carbonatados, con una coloración bastante homogénea que varía de gris – gris claro a gris verdoso. Los grupos minerales principales están vinculados en primer orden con los carbonatos, y después con los óxidos de hierro, como secundarios aparecen otras especies minerales, además se indican minerales como calcita, aragonito y glauconita, que son minerales autógenos. Análisis mineralógicos demuestran que la calcita y el aragonito como minerales carbonatados formados a partir de la precipitación química o bioquímica no son abundantes; lo que indica que el contenido de carbonato en los sedimentos está determinado por el contenido elevado de Carbonato de Calcio que presentan los bioclastos y restos esqueléticos correspondientes a diferentes organismos.

Un fenómeno interesante, es la presencia de restos esqueléticos (fundamentalmente moluscos, foraminíferos y crustáceos) reemplazados por pirita y/o marcasita (piritización) que les da una coloración negra muy característica. El reemplazo por pirita o marcasita de restos esqueléticos compuestos por Carbonato de Calcio, ocurre como consecuencia de la presencia de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) que se desprende de la descomposición de materia orgánica en un medio pobre en oxígeno, el cual reacciona con sales solubles de hierro presentes en el agua marina, formándose los sulfuros de hierro que reemplazan al Carbonato de Calcio como materia original constitutiva de los restos esqueléticos.

En los minerales como óxidos, óxidos múltiples, hidróxidos y otros elementos; los que más se aprecian son los que contienen hierro (Fe). Existe presencia de magnetita, limonita, ilmenita, cromita, epidota, anfíboles y serpentina, además se relacionan, trazas de zircón, rutilo, leucoxeno, pirita y esfena además de clorita, granate y cuarzo como minerales accesorios, estos aparecen descritos,

---

en menores proporciones, los que en ocasiones solo constituyen trazas: la clorita, el grafito, anfíbol, plagioclasa, hornablenda.

La composición mineralógica en el yacimiento demuestra claramente su correspondencia principal asociada con depósitos biogénicos de barrera arrecifal, fuentes principales de los aportes de Carbonato de Calcio. Así mismo, las diferentes clases minerales portadoras de hierro y otros metales llegan al yacimiento transportados por las aguas fluviales y pluviales escurridas desde el macizo ultrabásico (serpentinítico y su corteza de intemperismo laterítica) y los productos residuales de la minería. La mayoría de los minerales presentes que contiene hierro no son muy susceptibles a la disolución química, sus porcentajes en las fracciones más finas de las muestras se debe probablemente a la destrucción mecánica sufrida por estos durante el transporte hasta la cuenca de deposición.

- **Características morfológicas del fondo**

En la mayor parte de los sectores predomina un relieve relativamente ondulado, la morfología del fondo conserva su estado irregular natural en la generalidad del área, con alguna pequeña influencia de extracciones anteriores en algunos de sus límites. Las profundidades son vinculadas con la existencia de este a oeste del canal de navegación; en ambos casos de forma natural y en ella aparecen las mayores profundidades encontradas, en un orden superior a los menos ocho metros. Hacia el noroeste en algunos lugares vinculados a los límites del área, causas antrópicas han provocado un relieve algo irregular, con profundidades de significación en un orden algo superior de los menos seis metros.

- **Caracterización de la materia prima**

El yacimiento de Cienos Carbonatados de la Bahía de Cayo Moa está compuesto por un depósito de sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y sedimentos terrígenos, estos últimos fundamentalmente en la parte superior. Los sedimentos clásticos se caracterizan en su conjunto por un elevado contenido de Carbonato de Calcio.

---

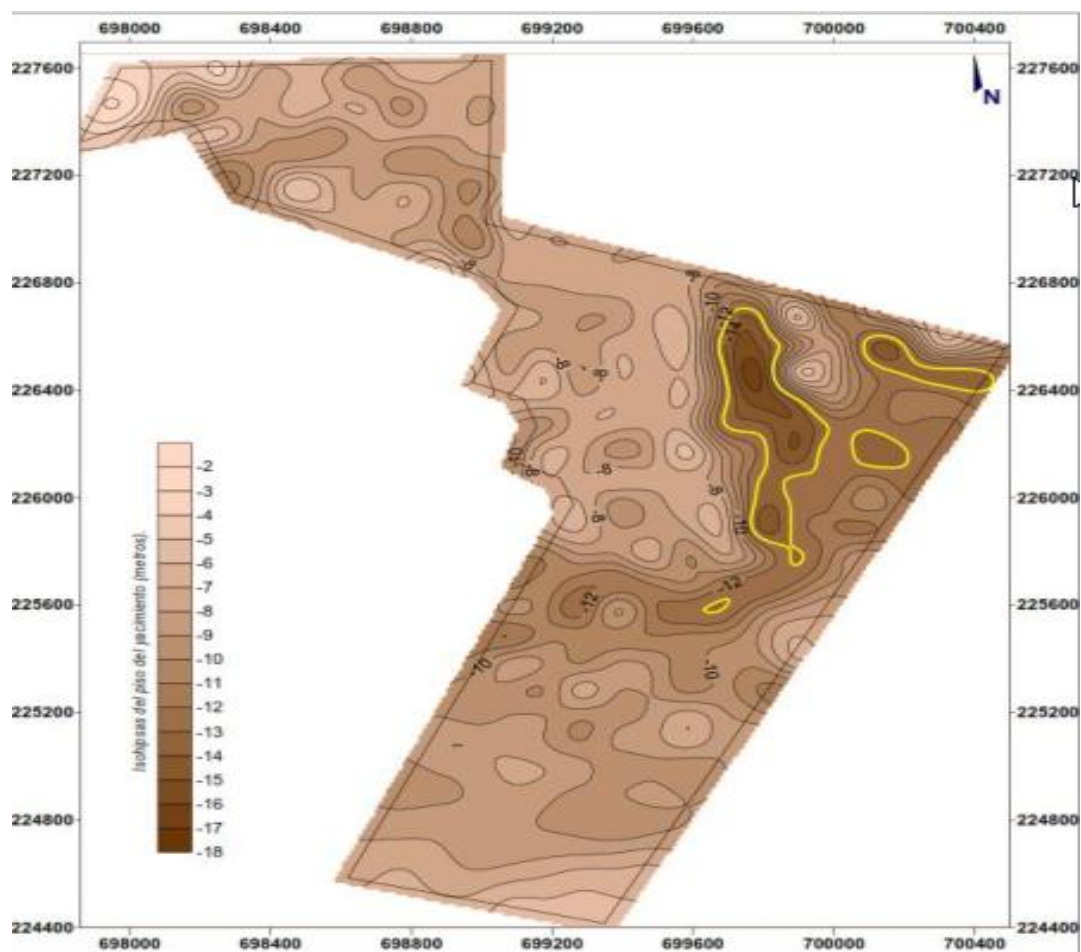
En estos sedimentos marinos cuaternarios de edad Holoceno – Reciente, la deposición ha estado controlada, no sólo por el régimen de transporte hidrodinámico específico de la zona costera, sino también por el relieve e inclusive por las características litológicas de las fuentes de suministro.

Los espesores de sedimentos friables totales, incluyendo el terrígeno, son variables. Aparecen zonas con menos de un metro hasta espesores superiores a los siete metros, localizándose las mayores potencias en depresiones hacia el noreste del área. Las áreas de menor potencia denotan cierta coincidencia con el canal de navegación y con la distribución de los sedimentos arenosos hacia el noroeste y centro norte del área, donde el piso del yacimiento aparece elevado.

- **Características litológicas y estratigráficas**

La composición litológica se caracteriza por una cobertura de Cieno Terrígeno, que sobreyace a Cienos Carbonatados limo-arenosos y Arenas Carbonatadas limosas, todos los cuales están sobre un basamento que varía entre arcilla y fragmentos de rocas calcáreas en matriz arcillosa, es apreciable el carácter discordante del depósito de sedimentos clásticos carbonatados con relación a su basamento, lo que indica que los sedimentos carbonatados, son parte de una secuencia sedimentaria sin relación con el basamento de la cuenca en que se depositaron. Al transportarse fueron sedimentándose en una zona de aguas tranquilas y de poca circulación en un ambiente de laguna retroarrecifal.

Las condiciones de yacencia son simples; un cuerpo de sedimentos friables no estratificado, pero con cierta diferenciación granulométrica vertical que permite separarlo en horizontes (Cieno Terrígeno, Cieno Carbonatado limoso a arenoso y Arena Carbonatada). Los espesores de sedimentos totales; en este caso incluyendo el terrígeno, son variables, aparecen zonas con menos de un metro, hasta otras donde los espesores son superiores a los siete metros.

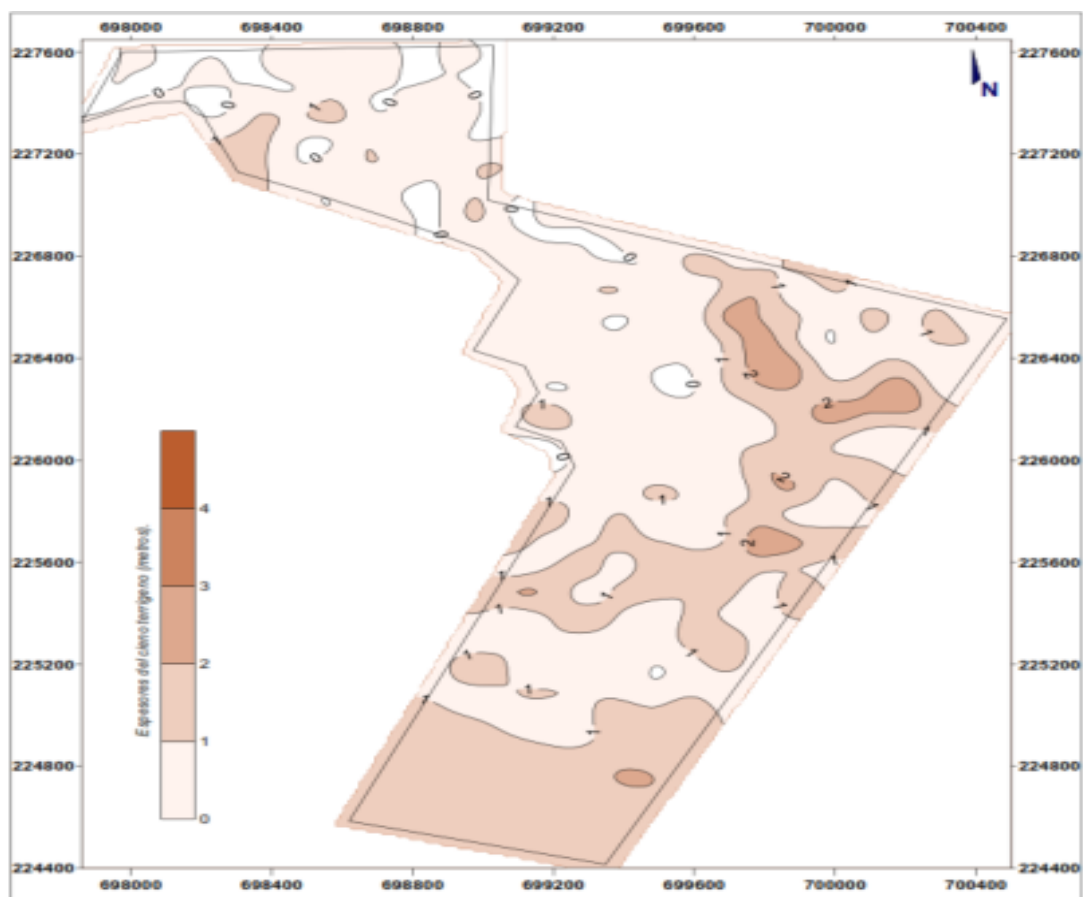


**Figura.2** Yacimiento conformado por espesor útil solo por Cienos Carbonatados y la arena

### **Cieno Terrígeno:**

Se caracteriza por ser un material muy fino de color carmelita, de rojizo a negro; aparece desde el fondo con consistencia fluida a muy blanda. En su parte superior está en forma de suspensión coloidal que transiciona a un estado más consistente en profundidad, donde se mezcla gradacionalmente con el material de la capa de cienos limo-arenosos subyacente. En general es un material de fluido a muy blando en forma de gel, con un contenido de carbonato natural muy bajo, su origen es producto de la erosión de la corteza de intemperismo laterítico. Sus espesores son muy variables, desde algunas zonas donde es muy fino su espesor o no aparece, hasta valores superiores a los dos metros.

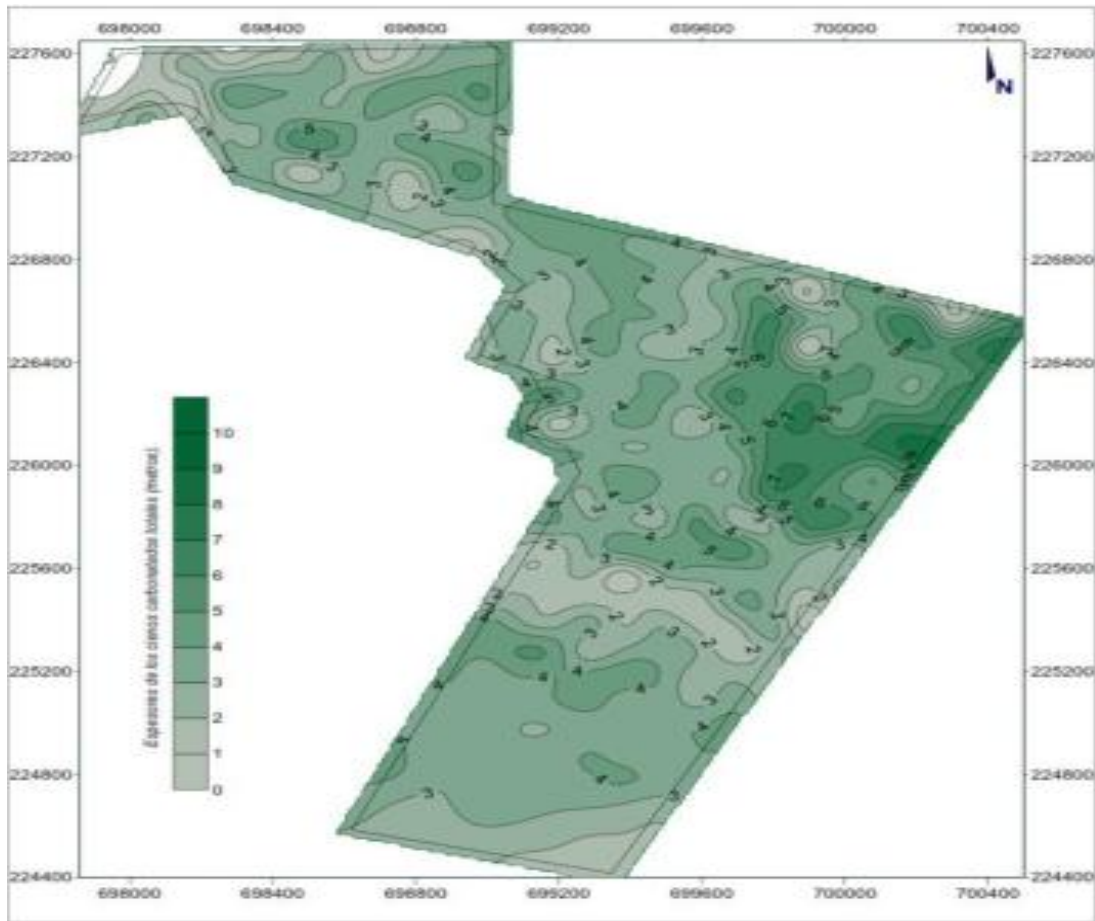




**Figura 3.** Espesor de Cieno Terrígeno

### **Cieno Carbonatado Limoso a Arenoso**

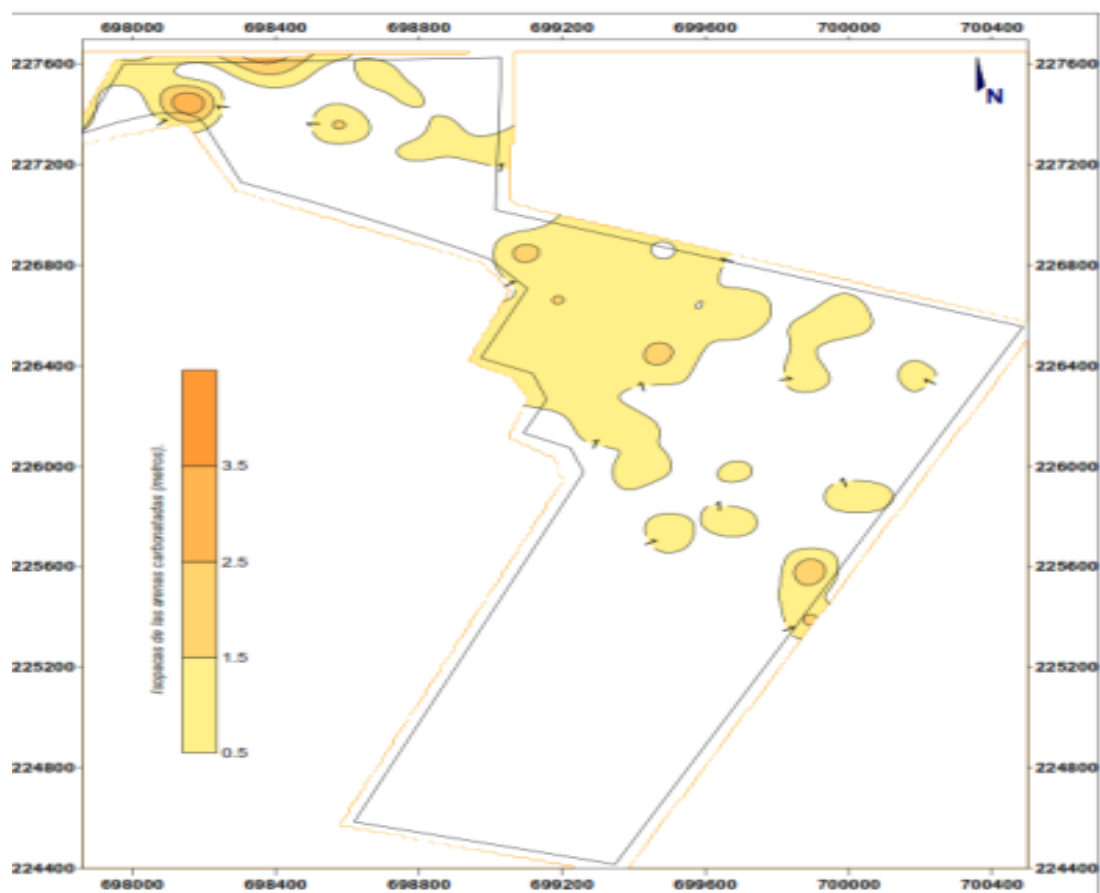
Se caracteriza por presentar una granulometría fina, fundamentalmente limosa, con una proporción en ocasiones predominante de material arenoso de forma transicional, tanto en sentido horizontal como vertical. Su coloración varía de gris claro a gris verdoso, y contiene abundantes restos de conchas y corales triturados (bivalvos, algas y gasterópodos); en algunos casos estos se encuentran bien conservados. Presenta espesores de algo más de siete metros en las depresiones y no existe por parte en los sectores totalmente arenosos. En este cieno, básicamente se localizan las reservas del yacimiento para las condiciones tecnológicas actuales.



**Figura 4.** Espesor de Cieno Carbonatado limoso a arenoso

### **Arena Carbonatada**

Se caracteriza por ser mayormente de granulometría fina a media, con áreas localizadas donde es algo gruesa, presenta coloración gris claro a gris oscuro con abundantes restos de conchas y corales triturados, en ocasiones bien conservados. Coincide generalmente con las zonas de elevación del piso, lo que indica un control de la morfología del subfondo en su distribución y generalmente su cobertura de Cieno Terrígeno es menor. Desde áreas sin espesor puede alcanzar potencias superiores a los tres metros en algunos lugares muy específicos.



**Figura 5.** Espesor de arena

**Tabla 2.** Características de los sedimentos del yacimiento

	Cieno Terrígeno	Cieno Carbonatado Limo a Arenoso	Arena Carbonatada
Rango granulométrico (mm)	de <0.005 a >0.075	de 0.005 a >0.075	de 0.075 a >2.0
Potencia media	1.0 m	3.6 m	1.1 m
Contenido de carbonato	>10% y ≤80%	≤80% y >90%	>86% a > 95%

---

## **2.2 Caracterización del yacimiento de Cieno Carbonatado de Cayo Moa Grande**

### **➤ Sistema de explotación del yacimiento**

El yacimiento de Cieno Carbonatado de Cayo Moa Grande está concesionado y forma parte de la Empresa Moa Níquel S.A, donde se utiliza el Carbonato de Calcio como materia prima para la neutralización en la obtención final de los sulfuros de (Ni + Co).

El sistema de explotación es por dragado, a través de una draga mecánica, constituida por una excavadora ubicada sobre una patana, con un régimen laboral continuo durante todos los días del año.

### **➤ Condiciones minero - técnicas**

- Profundidad mínima de dragado: dos metros
- La extracción se realiza hasta la cota en que se cumplen los parámetros básicos exigidos en la tarea técnica.
- La potencia útil mínima: un metro
- La potencia de cubierta estéril es despreciable y se contempla en la dilución
- Se permiten las intercalaciones tanto en profundidad como de forma superficial.
- La explotación se realiza en sentido contrario a la de la corriente, para evitar la acumulación de granulometrías muy finas perjudiciales para el proceso.
- El posicionamiento del equipamiento minero se realiza con sistema de posicionamiento global (GPS), con una precisión menor de dos metros de error.

### **➤ Análisis del proceso tecnológico**

La bahía de Cayo Moa tiene una extensión de 30.6 km y 6 km de ancho (Oficina Nacional de Estadística e Información 2014). El sector objeto de estudio ocupa aproximadamente 5 km de largo. Diariamente se extraen más de 1200 t de Cienos Carbonatados para ser utilizados en la neutralización de residuales ácidos que se producen durante el beneficio de minerales para la producción de níquel y cobalto

---

(Cueto, Rondón & Fuentes 2003). El dragado de los fondos marinos en la Bahía de Cayo Moa se realiza a través de una draga mecánica (de cubo), constituida por una excavadora con una cuchara de 2.5 m<sup>3</sup> ubicada sobre una patana (Figura 6).



Figura 6. Excavadora con cuchara de quijada bivalva.

Antes de realizar las labores para la extracción mineral, la draga se ubica espacialmente en el sector que va a ser explotado. La localización del sitio a explotar se realiza mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), lo cual garantiza la precisión necesaria para la ubicación de boyas que delimitan los bloques de extracción.

Posteriormente se realiza el posicionamiento de la plataforma, la que es anclada al fondo mediante un sistema que le permite permanecer fija en un sector para la ejecución de la actividad planificada. La extracción se realiza tomando en consideración las corrientes marinas, así como los cambios de marea y la ubicación de la patana de carga (ver figura 7), la cual es acoplada a la plataforma de extracción por un lateral de la misma, (Menéndez 2001).

Los sedimentos extraídos se trasladan hacia la planta de beneficio ubicada en el puerto. El transporte de la patana de carga se realiza con remolcadores.



**Figura 7.** Patana de carga

### **Flujo de producción**

El proceso tecnológico de preparación mecánica de la materia prima en la planta de procesamiento en la Empresa Puerto Moa se divide en las siguientes etapas (ver anexo 8):

Cuando llegan las patanas al área de la planta, éstas descargan el material en un depósito destinado para este fin. Desde el mismo, por medio de grúas, el material es alimentado a una criba estacionaria, que posee raíles situados paralelamente a 152.4 mm de separación, donde se le inyecta agua de reboso procedente de los sedimentadores de pulpa de la propia planta.

Las partículas que pasan a través de los raíles caen por gravedad a una lavadora de paletas y, desde ésta, a una zaranda vibratoria de doble malla (la superior con orificios de 6.35 mm y la inferior de 0.83 mm). En esta zaranda se inyecta agua atomizada a una presión de 206.8 – 275.8 kPa, procedente también del reboso de los sedimentadores de la planta.

Las partículas que pasan por la malla de 0.83 mm forman la pulpa producto con aproximadamente 10 - 18% de sólidos, que cae en un pozo de almacenaje. Desde este pozo la pulpa se bombea al primer sedimentador, el cual también recibe agua corriente para el lavado de los Cienos Carbonatados.

Cuando la concentración de cloruros es inferior a 700 ppm (0,7 mg/L) la pulpa se transfiere al segundo sedimentador junto con otra inyección de agua cruda a contra corriente y una dosis de floculante. Aquí continúa el lavado y el espesamiento. Cuando la pulpa alcanza 40 - 45 % de sólidos, se transfiere a un tanque agitado más pequeño, desde donde se bombea a la planta de neutralización en la empresa Pedro Sotto Alba S.A.

**Tabla 3.** Características de la pulpa de Cieno Carbonatado

Parámetros	Diseño
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1320 – 1340
% de Sólido	40 – 45
% de Arena	≤17
Cloruro (ppm)	500 – 600
Carbonato de calcio %	≥87
Composición granulométrica (- 325 mesh)%	≤76
pH	8 – 9
% Calcio	28 - 38
% Sílice	0.1

% Aluminio	6 - 12
% Hierro	1- 10
Metales de interés	Ca , Fe, Al, y Si
Metales sin interés	Zn, Ni, Co , Cr y Mg en proporciones menores al 2 %
Materia orgánica %	1.5 - 5.5

### 2.3 Residuos generados en el proceso productivo

Los residuos generados del proceso de extracción del Cieno Carbonatado presentan un volumen de 62 312 m<sup>3</sup> mensual con una capacidad de la escombrera de 100 000 m<sup>3</sup>. Por lo que, se hace necesario la adecuación de un nuevos territorios no menor de 1.5 hectáreas para ubicar el rechazo ya que se cuenta con una productividad entre 800 y 1000 m<sup>3</sup> diario de cieno.



**Figura 8.** Foso de rechazo de Torre de Preparación

### 2.4 Costo de producción

El costo de producción de una tonelada de Cieno Carbonatado en la Empresa Pedro Sotto Alba Moa Níquel S.A según (Martínez, 2007), es de 22.17 Cuc



---

Según los ritmos de producción actuales, la Planta de Neutralización consume 610 t/día de Cieno Carbonatado, lo que representa un consumo de 222 040 t/año de Cieno Carbonatado. Según estos indicadores, la empresa destinó alrededor de 4 936 150.00 Cuc para la compra de Cieno Carbonatado.

---

## **CAPÍTULO III. AFECTACIONES AMBIENTALES PRODUCTO DE LA EXTRACCIÓN DEL CIENO CARBONATADO**

### **Introducción**

En el presente capítulo se describen las principales afectaciones ambientales que provoca la extracción del Cieno Carbonatado en la Bahía de Cayo Moa.

### **3.1 Afectaciones ambientales**

La extracción del Cieno Carbonatado en la Bahía de Cayo Moa ha originado cambios en la flora y la fauna, observándose un creciente deterioro de la calidad de los fondos marinos causados por la extracción. El proceso siempre consiste en extraer del fondo marino el material, mecánica o hidráulicamente, a fin de separar el mineral en la planta de tratamiento del barco o en tierra. La alteración de la morfología y de la composición del fondo marino implica la reestructuración total de éste. Los efectos ambientales del uso de dragas en la extracción de minerales del fondo marino son los siguientes:

- **Calidad del aire:** Aumento de los niveles de emisión de gases ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ) a la atmósfera por los gases de escape de los motores de la excavadora y el remolcador.
- **Calidad del agua marina:** Incremento de sólidos disueltos y en suspensión, lo cual provoca el aumento de la turbidez y disminución de la penetración lumínica de las aguas en las zonas de extracción y áreas aledañas durante las operaciones de dragado, transporte y beneficio del mineral lo que puede interferir con la alimentación de los moluscos bivalvos, y la productividad planctónica, todo lo cual puede afectar la cadena alimenticia. También reduce el oxígeno disuelto en el agua. Por último, una vez que se ha asentado el polvo, puede sofocar las nidadas de huevos de peces y sepultar las ovas y larvas de mariscos.
- **Fondo marino:** Cambios en la morfología del fondo marino debido a la explotación del yacimiento. Esto trae consigo el aumento de la dinámica en los procesos de erosión y sedimentación por migración de los sedimentos desde

---

las zonas periféricas hacia las áreas de extracción y otras zonas deprimidas del fondo marino, además de reasentamiento del sedimento removido y posibles peligros para los animales bentónicos.

- Vegetación marina: Desaparición de la estructura natural y la biodiversidad florística en las áreas de extracción.
- Fauna marina: Destrucción del hábitat de la fauna marina en las áreas de extracción. Los ecosistemas marinos son muy complejos y en muchos casos es posible que no se hayan medido los daños ocasionados, lo que podría llevar a generar consecuencias impredecibles en el medio ambiente.
- Afectaciones parciales al hábitat y la migración de especies de la fauna marina en las zonas aledañas a las áreas de extracción debido al aumento de la turbidez de las aguas y al desplazamiento en el mar de los medios de explotación del yacimiento.
- Estética del paisaje: Alteración de la estética del paisaje por las operaciones de dragado y transporte del mineral.
- Infraestructura portuaria: Incremento del arrastre de sedimentos desde las zonas de extracción y beneficio al canal del puerto y a la dársena. Vertimientos al mar de agua y sedimentos durante las operaciones de beneficio del mineral, en la planta beneficio del puerto.
- Infraestructura económica: Beneficios económicos al país por el empleo del mineral en la neutralización de los efluentes ácidos de la Planta de Sulfuros.
- Producto a la acumulación de rechazo (escombrera) de Cieno Carbonatado en áreas aledañas a la Planta de Beneficio, la cual ha generado una serie de problemas medio ambientales; el material de rechazo afecta el suelo donde es depositado (ver figura 9), provocando la extinción de la vegetación que crece en esta área, trayendo como consecuencia que los animales que viven en esta zona tengan que emigrar a otro lugar y otros mueren. Debido a la gran cantidad de rechazo de Cieno Carbonatado existente en estos momentos se hace necesario la utilización de nuevos depósitos lo que provocaría un daño aún mayor a la flora y la fauna por la utilización de nuevas áreas.



**Figura 9.** Escombrera donde se deposita el rechazo generado por la extracción de Cieno Carbonatado

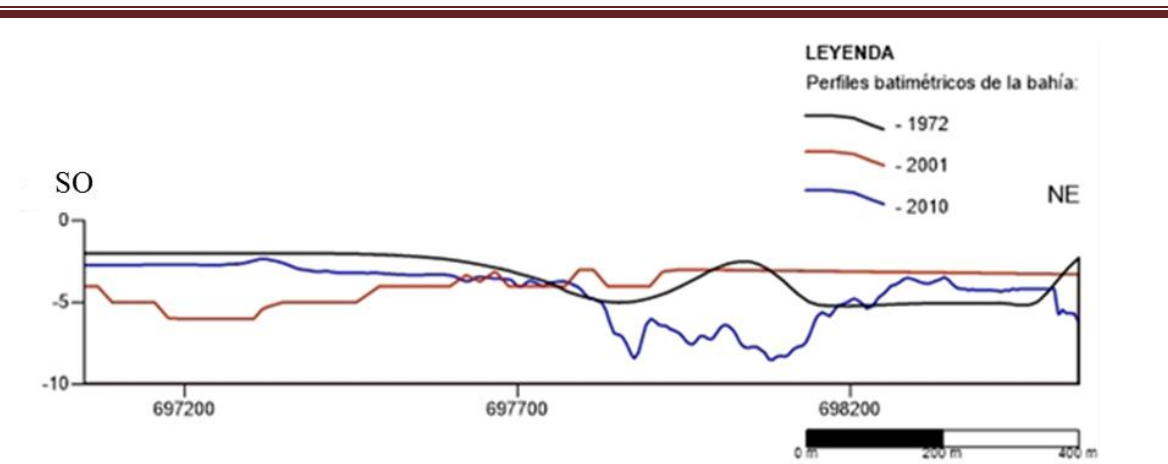
### **3.2 Análisis del dragado en el fondo marino de la Bahía de Cayo Moa**

Estudios comparativos de datos batimétricos de los años 1972, 2001 y 2010 demuestran las afectaciones representadas en dos perfiles que se ubicaron dentro de la laguna costera en las direcciones SO - NE y SE - NO respectivamente.

El modelo que representa los cambios en el fondo marino del perfil I-I' (SO - NE) muestra la dinámica de los sedimentos (ver figura 10).

En el año 1972 los fondos se caracterizaban por ser relativamente llanos con gradiente uniforme. Mientras que en el 2001 ocurren considerables cambios en todo el perfil, justificado por el dragado de sedimentos en la porción SO y la acumulación o deposición de 2.3 m de sedimentos en extremo NE del sector.

Para el año 2010 es notable la deposición de sedimentos desde la porción central del perfil hasta el extremo SO y de forma opuesta se manifiesta la porción central - NE, con pérdidas de hasta 5.3 m de sedimento y una irregularidad significativa en la morfología del fondo.

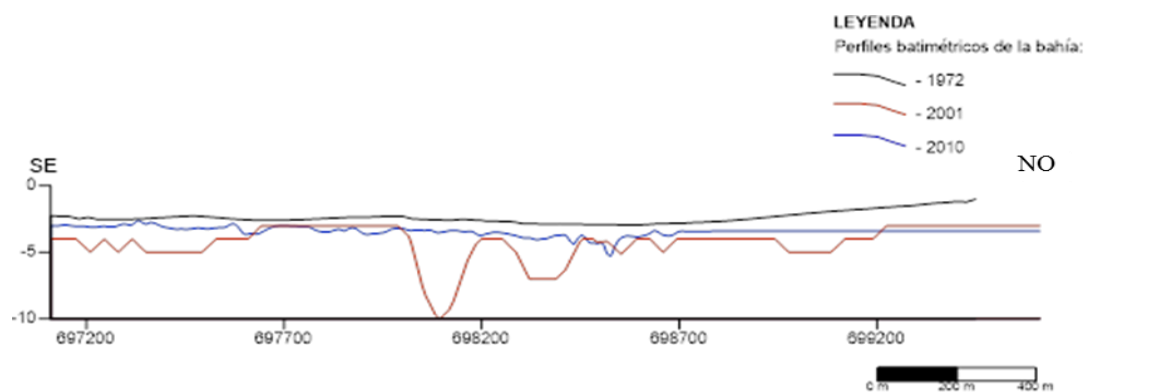


**Figura 10.** Modelo del perfil batimétrico I-I'. Tomado (Cervantes, 2017)

Los cambios que se aprecian en los perfiles muestran una alta capacidad de respuesta del medio de sedimentación ante la actividad extractiva, lo cual queda demostrado al observarse cómo se acumula sedimento en los huecos ocasionadas por el dragado en el período 2001 – 2010.

El perfil que representa los cambios en el fondo marino del perfil II-II' (SE - NO) muestra similitud de la morfología del fondo marino en los años 1972 y 2010, sin embargo, en el año 2001 ocurren considerables transformaciones en todo el perfil, motivadas por la pérdida de hasta seis metros de sedimentos en la porción central y la irregularidad significativa del fondo en todo el perfil.

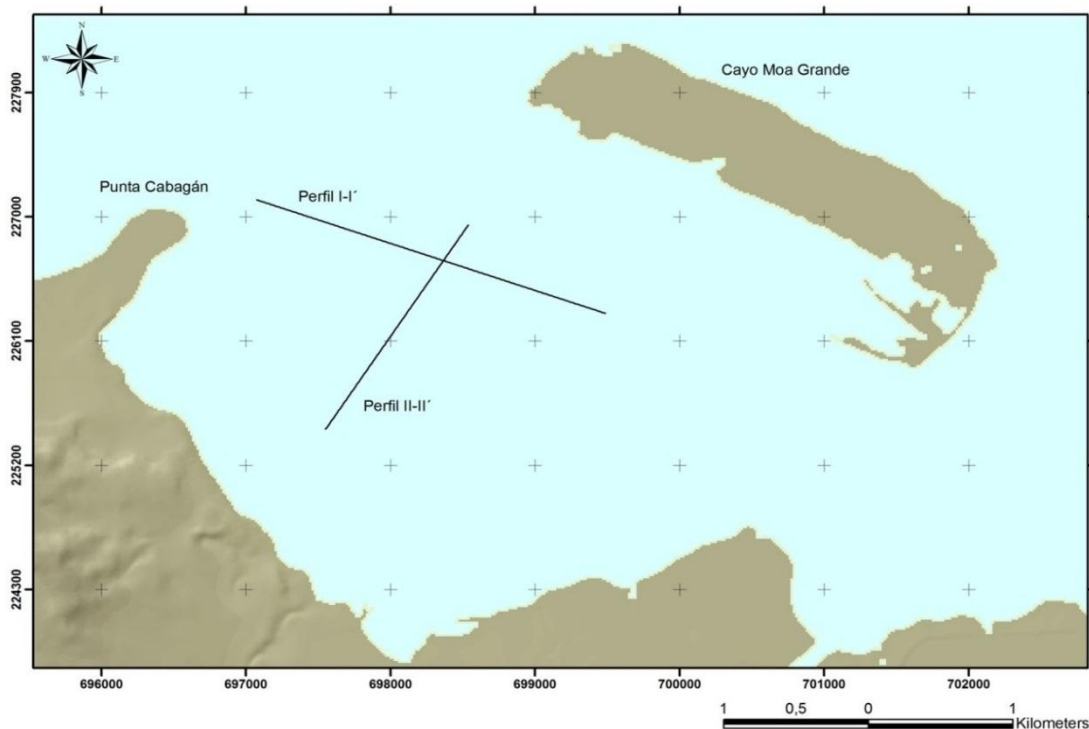
La diferencia que expresa el perfil entre los años 1972 y el 2001 y la irregularidad en la morfología del fondo demuestra que el área estudiada fue dragada en una etapa próxima al 2001 y a la vez, la capacidad del medio de sedimentación, capaz de colmatar en nueve años las depresiones existentes en el fondo (ver figura 11).



**Figura 11.** Modelo del perfil batimétrico II-II'. Tomado (Cervantes, 2017)

De forma general, estos perfiles expresan el carácter de los cambios en la morfología de los fondos de la laguna litoral y están asociados fundamentalmente con el constante dragado de este sector, lo cual transforma los principales elementos del medio de sedimentación, esencialmente la geometría o condición limitante del medio, la carga sedimentaria disponible y la energía que interviene en el proceso de sedimentación.

En cuanto a las características del dragado y como interfiere este en el equilibrio del medio de sedimentación, se puede establecer que la draga mecánica utilizada no garantiza una extracción uniforme de los fondos marinos, pues a pesar de que su ubicación espacial dentro de la laguna, el órgano de extracción no posee la precisión necesaria para mantener una línea de corte regular.



**Figura 12.** Ubicación de los perfiles batimétricos utilizados para valorar los cambios geomorfológicos en el fondo de la laguna. Tomado (Cervantes, 2017)

La caracterización del proceso de extracción de Cieno Carbonatado de la Bahía de Moa, evidencia que las afectaciones al medio ambiente circundante son

---

significativas, que debe abordarse en otra investigación la recuperación del ecosistema costero afectado en la actualidad por la extracción marina de Cieno Carbonatado.

---

## **CONCLUSIONES**

1. La caracterización geológica, el sistema de obtención de Cieno Carbonatado, la determinación del costo de producción y las afectaciones al medio ambiente permitió caracterizar el proceso de extracción del yacimiento.
2. A partir de la caracterización del proceso de extracción se determinó que las principales afectaciones provocadas por el dragado son: la calidad del aire, del agua, vegetación, fauna y fondo marino, así como, la estética del paisaje y los depósitos de residuos de la planta.



---

## **RECOMENDACIONES**

Caracterizar el producto de la planta de procesamiento de Cieno Carbonatado y sus propiedades.

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barrera Luque, Z. (2007). "Proyecto ejecutivo de explotación minera del sector norte bloque 1 en el yacimiento de Cienos Carbonatados al sur de Cayo Moa Grande, bahía de Moa.": 78 p.
2. Biggs, G. (1974). "Explotación minera de los océanos: Impacto sobre américa latina y urgencia de una política regional." 287 p.
3. Breff Azaharez, A. (2014). "Evaluación de trabajo de un hidrociclón para la clasificación de la pulpa de Cienos Carbonatados." 34(2224-6185): 12 p.
4. Cabrales Caplé, Y. (2012). Caracterización y propuesta de utilización de los lodos de la cantera El Cacao. Minería, ISMM: 61p.
5. Cervantes Guerra, Y. (2011). Evaluación del desempeño ambiental de la actividad de extracción de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa. CEMA, ISMM: 127p.
6. Cervantes-Guerra, Y., et al. (2017). "Cambios en la geomorfología y el medio ambiente litoral asociados al dragado de los fondos marinos en Moa, Cuba " Revista de Minería y Geología 33 p (1993 8012).
7. Escobar, J. (2004). "El impacto producido por la actividad minera en los fondos profundos oceánicos sobre los recursos genéticos y el reglamento para la prospección y exploración de nódulos polimetálicos en la zona 6 p.
8. ." C E P A L Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2122): 78 p.
9. ESIA (2015). "Estudio de dinámica litoral del sistema costero de la Ría de O Burgo y playa de Santa Cristina." 26 p.
10. Estrada Sanabria, V.(2011). "Controles de calidad geológica para la minería compensada del yacimiento no metálico de cienos carbonatados sur de Cayo Moa Grande." IX CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA (GEOLOGIA 2011) Geología y Prospección de minerales no metálicos 3(978-959-7117-30-8): 6 p.

- 
11. Fernández Guerra, R. (2015). Neutralización de licor ácido con residuos sólidos de Carbonato de Calcio de la industria del mármol: 72 p.
  12. Geocuba (2007). "Informe de exploración geológica detallada de los sectores este II, noreste y norte del yacimiento de Cienos Carbonatados al sur de Cayo Moa Grande." 94 p.
  13. Hernández Rodríguez, M. (2015). "Análisis del proceso de beneficio del cieno carbonatado." 14p.
  14. Herrera Hernández, J. D. (2016). "Manual de operaciones de Planta de Coral." 1: 28 p.
  15. Jean-Pierre, L. (1994). "Explotación de los fondos marinos y la convención de las naciones unidas sobre el derecho del mar." 429 p.
  16. Legrá Lovaina, A. A. (2017). "Elementos teóricos y prácticos de la investigación científico-tecnológica." (0,9945): 576 p.
  17. Martínez Rojas, R. (2009). Caracterización de las propiedades físico mecánicas del Cieno Carbonatado para el perfeccionamiento de su hidrotransporte por tuberías.99 p
  18. Peña Betancourt, F. L. (2014). Parámetros tecnológicos de la planta de preparación mineral de CIENO CARBONATADO. Metalurgia - Química, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez": 68p.
  19. Rankin, W. J. (2000). "Vista general de la actividad minera y sus impactos." 20 p.
  20. Sierra, J. R. (-). "Comparación de la turbidez natural del placer de meca frente a la generada por un dragado." 9 p.
  21. Suárez Rodríguez, J. E. (2010). Cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado de la Empresa Pedro Sotto Alba. Metalurgia, ISMM: 61p.
  22. Tamayo Alegria, L. J. (2010). Determinación del índice de Bond para el Cieno Carbonatado de Cayo Moa. Metalurgia, ISMM: 60p.
  23. Técnico, D. (1999). "Técnicas de dragado." 59p.

---

## Enlaces de Internet:

24. [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011\\_Estrada\\_Sanabria\\_GEO3-P12.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Estrada_Sanabria_GEO3-P12.pdf)
25. <http://www.trabajadores.cu/20161023/minas-en-el-mar/>
26. <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>
27. <https://es.scribd.com/doc/85989757/YACIMIENTOS-CARBONATADOS-Y-ROCAS-CLASTICAS>
28. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.10/3613/Tesis%20Completa.pdf?sequence=1>
29. <http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/144539?offset=20>
30. <http://www.redciencia.cu/geobiblio/geobiblio.html>
31. [http://scholar.google.com/scholar?start=80&q=impactos+del+dragado&hl=es&as\\_sdt=0,5&as\\_vis=1](http://scholar.google.com/scholar?start=80&q=impactos+del+dragado&hl=es&as_sdt=0,5&as_vis=1)
32. <http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14041>
33. <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/handle/6789/2930>
34. [http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo\\_2\\_caracterizacion\\_sedimentos\\_completo\\_tcm7-405058.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo_2_caracterizacion_sedimentos_completo_tcm7-405058.pdf)
35. [http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo\\_6\\_estudio\\_zona\\_vertido\\_tcm7-405054.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo_6_estudio_zona_vertido_tcm7-405054.pdf)
36. [http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo\\_9\\_estudio\\_paisaje\\_completo\\_tcm7-405051.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo_9_estudio_paisaje_completo_tcm7-405051.pdf)
37. [http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo\\_6\\_estudio\\_zona\\_vertido\\_tcm7-405054.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/costas/participacion-publica/anejo_6_estudio_zona_vertido_tcm7-405054.pdf)  
[https://www.researchgate.net/profile/Maricusa\\_Agraz/publication/280446298\\_Golfo\\_de\\_Mexico\\_Contaminacion\\_e\\_Impacto\\_ambiental\\_Diagnostico\\_y\\_Tendencias/links/55b555b208aed621de02dca8/Golfo-de-Mexico-Contaminacion-e-Impacto-ambiental-Diagnostico-y-Tendencias.pdf#page=629](https://www.researchgate.net/profile/Maricusa_Agraz/publication/280446298_Golfo_de_Mexico_Contaminacion_e_Impacto_ambiental_Diagnostico_y_Tendencias/links/55b555b208aed621de02dca8/Golfo-de-Mexico-Contaminacion-e-Impacto-ambiental-Diagnostico-y-Tendencias.pdf#page=629)

- 
38. [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011\\_Estrada\\_Sanabria\\_GEO3-P12.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Estrada_Sanabria_GEO3-P12.pdf)
  39. <http://www.trabajadores.cu/20161023/minas-en-el-mar/>
  40. <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>
  41. <https://es.scribd.com/doc/85989757/YACIMIENTOS-CARBONATADOS-Y-ROCAS-CLASTICAS>
  42. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.10/0/3613/Tesis%20Completa.pdf?sequence=1>
  43. <http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/144539?offset=20>
  44. [http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/calcium\\_carbonate.aspx](http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/calcium_carbonate.aspx)
  45. <https://www.amazon.es/Aprovechamiento-uso-residuos-industria-Cantera/dp/3846572349>
  46. <http://www.monografias.com/trabajos102/introduccion-del-carbonato-calcio-como-fundente-produccion-ladrillos/introduccion-del-carbonato-calcio-fundente-en-la-producción-de-ladrillos>
  47. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/ysraelalbertomartinezcontreras/2012/08/31/como-redactar-las-recomendaciones-en-la-tesis/>
  48. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/ysraelalbertomartinezcontreras/2012/08/29/como-redactar-las-conclusiones-de-tesis/>
  49. <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/olivia/carbonatadas/ambientesde-sedimentacioncarbonatada.htm>
  50. <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=331>
  51. <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=332>
  52. <http://www.elcomercio.com/tendencias/cientificos-alertan-explotacion-de-fondos.html>
  53. <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/reportajes068.htm>
  54. <http://html.rincondelvago.com/extraccion-minera-de-recursos-marinos.html>

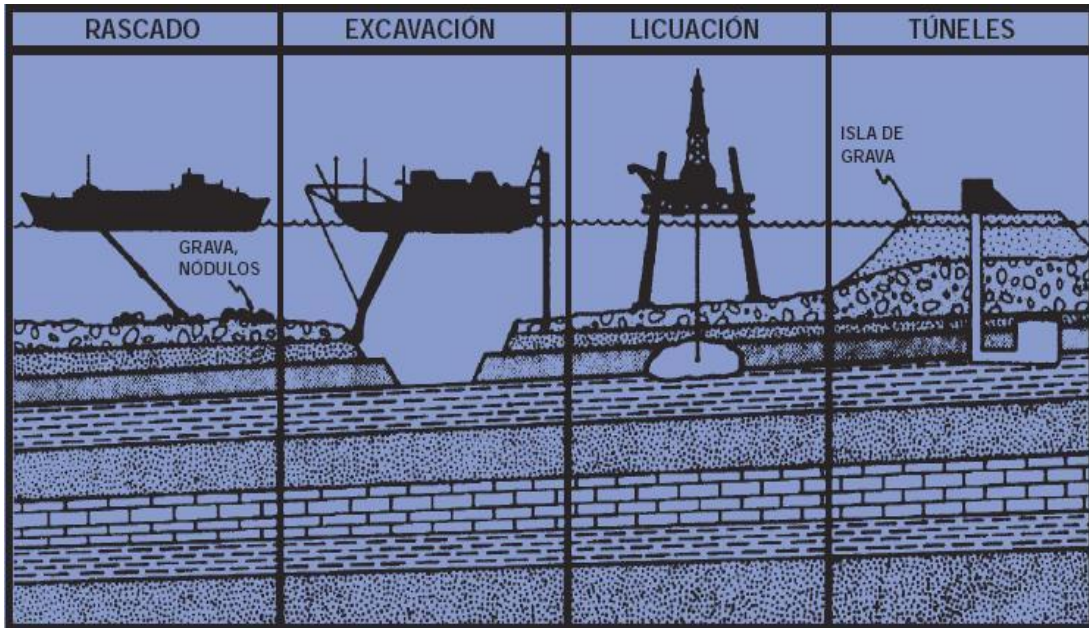
---

55. [https://es.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%ADa\\_en\\_el\\_fondo\\_del\\_mar](https://es.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%ADa_en_el_fondo_del_mar)

---

## ANEXOS

### Anexo .1 Métodos básicos de minería marina



### Anexo.2 Rechazo generado por Torre de Preparación



---

**Anexo 3.** Grúa LIEBHERR HS873HD



**Anexo 4.** Vaciadero temporal





---

## Anexo 5. Turbidez de los fondos marinos



## Anexo 6. Incremento de sólidos en suspensión



## Anexo 7. Puntos de muestreo de sedimentos en la Bahía de Cayo Moa



## Anexo 8. Esquema tecnológico de Planta de Beneficio

