



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS

## **PROPUESTA PLAN DE CIERRE PARA MINERÍA SUBMARINA**

PROFESOR GUIA:  
MANUEL VIERA FLORES

INTEGRANTE:  
DANIEL P. GUTIERREZ GUTIERREZ

SANTIAGO- CHILE  
2019



*“Dime y lo olvido.  
Enséñame lo recuerdo  
Involúcrame y lo aprendo”*

**B. Franklin**

## **Agradecimiento**

Es tan complejo dedicar el presente esfuerzo académico, pues son tantas anécdotas que se han vivido para poder lograr, que es imposible recordarlo todo. Pero si, debo agradecer a los profesores de la Universidad de las Américas, por su vocación, dedicatoria y el conocimiento compartido hacia mi persona. Pero en especial a mis Profesores Guía: Manuel Viera F. y Felipe Espinoza, por guiarme en la formación de la siguiente Tesis y recordarme siempre que: “no existen los imposibles”.

También quiero hacer honores a mi familia, en especial a mi Madre, pilar fundamental del día a día, sin importar la distancia que nos unía para poder verla. Esa distancia es y fue el principal motor de lucha en mis años académicos

Con afecto:

**D. Gutierrez G.**

## RESUMEN

La siguiente tesis está basada en el proyecto Solwara 1, que se ejecutará en Papua, Nueva Guinea y tiene como fundamento los estudios de impacto ambiental y procesos de mitigación que dicta el:” Environment Act 2000”. Esto es debido que el proyecto se encuentra ubicado a 50 km al exterior de costa, por lo tanto no se rigie a las normativa extractiva minera de ningún país y se basa en los permisos de las Naciones Unidas dictada en el año 2.000.

Los estudios de impacto ambiental y planes de mitigación están directamente relacionados a -la Flora y Fauna, que se encuentra en el punto extractivo de la explotación de sulfuros y también el Impacto de micropartículas en suspensión.

En base a esta descripción de proyecto y estudios realizados, se propone un plan de cierre minero para volver a dejar teóricamente en condiciones similares el fondo marino, a como se encuentra en un comienzo, antes de la ejecución del proyecto. Además junto a ello se hace una descripción completa del proceso extractivo de sulfuros polimetálicos del fondo marino, con sus análisis cualitativos de impactos medio ambientales que podría tener, sin olvidar las medidas de mitigación para cada impacto que se señala.

Cabe destacar que este tipo de propuesta aun no se ejecuta en la actualidad y es un desafío para la ingeniería extractiva de minerales, poder extraer y generar una propuesta adecuada con la finalidad de ayudar a la naturaleza a su rápida recuperación.

## **SUMMARY**

The following thesis is based on the Solwara 1 project, which will carry out in Papua, New Guinea and has as its foundation the environmental impact studies and mitigation processes established by the “Environment Act 2000”. This is because the project is located 50 km off the coast, therefore is not ruled by the extractive mining regulations of any country and is based on United Nations permits dictated in the year 2000.

Environmental impact studies and mitigation plans are directly related to -Flora and Fauna, which is situated at the extractive point of the sulfides exploitation. -Impact of suspended mineral microparticles. -Effect of light on the marine food chain.

On the basis of this description of the project and studies carried out, a mine closure plan is proposed in order to theoretically leave the seabed in similar conditions as it was at the beginning, before the execution of the project. In addition, a full description of the process of extracting polymetallic sulfides from the seabed, with its qualitative analysis of the environmental impacts that it could have, without forgetting the mitigation measures for each impact that is indicated.

It is noteworthy that this sort of proposal is not yet executed at present and is a challenge for the extractive engineering of minerals, to extract and generate an appropriate proposal in order to help nature to its quick recovery

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	4
SUMMARY .....	5
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO 1. ....	13
1.1 Antecedentes del Estudio .....	13
1.2 Objetivos: .....	13
1.2.1 Objetivo General.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos: .....	13
1.3. Alcance .....	14
1.4. Hipótesis .....	15
1.5. Justificación de Estudio .....	16
CAPITULO 2. METODOLOGIA .....	17
2.1 Marco Metodológico .....	17
CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	18
3.1 Descripción de Minería Submarina .....	18
3.1.1 Métodos Extractivos de Mineral Submarino .....	19
3.2 Directrices del Proyecto.....	20
3.3. Descripción del Proyecto.....	21
3.3.1 Fases del Proyecto .....	22
3.3.2. Diagrama de Procesos de Minería Submarina .....	24
3.3.3. Recursos y Reservas .....	25

3.3.4 Zonas extractivas de Solwara .....	27
3.4. Método Extractivo del Proyecto .....	28
3.4.1 Pre-Stripping Marino.....	28
3.4.2 Características del Estéril .....	29
3.4.3. Sistema de Elevación de Mineral .....	30
3.4.3.1. Equipos de Extracción .....	32
3.4.3.2. Barco Plataforma .....	32
3.4.3.3 Equipo Cortador .....	34
3.4.3.4. Equipo Cortador Auxiliar .....	35
3.4.3.5 Equipo de Succión de Mineral.....	36
3.4.3.6 Barcaza de transferencia de Mineral .....	37
3.4.3.7. Tubería de transferencia de agua al fondo marino .....	37
3.5 Producción .....	38
3.6. Factores Incontrolables.....	40
3.7 Vida Útil del Yacimiento.....	41
CAPITULO 4. MEDIO AMBIENTE.....	42
4.1 Efecto de Luz.....	42
4.2 Ecosistema.....	44
4.3 Fondo Marino .....	47
4.4. Ecosistema y Micropartículas en Suspensión.....	48
CAPITULO 5. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS .....	49
CAPITULO 6. PROPUESTA DE PLAN DE CIERRE .....	53
6.1. Etapas del Plan de Cierre.....	54



6.2. Equipo a Utilizar.....	55
6.3. Bases para corales.....	56
6.3.1. Fundamentos del Diseño .....	58
6.4 Zona a recubrimiento de Corales.....	59
6.5. Ejecución del Plan de Cierre .....	61
6.6. Tiempo de Ejecución .....	63
6.6.1 Cálculo de Ciclos del Equipo .....	64
6.6.2 Cálculo de Horas Efectivas Trabajadas .....	64
6.6.3. Cálculo de Corales Reubicados por día.....	65
6.6.4. Tiempo de reubicación total del área.....	65
6.7. Cartas Gantt del Proyecto .....	66
6.8. Matriz de Riesgo Plan de Cierre.....	69
6.9. Recomendaciones de Ejecución .....	70
6.10 Beneficios del Proyecto .....	71
6.10.1 Beneficios del Plan de Cierre .....	72
CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA .....	75

## Índice de Ilustraciones

Figura 1- Mapa de Solwara 1 .....	21
Figura 2 - Vista Lateral del Cuerpo Mineralizado.....	25
Figura 3 - Zonas extractivas del Proyecto .....	26
Figura 4 - Descripción del Proceso Extractivo.....	30
Figura 5 - Motor de elevación de Mineral.....	31
Figura 6 - Barco Plataforma .....	33
Figura 7 - Equipo Cortador submarino.....	34
Figura 8- Cortador Auxiliar Submarino .....	35
Figura 9 – Equipo Succionador de Mineral.....	36
Figura 10 - Ciclo de procesos productivos .....	38
Figura 11 – Zonas de profundidad Marina .....	42
Figura 12 – Atún.....	44
Figura 13 - Langostino Peneido .....	44
Figura 14 - Delfin .....	45
Figura 15 - Dugongs .....	45
Figura 16 - Serpiente Marina.....	45
Figura 17 - Aves Marinas .....	46
Figura 18 - Tortuga Boba .....	46
Figura 19 - Equipo sumergible telecomandado.....	55
Figura 20 - Base de Corales, vista Lateral.....	56
Figura 21 - Base de Corales, Vista en Planta .....	57
Figura 22- Zona Central a reubicar Corales .....	59
Figura 23 - Proceso del Plan Cierre.....	61
Figura 24 – coral a reubicar .....	61
Figura 25 – Corales .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Planificación del Informe .....	17
Tabla 2- Recursos y Reservas.....	26
Tabla 3 - Características del Barco Plataforma .....	32
Tabla 4 - Dispersión de Micropartículas en el fondo marino .....	48
Tabla 5 - Clasificación del Daño .....	49
Tabla 6 - Probabilidad de Ocurrencia.....	50
Tabla 7 - Severidad del Daño .....	50
Tabla 8 - Matriz de Riesgos.....	51
Tabla 9- Característica del Equipo .....	56
Tabla 10- Estimación de Tiempos de Ejecución .....	63
Tabla 11 - Carta Gantt del Ejecución .....	66
Tabla 12 - Carta Gantt Pos-Implementación .....	67
Tabla 13 - matriz de Riesgo Plan de Cierre.....	69

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de dar a conocer, analizar y proponer un plan de cierre para proyectos de minería submarina, el cual se basara en proyectos internacionales, como es el caso de Solwara Fase 1. Dicho proyecto se realiza en Papua, Nueva Guinea

La minería Submarina ha sido la principal opción para seguir satisfaciendo la demanda de metales, que en la actual minería es cada vez más complejo mantener. Esto se debe a la caída de las concentraciones de los minerales y el escás de proyectos nuevos para futuros, es por eso que tendencias como: Astro minería y Minería Submarina han sido la principal fuente de búsqueda de concentraciones.

El Proyecto con mayor avance llamado: Solwara, es el pionero en intentar realizar esta hazaña de la ingeniera, que es extraer sulfuros polimetálicos a más de 1500 metro de profundidad. Es por eso que la presente tesis se basa en dicho proyecto para proponer un plan de cierre una vez que finalice sus labores extractivas.

El plan de cierre analiza La Flora y Fauna que tiene la zona como el principal objetivo para preservar la vida que se encuentra, teniendo en consideración especies en peligro de extinción como es el caso de Dugongs y tortugas marinas en etapa de reproducción, ya que sus huevos son dejados en las costas, donde se producida el principal flujo de entrega de mineral sulfurado.

Otros factores son los Residuos que dejara el realizar un procesos en el fondo marino, analizando las micropartículas en suspensión y como se ve impactado el ecosistema, si estas partículas impiden el acceso de luz para la conservación de la vida marina.

Considerado lo mencionado en los párrafos 4 y 5, la propuesta considera una reforestación de corales en el fondo oceánico, dando real importancia a oxigenación y la conservación de crustáceos que se encuentran incrustados a los corales. Dichos Corales se encuentran en la

Zona del proyecto, porque es de suma importancia retirarlos y conservarlos temporalmente para una vez transcurrido el proyecto, vuelvan a ser dejados en dicha zona.

Cabe destacar que a una importante profundidad solo maquinaria tele comandada puede realizar esta labor, pero siempre está la duda, cuanto se tarda en realizar la labor. Es por eso que se realizan cálculos estimados de lo que tardaría y el protocolo de supervisión y aprobación por las autoridades competentes en donde se encuentra Solwara.

# **CAPITULO 1.**

## **1.1 Antecedentes del Estudio**

### **1.2 Objetivos:**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar los factores que alteran el ecosistema acuático producto de la extracción minera submarina en proyecto “Solwara fase 1” y Proponer un plan de cierre para este tipo de proyecto Oceánico.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Mencionar Recursos y Reservas del proyecto
- Explicar el método de explotación
- Describir equipos a utilizar para la extracción
- Definir procesos Productivos y Labores Unitarias de la extracción del mineral
- Revisar Planes de Mitigación de Impacto ambiental dentro del proceso extractivo
- Crear propuesta: Plan de Cierre
- Estimar tiempos de ejecución del Plan de Cierre

### **1.3. Alcance**

La Presente Tesis está enfocada a la Minería Submarina que se ejecutará en Papua, Nueva Guinea con su proyecto Solwara en su fase 1 y el plan de cierre solo se enfoca en la zona central del proyecto anteriormente mencionado.

Esta tesis es de carácter cualitativo, dando enfoque a preservar, cuidar y demostrar la viabilidad de este trayecto desde el punto de vista medio ambiental, preservando el ecosistema que ahí existe, donde su mayor énfasis es la reubicación de corales en la zona central de Solwara fase 1.

El plan de cierre propuesto, será en base a los estudios que tiene la empresa Nautilus Minerals S.A, tomando los parámetros más significativos

- Flora y Fauna
- Luz
- Contaminación del Aire
- Micropartículas de mineral en suspensión

El plan de cierre contempla los cálculos de costo de equipo para la relocalización de corales en la zona extraída, de los cuales pueden variar dependiendo de las condiciones, tiempo de operación y factores climáticos que alterarían su duración estimada.

La propuesta de Plan de Cierre está diseñada desde la perspectiva de un estudiante y su base es solo teórica, debido a que en la actualidad aún no se realiza este tipo de minería.

## 1.4. Hipótesis

1. La demostración sustentable de la producción minera en el fondo del mar, sería un plus para la motivación de otras empresas y/o la exploración de otras zonas del fondo marino, potenciando este tipo de extracción de mineral. Siendo el principal enfoque entre la buena relación de la Minería con el Medio Ambiente.
2. La relación entre la mitigación de los procesos es inversamente proporcional al plan de cierre que se propondrá en esta tesis, debido a un buen control y/o ejecución de las mitigaciones se hará un plan de cierre más fácil de ejecutar y controlar, con la finalidad de dejar en similares condiciones el fondo marino, enfocándose en recuperar la flora y fauna que ahí se encuentra.
3. Una tercera hipótesis es que se puede destruir la cadena alimenticia de los seres, teniendo su principal consecuencia en las algas, que producen la fotosíntesis, las cuales son el escalón principal en la cadena alimenticia del ecosistema marino.



## **1.5. Justificación de Estudio**

El Impacto que generaría la extracción de mineral del fondo marino sería de gran importancia, dejando a Nautilus Minerals como pionero a nivel Mundial, debido a que en la actualidad esta operación no se realiza en ninguna parte del mundo.

Al potenciar la investigación sobre el impacto ambiental y demostrar que se puede extraer mineral sin dañar a grandes rasgos el Ecosistema, hace aumentar el estímulo de más proyectos de exploración de este tipo, además investigar los factores más relevantes que afectan o imposibilitan la realización de la Minería Submarina.

Desde hace años, la minería ha caído en su producción, esto se debe a la baja ley que se encuentra actualmente, se están buscando nuevas opciones de extracción minera y la Minería submarina es una de las prometedoras, aportando leyes medias de Cu del 6.8% y 4.8 Gr/ton de Oro, lo cual no se ve desde hace varios años. La problemática que resuelve esta investigación es el aumento de la minería y con ello una propuesta de plan de cierre para la promoción de una minería sustentable y su ecosistema Submarino.

Como futuro Ingeniero, debo estar siempre en un estado de actualización y mantenerme al tanto de las nuevas formas extractivas de minería en Chile y el exterior. Según mi opinión, yo creo que en un futuro la minería innovará a tal punto que no será como la conocemos, dando paso a la minería Submarina y/o minería espacial, dejando siempre claro que el medio ambiente es lo más importante para poder ejecutarse.

## CAPITULO 2. METODOLOGIA

### 2.1 Marco Metodológico

Para llevar a cabo el siguiente informe investigativo se desarrollará con:

- Visitas Sernageomin
- Solicitud de Información a empresa Nautilus Minerals
- Visita Departamento Gestión Ambiental
- Visita Ministerio del Medio Ambiente
- Consultorías al Profesor guía de Tesis
- Debate del Proyecto con otros Tesistas del Curso
- Solicitud de información web al Ministerio de Minería

Tabla 1- Planificación del Informe

Planificación Marco Metodológico																			
Actividades Investigativas	Mes 1			Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5			
	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Elección de Tema																			
Búsqueda Inf. On-Line																			
Correo Nautilus Minerals																			
Visita Sernageomin																			
Realización de Informe de Proyecto																			
Portada																			
Objetivos del Estudio																			
Justificación de estudio																			
Alcance																			
Objetivo 1 - 2																			
Objetivo 3 - 4																			
Objetivo 5 - 6																			
Objetivo 7 - 8																			
Corrección de detalles																			
Conclusiones																			
Crear PPT- Presentación																			
Bibliografía																			
Entrega Final																			

Fuente: Propia, 2018

## **CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **3.1 Descripción de Minería Submarina**

Como buen Ingeniero siempre se está en búsqueda de nuevas formas, métodos y zonas donde extraer mineral para satisfacer las demandas que el mercado pide, pero siempre buscando que el negocio deje rentabilidad económica sin dañar el medio ambiente y por sobre todo siendo amigable con las sociedad o pueblos aledaños que vivan en las zonas de extracción de mineral, ya que estos son tan decisivos como la rentabilidad de un proyecto minero.

En los últimos años se ha estado imponiendo el concepto de Minería en el Fondo del mar. Al principio solo pensar en el tema, suele ser algo descabellado para el tiempo que vivimos, pues no se ejecuta en la actualidad y suele ser algo innovador, pero la Minería se adapta a los entorno para la extracción del minera en las más extremas condiciones, como yacimientos de 4.000 msnm hasta en las profundidades del océano, como lo tiene planificado Nautilus Minerals con su proyecto Solwara1.

Este tipo de minería consiste en la extracción de Nódulos Polimetálicos o Fuentes Hidrotermales que son formados entre los 1.500 a 1.620 metros bajo el nivel del mar. A pesar que son grandes profundidades, los minerales que ahí se encuentran son complejos de encontrar en la superficie de manera cotidiana. Así lo afirma el Profesor de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Tokio.

“El Lodo marino es rico en metales raros como Gadolinio, Lutecio, Terbio y Dispronio, que son utilizados para fabricar televisores de pantalla plana, diodos de emir de luz y Coches Híbridos”

-Yasuhiro Kato.

### **3.1.1 Métodos Extractivos de Mineral Submarino**

En los últimos años el avance de la tecnología ha llegado a niveles que eran impensables el siglo anterior, gracias a esto, se está implementando nueva y más moderna tecnología al área minera, que facilita extraer mineral del fondo oceánico, para ello se tiene dos métodos:

-Sistema de Cubetas Continuas (CLB o Continouis-line Bucket): La que consiste en extraer el mineral mediante cubetas, usando un método como las correas trasportadoras. En la superficie se encuentra un barco, donde se extraen lo minerales de interés. Una vez separado los minerales, se devuelve el agua al fondo del océano y el mineral es separado para la siguiente etapa.

-Sistema de Succión Hidráulica: Para este sistema de extracción, una tubería baja al fondo del mar y succiona o transfiere los nódulos a un barco minero en la superficie, luego el mineral es procesado y mediante otra tubería se envía el agua, al fondo marino nuevamente.

### 3.2 Directrices del Proyecto

	<b>Proyecto Solwara 1</b>	<b>Propuesta de Plan de Cierre</b>
<b>Factibilidad Técnica</b>	El proyecto Solwara es factible, debido que se cuenta con los equipos para realizar la extracción y el yacimiento tiene ley para pagar todos sus procesos.	Por parte del plan de cierre, la Ley me obliga a tener un plan de cierre antes de comenzar a extraer mineral.
<b>Rentabilidad Económica</b>	No aplica, pues aún no se comienza a ejecutar el proyecto.	No aplica, debido que el alcance expresa que es de carácter cualitativo.
<b>Capacidad Financiera</b>	Aun no se define si el proyecto cuenta con la capacidad de pagar todos sus procesos, pues se encuentra en etapas prueba.	La tesis es de carácter cualitativo, debido a ello, no se aplica un análisis económico.
<b>Impacto Ambiental</b>	El impacto medio ambiental, es significativo a primera impresión, ya que el ecosistema oceánico es más delicado que cualquier otra zona donde se extraiga mineral en la actualidad. Para contrarrestar los inminentes impactos ambientales, se proponen un sinnúmero de mitigaciones para no ser influyentes en las alteraciones del ecosistema.	A pesar que todo proyecto tiene impactos ambientales en la zona donde se realice, la cantidad de ellos para un plan de cierre, son menores a los beneficios que contiene.
<b>Riesgos Operaciones</b>	Surgen riesgos por parte de los equipos extractivos, tubos de transportes y e intercambio de mineral entre barco plataforma con las barcasas de transporte. Estos son de carácter más complejo, mientras que los otros factores como operacionales, son de carácter humanos y son más fáciles de controlar.	Los riesgos Operacionales para el plan de cierre son menores, debido que se eliminan todos los procesos relacionados a la extracción o fugas de mineral. Los riesgos operacionales solo son de carácter humano.
<b>Armonía Comunitaria</b>	El proyecto podría implicar un interés por países cercanos a la Zona estratégica exclusiva donde se encuentran los sulfuros polimetálicos, esto hace referencia a su ubicación en aguas internacionales y solo se rigen por la normativa dictada en la O.N.U y cualquier país puede solicitar un permiso de exploraciones y posterior a ello un permiso de extracción como lo ha solicitado Nautilus Minerals.	Respecto a los posibles intereses que se presenten por parte de los países aledaños al proyecto, es beneficioso que se tome interés en este tema, para proponer nuevos planes de cierre e ir adaptado este nuevo estilo de minería a los ecosistemas donde se encuentran los minerales como lo ha hecho la minería sub-terránea y a rajo abierto.

### 3.3. Descripción del Proyecto

Es considerado el primer proyecto de extracción de sulfuros polimetálicos de alta ley en minería submarina, ubicado en Papúa, Nueva Guinea al norte de Rabaul, aproximadamente unos 50Km del lugar mencionado como lo muestra la siguiente imagen

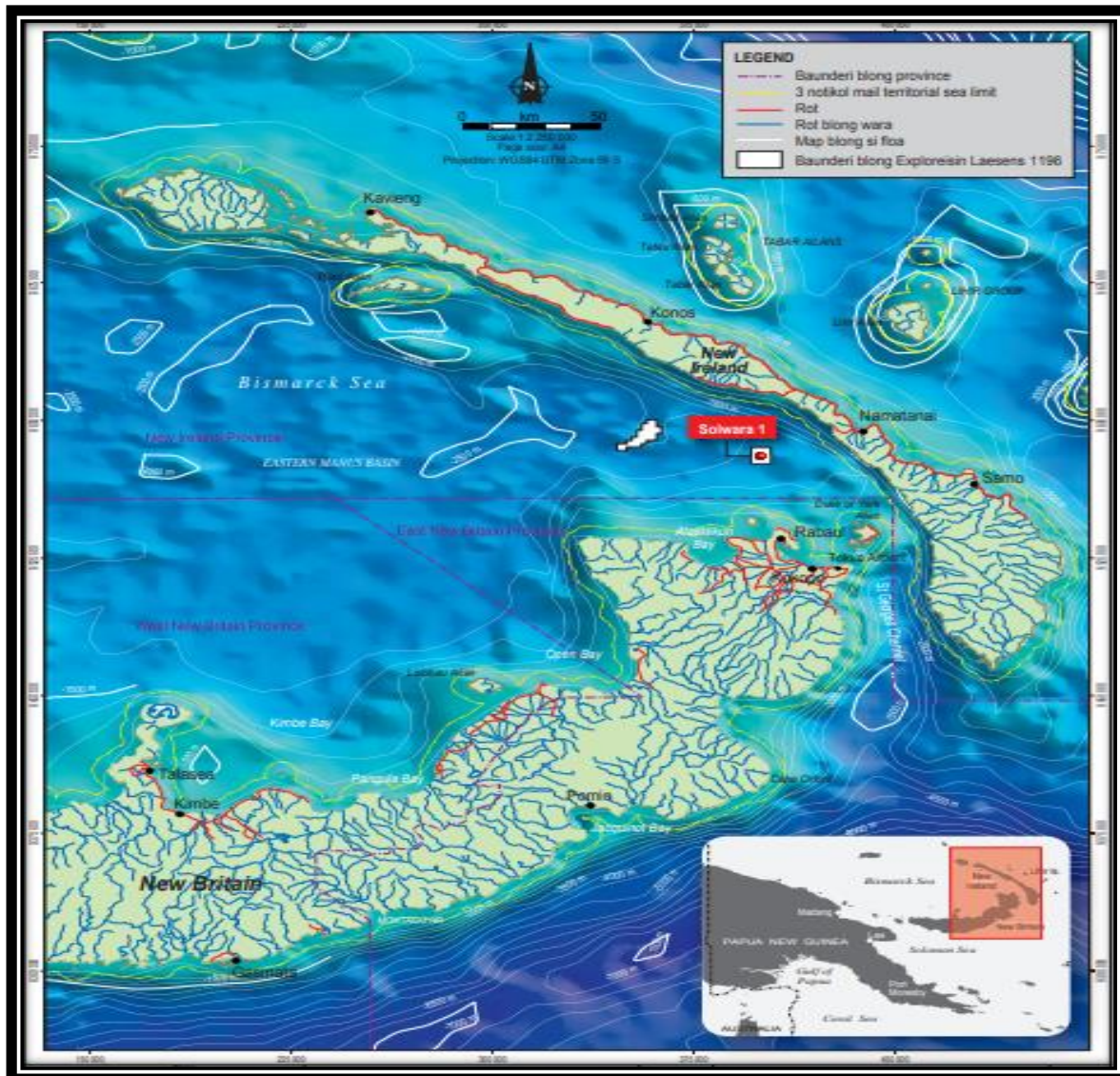


Figura 1- Mapa de Solwara 1

Fuente: Nautilus Minerals, 2018

### 3.3.1 Fases del Proyecto

El Proyecto extractivo de sulfuros polimetálicos está considerado mediante dos fases para llevar a cabo la extracción y comercialización de estos sulfuros. La primera fase consta de la extracción de zona central de Solwara como se explica a continuación. Mientras que la segunda fase hace referencia a su transbordo y almacenamiento en tierra firme.

Las fases mencionadas poseen estudio de impacto ambiental independientes, solo la ejecución de la fase 2 de este proyecto se llevara a cabo cuando el EIA de la fase 1 este completado, de ser negada la fase 2, se debe corregir mediante los parámetros establecidos por el Acta medioambiental del año 2.000 promulgada por la Organización de Naciones Unidas (ONU).

- Fase 1: La primera etapa del proyecto o también considerada su etapa fundamental, cuenta con el procesos de extraer desde el fondo marino a la superficie de un barco, los minerales que allí se encuentran. Estos minerales encontrados en la fase de exploración son: Cobre, Oro, Zinc y Plata, para ello utiliza maquinarias que son sumergidas a una profundidad de 1.600<sup>1</sup> mbnm aproximadamente; en donde se realiza un pre-stripping con la finalidad de remover el lastre marino para llegar al cuerpo mineralizado.

Una vez ahí, las maquinas Cortadora rasca el fondo marino para que posteriormente otra maquinaria (máquina de Succión) succione las partículas ya rasgadas y las envíe a un barco o plataforma flotante que almacenará el material, además tiene la función de separar el sólido del agua absorbida. Esta última es devuelta al fondo marino. Mientras que el material sólido es depositado sobre un barco retenedor temporal o barcaza que transportará el material al centro de retención del puerto Rabaul.

---

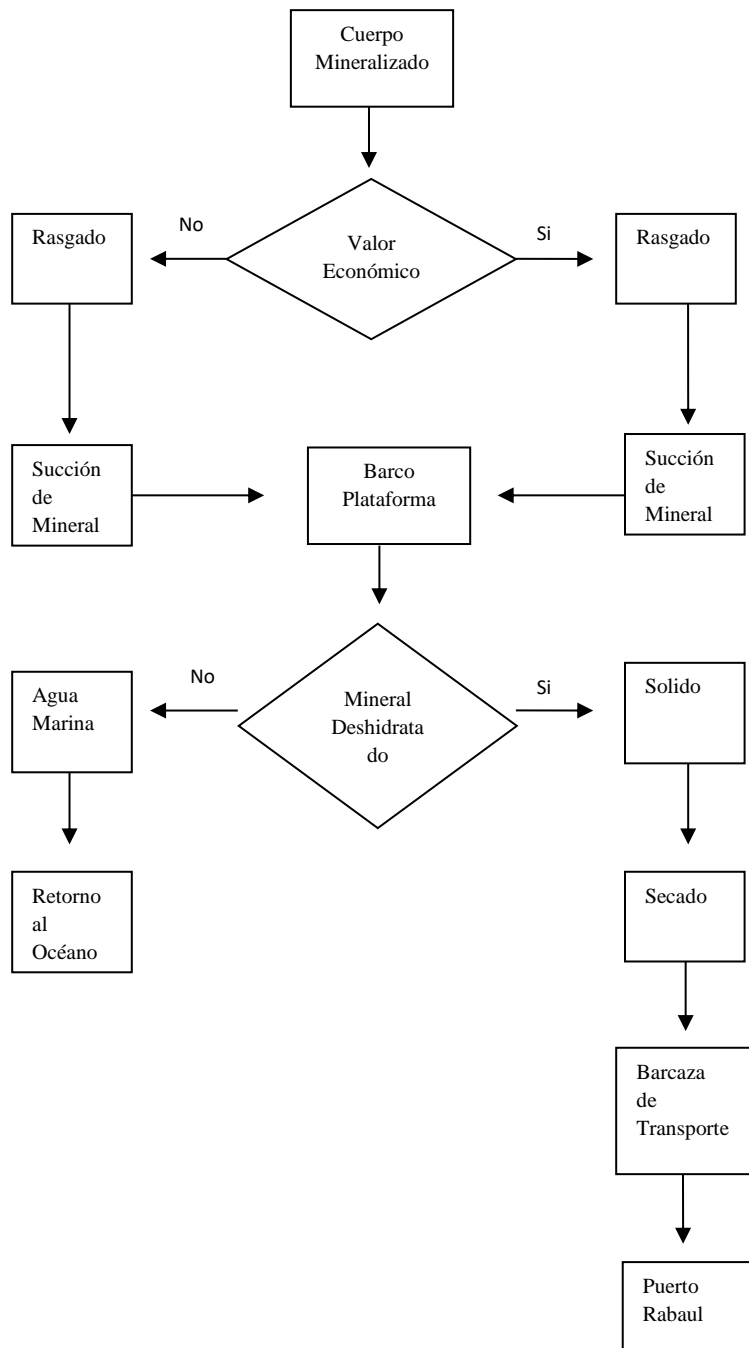
<sup>1</sup> Es una distancia tentativa a donde se pretende llegar extrayendo el cuerpo mineralizado, debido que la cota real de los sulfuros polimetálicos está en la cota 1520 mbnm.

- Fase 2: La etapa secundaria procederá su ejecución una vez que la fase 1 esté en marcha. Esta Fase tiene como finalidad instalar una planta de concentradora para recuperar el Cobre, Oro, Zinc y Plata. Y estará ubicada en PNG, la ubicación exacta aún no se conoce debido a la no ejecución de la Fase 1 a la fecha de Abril del presente año.

Una vez concentrados los minerales, son vendidos como concentrado a plantas de tratamiento en el extranjero, principalmente China.



### 3.3.2. Diagrama de Procesos de Minería Submarina



Fuente: Propia, 2018

### 3.3.3. Recursos y Reservas

Para tener una información más precisa sobre el cuerpo geológico, La empresa Nautilus Minerals realizó en el año 2007 una malla de exploración del fondo marino con 111 pozos de 20 metros de profundidad, obteniendo un 38% de las perforaciones dentro del cuerpo mineralizado.

No se reconoce de manera segura las dimensiones sobre las delimitantes del cuerpo geológico, sobre si continúa sobre los 20 metros de profundidad ya explorados. Ante este caso existen dos variables:

- 1.- Extraer el cuerpo mineralizado del lecho marino hasta que deje de ser rentable<sup>2</sup>
- 2.-Extraer el cuerpo hasta que se agote por completo (si no continúa sobre los 20 mts. de profundidad aproximadamente)<sup>3</sup>

Una vez explorado el fondo marino, y revisado los testigos por geólogos internacionales, se ha calculado la estimación de recursos, obteniendo la siguiente información:

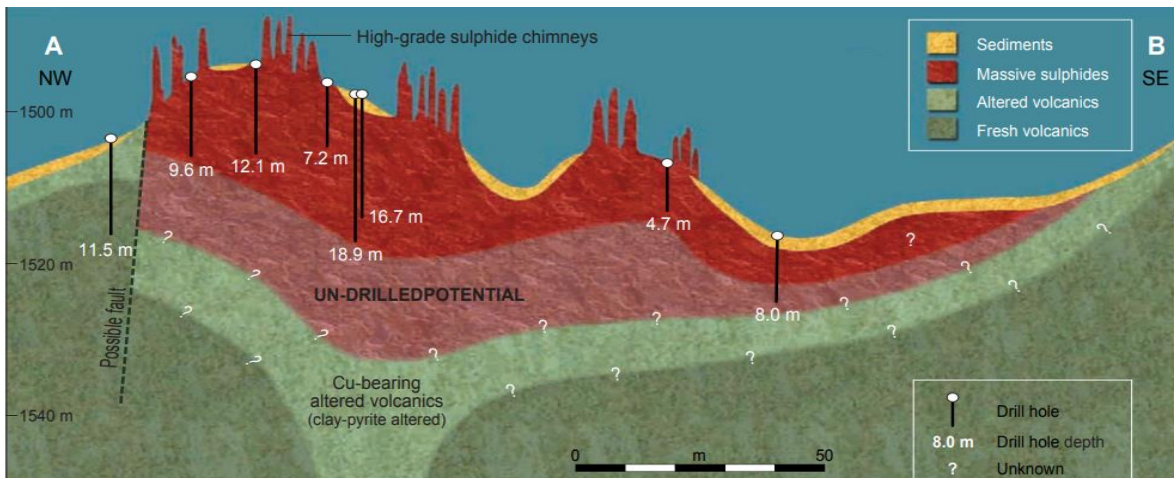


Figura 2 - Vista Lateral del Cuerpo Mineralizado

Fuente: environmental impact\_ Volumen A- Figures and Plates, 2018

<sup>2</sup> Esta opción es poco válida a la realidad, debido que las leyes que se encuentran son muy elevadas haciendo el yacimiento rentable desde todo punto de vista económico.

<sup>3</sup> Solo hace referencia a la Zona central de Solwara 1, debido que existen Zonas aledañas que forman parte de la Fase 1. Esta fase consta de 5 Zonas mineralizadas independientes cada una.

Como lo muestra la imagen anterior el cuerpo de sulfuro polimetálico, tiene sedimentos o estéril sobre sí mismo, dando una tarea previa antes de su extracción y también deja una duda sobre qué leyes se encuentran bajo el cuerpo ya conocido. Debido a que no se ha explorado y esto se podrá conocer a medida que se va extrayendo poco a poco el mineral.

Tabla 2- Recursos y Reservas

	<b>Cuerpo Mineralizado</b>	<b>Ley de Cu (%)</b>	<b>Cobre Fino (t)</b>	<b>PPT de Au</b>	<b>Oro Fino (Oz)</b>
<b>Reservas</b>	870.000 ton	6.8%	<b>59.160</b>	4.8 g/ton	<b>134.264</b>
<b>Recursos</b>	1.300.000 ton	7.5%	97.500	7.2 g/ton	300.936

Fuente: Nautilus Minerals, 2007

El proyecto Solwara con su fase 1 consta de 5 zonas a extraer:

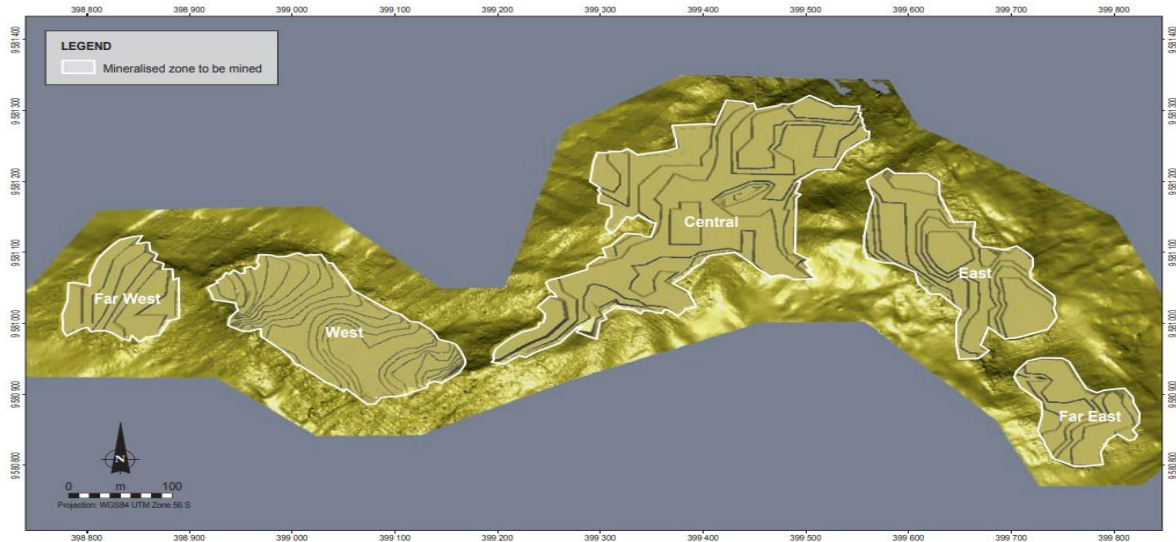


Figura 3 - Zonas extractivas del Proyecto

Fuente: environmental impact\_ Volumen A- Figures and Plates

### **3.3.4 Zonas extractivas de Solwara**

1. Zona Central
2. Zona Este
3. Zona Este Alejada
4. Zona Oeste
5. Zona Oeste Alejada

Los sedimentos ricos en sulfuro que se encuentran a poca profundidad, no tienen una gran presión por parte de las rocas y que se encuentran sobre ellos, haciendo que su dureza no sea de manera significativa o generando una gran importancia para su extracción y el desgaste de maquinaria que esto conlleva no sea tan alto como lo son las perforaciones en diamantina en las fases de exploración minera a gran profundidad o perforaciones de avance en minería subterránea.

La zona central del proyecto Solwara 1 (ver imagen 3), es la primera zona a ejecutar los procesos extractivo de mineral, luego se procede por la extracción de la Zona Este y una vez que terminen ambas Zonas, se culmina en la zona este Alejada. Cuando las tres fases anteriormente mencionadas, estén completamente extraída, se retornara a la Zona Oeste, terminado todo el proyecto Solwara 1.

Como se ha mencionado, la primera zona en ser extraída es la Zona central, por lo que el plan de cierre que se pretende implementar ocurrirá en dicha zona.

## **3.4. Método Extractivo del Proyecto**

### **3.4.1 Pre-Stripping Marino**

Como se hace mención en la página anterior, el proyecto tiene la finalidad de extraer 5 zonas, teniendo su inicio en una zona submarina central e ir procediendo la extracción de ganga hacia el interior de la cota oceánica. Se estima una extracción de 108.000 toneladas de sedimento marino sin valor económico o también denominado estéril.

Este sedimento fino cubre todo el cuerpo mineralizado de sulfuros de cobre, haciendo una capa que recubre el cuerpo mineralizado. También esta zona esta se encuentra roca con leyes menores, las cuales también serán removida como estéril.

El estéril removido por la máquina, se bombea a la superficie a través de una tubería conectada a la parte inferior del equipo. Luego una bomba impulsa este estéril, que está compuesto por mineral y agua, siendo un su totalidad sobre un 80% de agua más que el material de estéril.

En la superficie un barco plataforma hace recepción del estéril compuesto por agua y material sólido, separando el material solido del agua<sup>4</sup> y devolviendo esta última al fondo marino.

Una vez separado el estéril del agua, éste es depositado en unas barcadas, las cuales almacenan el estéril para posteriormente ser transportado al puerto Rabaul y ahí tener su almacenamiento. Teniendo el material de estéril en el puerto, comienza la segunda fase del proyecto Solwara.

---

<sup>4</sup> El barco separa el sólido del agua mediante un proceso similar a lo que realizan las lavadoras, llamado Hidrociclón

### 3.4.2 Características del Estéril

El estéril que cubre los sulfuros polimetálicos a 1600 metros de profundidad, es estéril de poca dureza, debido que su densidad solo es de 1.2 t/m<sup>3</sup>. La cantidad de estéril que se pretende remover es de unos 108.000 m<sup>3</sup>. El tiempo que tarda esta re movición es de 1 año y 9 meses. Para lograr esta cantidad en el tiempo mencionado, tendrá un flujo de 1.000m<sup>3</sup>/hora de material de descarga con una relación de 1:9 respecto a sólido de agua de mar.

En su mayoría posee una profundidad de 2 metros que cubre el cuerpo mineralizado, este estéril es una especie de biomasa Marina.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Son desechos de seres vivos, que también está compuesta por microorganismo que ahí se encuentran y estos últimos tienen la función de realizar la descomposición.

### 3.4.3. Sistema de Elevación de Mineral

Para elevar el mineral o lodo marino, se utilizará una bomba de elevación en la parte inferior de la tubería ascendente. Este sistema es una bomba grande de unos 425 caballos de fuerza, que tiene la capacidad de transportar un caudal de 1.000 M<sup>3</sup>/Hora.

El sistema mencionado está formado por dos tuberías de transporte, que son controladas desde la superficie (barco plataforma). Una de estas cañerías cumple la función de ser el conducto desde el fondo marino hacia el barco, mientras que la otra tiene la finalidad de devolver el agua obtenida del proceso de deshidratación del mineral, hacia el fondo marino. Este sistema permite mantener una producción constante para alcanzar las 59.000 toneladas diarias de producción. Pero en el caso de un imprevisto que se pierda flujo, automáticamente se purga una válvula de suspensión del tubo ascendente, devolviendo al lecho marino el material dragado, así evitando un bloqueo del sistema.

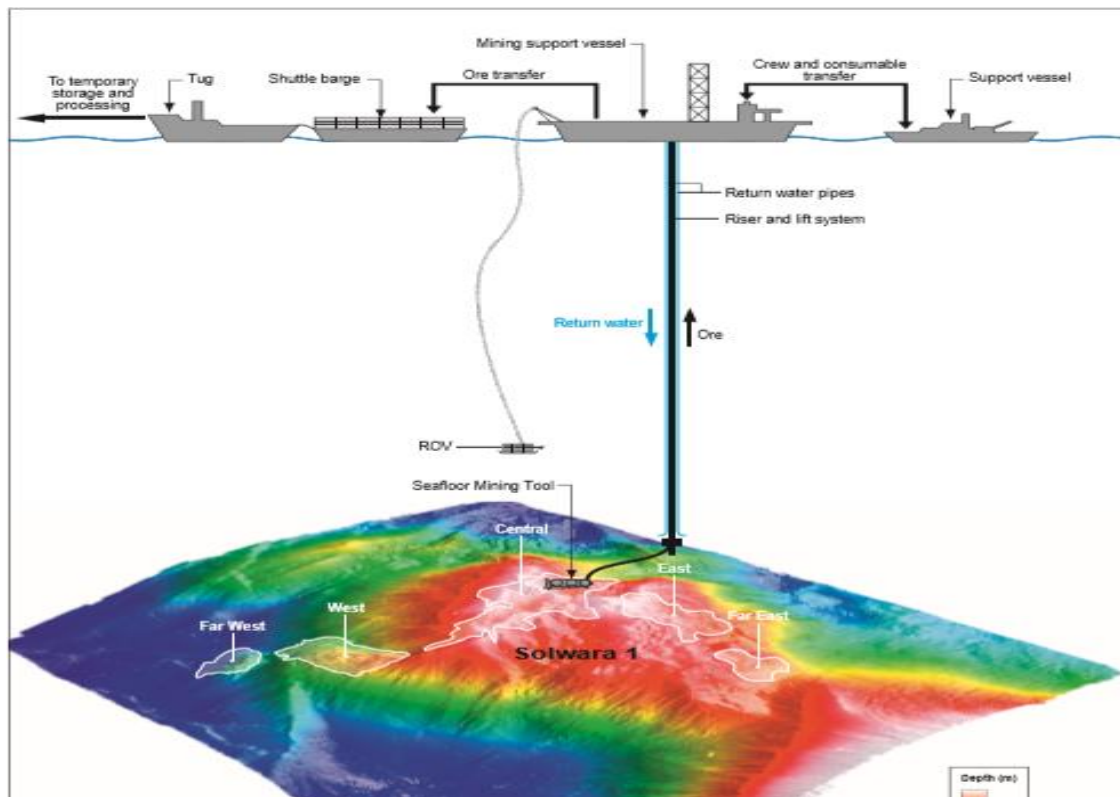


Figura 4 - Descripción del Proceso Extractivo

Fuente: Environmental Impact Statemen\_Executive Summary

En la realidad nada es perfecto y aunque se calculen hasta los mínimos detalles puede ocurrir algún imprevisto. En caso de ocurrir una emergencia, el tubo ascendente que envía el mineral desde el cuerpo mineralizado hacia el barco plataforma, dejará de realizar esa función y devuelve 11 m<sup>3</sup> de mineral dragado de vuelta al fondo del mar.

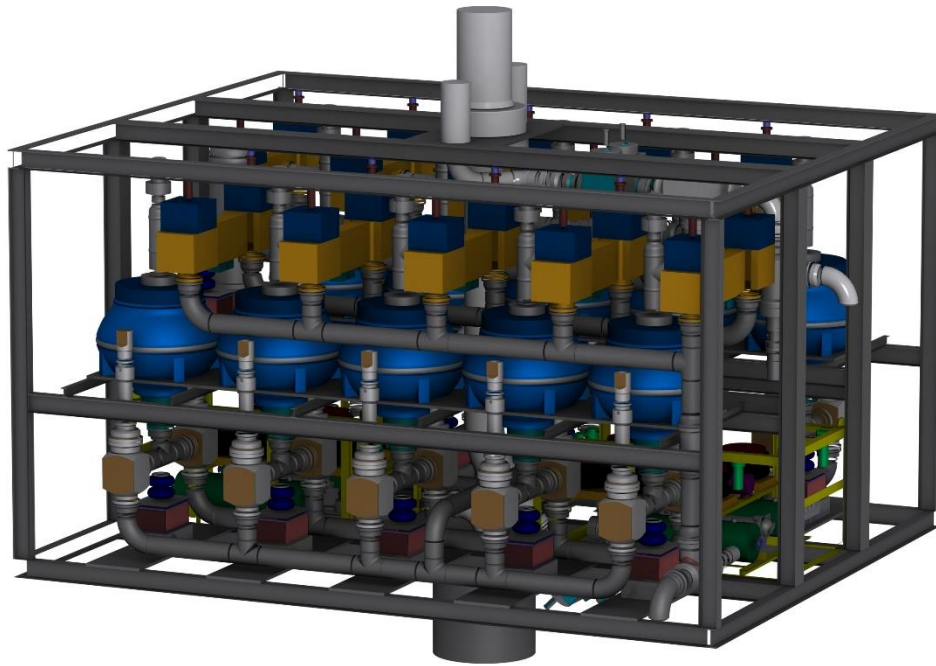


Figura 5 - Motor de elevación de Mineral

Fuente: Nautilus Minerals

Respecto al equipo de bombeo o elevación que impulsa el mineral, como se representa en la imagen 5, éste tiene un caudal del 24.000 Litro/día, eso es bastante, pero comparado con el caudal de agua que circula ahí solo representa al 0.3%, esto es muy bajo comparado con los 8.800.000 Litros/día que existe en Solwara.



### 3.4.3.1. Equipos de Extracción

Los equipos, tanto cortador, auxiliar y equipo de dragado que se usaran tienen la capacidad de operar con pendientes de 20° en el fondo marino y tendrán una velocidad máxima de 2km/h para su desplazamiento, mientras que si está en funciones de corte, o absorción de material, podrá desplazarse a 30 m/h. (Nautilus Minerals Niugini Limited, Septiembre 2008)

### 3.4.3.2. Barco Plataforma

Para las labores de control y deshidratación de roca, se utilizará una plataforma, la cual es operada con 180 personas a bordo y será el principal punto de apoyo para las labores que se realizan en el fondo del océano, siendo la fuente de energía, monitoreo y despacho de mineral al puerto Rabaul.

Para mantener la misma ubicación constante en el mismo punto y no generar problemas por desplazamientos en los equipos que se encuentran en el fondo marino, este barco plataforma usa Georreferencia para mantenerse en el mismo punto a pesar de olas o vaivenes marinos.

Tabla 3 - Características del Barco Plataforma

Partes de la Plataforma	Detalle
Largo	160 metros
Ancho	30 metros
Velocidad Máxima	17 nudos o 31.484 Kilómetros/Hora
Capacidad	14.200 Toneladas
Superficie de Cubierta	2.900 m <sup>2</sup>
Capacidad lastre obtenido del agua	8.000 m <sup>3</sup>
Grúa de Cubierta	50 Toneladas
Grúa de Cubierta 2	400 Toneladas
Costo diario	US \$199,910

Fuente: Environmental Impact Stateme - Pag 55, 2018

La plataforma flotante que se muestra en la figura 6, tiene la finalidad de transportar todos los equipos extractivos de mineral desde la superficie hasta su ubicación en el fondo del mar. Para ello, como lo muestra la tabla de especificación anterior, ésta cuenta con una grúa de 400 toneladas, la cual enviará al fondo marino los equipos y será responsable de la selectiva extracción de estos. Esto se encuentra previamente programado por las mantenciones pertinentes que puedan tener los tres equipos bajo el fondo marino.



Figura 6 - Barco Plataforma

Fuente: [Logisticsmiddleeast.com](http://Logisticsmiddleeast.com)

También este barco cuenta con la más alta tecnología de precisión y rastreo por radar, para conocer la ubicación exacta de los equipos extractivos y así moverse en el mismo sentido que se va extrayendo los sulfuros polimetálicos. Cada equipo de extracción de mineral debe llevar una baliza de transmisión constante para tener la noción exacta del equipo, además los equipos son revisados constantemente mientras se encuentran en el fondo marino.

En el caso de tener alteraciones de marea baja o marea alta, la plataforma aguanta olas de unos 3.5 metros, debido a factores no controlables como sismicidad (de baja intensidad) o efecto de marejadas.

Para su manipulación y control total de todas las operaciones, incluidas las de manipulación de equipo en el fondo marino, se consideran 180 personas, las que se forman en dos equipos dando origen a turnos de 12 horas.

### 3.4.3.3 Equipo Cortador

Es un equipo que tiene una cabeza cortadora y un tambor de 2 metros de diámetro, con una pluma hidráulica que permite moverse de forma vertical y horizontalmente, dando una máxima capacidad de almacenamiento de material mientras está estacionado.

El cortador puede extraer mineral de franjas marina de 1.8 metros de ancho y 650 milímetros de profundidad, delimitando al equipo en zonas con características distintas.

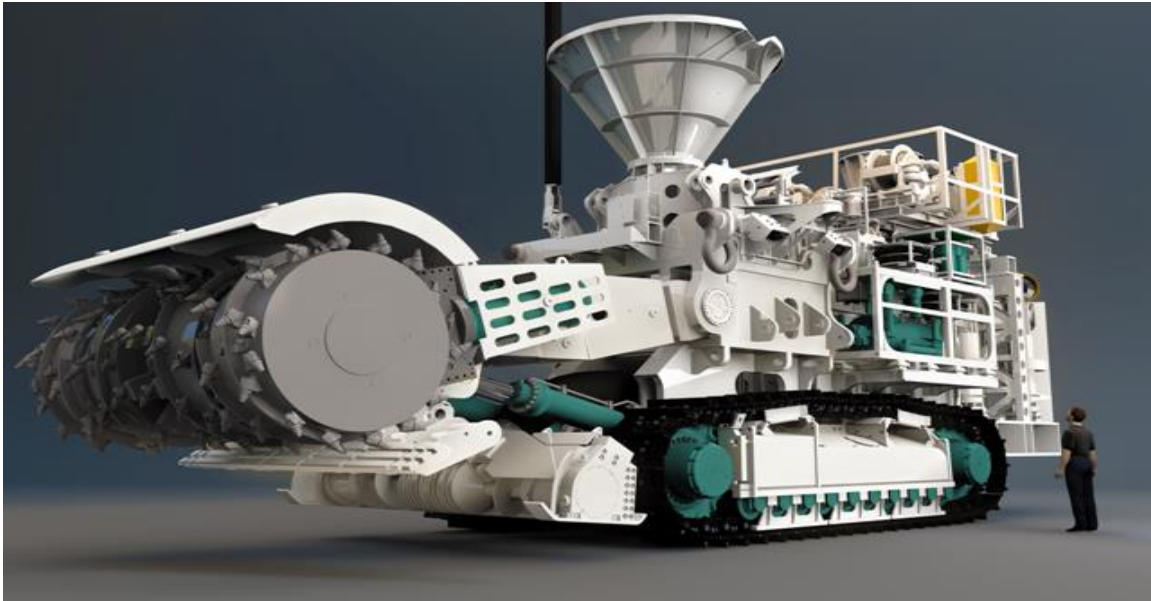


Figura 7 - Equipo Cortador submarino

Fuente: Nautilus Minerals, 2018

Se estima que el 30% del material cortado quedara en la superficie del lecho marino y de ese 30% solo el 10% restante no será absorbido por los equipos posteriores, debido al diseño que poseen, dando como una recuperación del 90% del yacimiento.

#### 3.4.3.4. Equipo Cortador Auxiliar

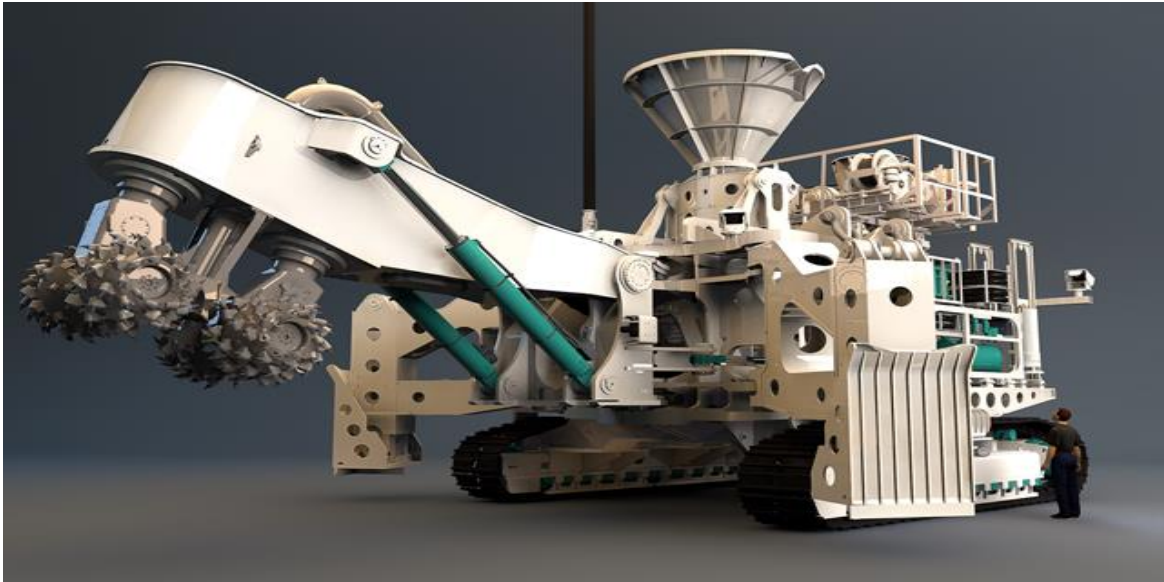


Figura 8- Cortador Auxiliar Submarino

Fuente: Nautilus Minerals, 2017

Este equipo es la principal maquinaria para realizar la trituración de aquellas zonas que no tiene mineral y no solo eso, sino que también está preparada para realizar el banqueo o preparación de cotas dentro de las etapas de extracción en su fase 1 como lo muestra la figura 3 en la extracción de la zona central.

La alimentación energética proviene desde el barco plataforma, a través de un cable que mide más de 1580 metros aproximadamente y permite el telecontrol por parte del equipo de operaciones del barco.

Las mantenciones para este equipo y los otros ya mencionados, son programadas por un periodo no mayor a 30 días, y para no detener la producción, se envía otro cortador auxiliar antes de extraer el otro equipo del fondo marino. Eso hace requerir a la empresa Nautilus Minerals, con una flota de 2 equipos de estas características.

### 3.4.3.5 Equipo de Succión de Mineral

Se usará un equipo que tiene un peso neto de 250 toneladas, este peso es en tierra firme y una vez sumergido en profundidad, tendrá un peso de 190 toneladas. La variación sería de 60 toneladas al ser sumergida 1600 metros. Esta máquina tiene 8 metros de altura, 17 metros de largo y 13 metros de ancho. Es un monstruo de la ingeniería que haría posible la remoción del fondo marino con interés económico.

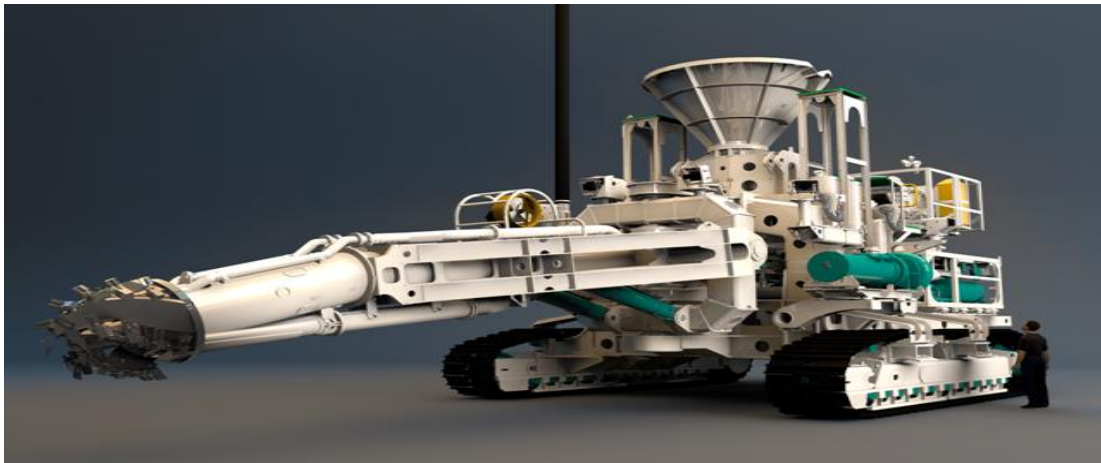


Figura 9 – Equipo Succionador de Mineral

Fuente: Nautulis Minerals, 2017

La empresa que construyó este equipo afirma que puede trabajar hasta 2.500 metros de profundidad sin ningún problema. La temperatura no es influyente para este equipo, debido que cuenta con la capacidad de funcionar entre 0° a 35°C. Para su producción constante se cuenta con dos equipos, de los cuales, solo uno se encontrará en funcionamiento y el otro equipo estará en mantención o de reserva para producción cuando se necesite.

Para lograr la producción de 5.900 t/d será asistido por dos equipos auxiliares, los cuales son los mencionados anteriormente y tienen la misión de facilitar la función entregando el mineral.

### **3.4.3.6 Barcaza de transferencia de Mineral**

Estas barcazas necesarias para el transporte del mineral deshidratado, desde el barco plataforma hacia el puerto Rabaul, tienen la capacidad de almacenar 6.000 toneladas de material, para hacer la segunda fase del proyecto en el puerto anteriormente mencionado.

Considerando un flujo productivo de 5.900 toneladas por día, una barcaza tendrá un flujo al puerto entre 3 a 9 veces por semana aproximadamente. Para esto cuenta con una longitud de 85 metros por 25 metros de ancho. Su velocidad es de 4.5 nudos como velocidad máxima y tarda una hora en ser remolcada por lanchas o salir del puerto. (Nautilus Minerals, Febrero 2018 ).

### **3.4.3.7. Tubería de transferencia de agua al fondo marino**

La tubería encargada de generar la devolución al fondo marino, es de característica flexible, con 229 milímetros de diámetro y tendrá aproximadamente 150 metros de longitud. Esta tubería tendrá un blindaje de acero con revestimiento para flotar, los que estarán ubicados cada 100 metros para ayudar a crear un forma de S, la que permite dar un rango operativo horizontalmente de 80 a 130 metros y horizontalmente de 10 a 60 metros.

### 3.5 Producción

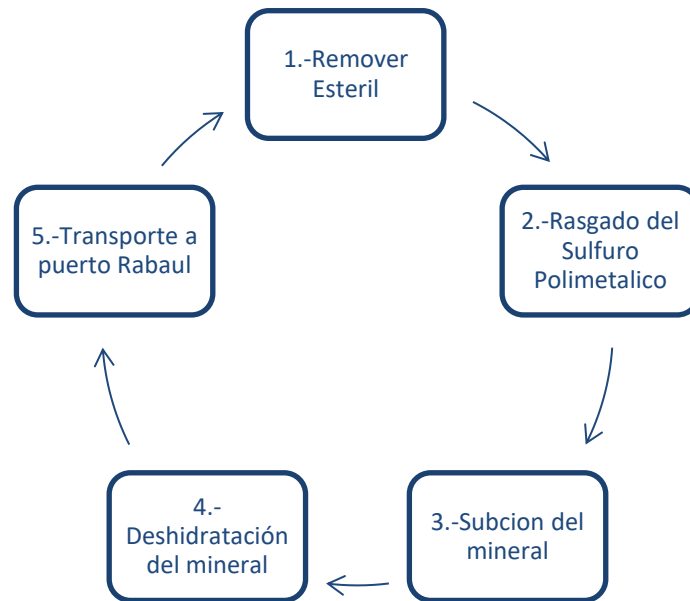


Figura 10 - Ciclo de procesos productivos

Fuente: Propia, 2018

La producción como se ha mencionado anteriormente es de 5.900 toneladas por día trabajado, para ello se transporta succionando el fondo marino con una frecuencia de 20 horas al día, dejando las 4 horas restante para realizar mantenciones, chequeo y monitoreo de la zona extractiva.

Al igual que la minería a rajo abierto, se tiene contemplado banquear el fondo marino una vez extraído el estéril, con bancos de 2.5 a 3.5 metros de alto. Para lograrlo se tiene un avance promedio de 180 metros por día y con una velocidad de 1.000 m<sup>3</sup> por hora. Pero surge la interrogante: ¿cómo será el material que se extrae?, en un principio el mineral (Sulfuros polimetálicos) es bombeados al barco plataforma con una relación de 1:9 entre sólido y el agua del mar. Al llegar a la plataforma, éste tiene una variación de 3° (temperatura en el fondo del mar) a 5.2° (temperatura que se encuentra al llegar al barco plataforma). (Nautilus Minerals Niugini Limited, Septiembre 2008)

Una vez el material en la superficie (entiéndase barco plataforma) es deshidratado mediante hidrocuciones y filtros de disco, este proceso se realiza a bordo de la plataforma, más específicamente en una de sus cámaras de deshidratación. Este proceso capta, recolecta y selecciona todas partículas con granulometría de 8 micras y las restante son devueltas al fondo marino por una tubería. Respecto al mineral separado es transferido directamente a unas barcazas lanzaderas que transportan el mineral ya secado al puerto Rabaul. El mineral que se transporta tiene una humedad de un 5 a 10% con una densidad aparente de  $2T/m^3$ . (Nautilus Minerals, Febrero 2018 ).

En el caso de que ocurra algún derrame de mineral o para evitar este suceso, se tiene planificado la detección completa de las operaciones de traspaso cuando se realice un cambio de barcaza.

Respecto al agua y material devuelto al océano, se tiene una concentración de 6.350 mg por litro de agua marina y para mitigar los efectos que tendría en el ecosistema, esta agua pasará por un colador de 100 Micras para eliminar cualquier micropartículas que afecte al ecosistema. La velocidad de descarga es de  $0.3 m^3/s$ . Esto genera una alteración de sedimentos suspendidos, debido que de no ser tan pesado, tardarán en decantar sobre el lecho marino. A pesar de lo mencionado, no se producen alteraciones geoquímicas o de otro tipo, lo que se toma en consideración es un tiempo de 12 minutos en decantación de partículas (este tiempo fue medido en laboratorio asimilando condiciones del proyecto en terreno).

El proceso completo de deshidratación del mineral tarda solo 12 minutos y tan solo 6 minutos en devolver el agua obtenida del lodo marino, con la única variable de temperatura, debido que tendría una variación de  $5.8^\circ$  a  $11.4^\circ$ , considerando esto para contener la variación de la temperatura en el fondo marino. Esta variable está sujeta a las condiciones del ecosistema, dando variaciones bajas o más altas, sin salir de los márgenes establecidos.



### 3.6. Factores Incontrolables

- Un factor que puede generar complicaciones para el desarrollo del proceso es la corriente que se produce en el fondo del océano, debido que podrían generar movimientos sobre las partículas o producir dificultad en el desplazamiento de los equipos extractivos. Pero las corrientes alteran solo los tubos de transporte de lodo marino a superficie. Esta complicación solo se ve alterada desde el barco plataforma hasta unos 1.200 metros de profundidad.
- Otro factor que no es controlable, son los caracoles u otro ser vivo que se adhieran a la superficie de las tuberías que transporta mineral o devuelven agua al océano. No se conoce la cantidad que se puede añadir a la superficie mencionada, pero si serán removido al final de todo el proceso extractivo.
- El factor de ruido por parte del sistema de elevación de mineral y también por el barco plataforma, esto es inevitable durante una operación normal. En el peor de los casos, cuando los mamíferos como las ballenas se encuentren a menos de 1 Km del barco, el nivel de potencia de los equipos mencionados disminuirá su potencia, siempre que mantengan la seguridad de las operaciones. Así se evitarían daños fisiológicos significativos producidos por las ondas de ruido de dichos equipos.
- Como cuarto factor incontrolable tenemos el clima que se podría generar en las zonas del proyecto. Esto hace referencia a tormentas o marejadas que compliquen las operaciones o pongan en riesgo las personas y/o equipos. Cuando se encuentren en una situación así y dependiendo de la gravedad y la durabilidad del caso, las medidas a ejecutar serán responsabilidad del gerente de Nautilus S.A. Se recuperará los equipos del fondo marino y se recuperarán en el barco plataforma y llevadas al puerto Rabaul para resguardar el personal y equipos con distancia entre el barco y la lanzadera.

### **3.7 Vida Útil del Yacimiento**

Con los cálculos de las reservas, se tiene un resultado de 30 meses de producción, siempre y cuando se mantenga una producción de 5.800 a 5.900 t/d<sup>6</sup>. Dando una vida de 2,5 años a esta etapa, pero cabe recordar que aún falta una segunda fase de exploración, que es aquello que se encuentra bajo los 20 metros del cuerpo geológico encontrado, lo cual se irá conociendo a medida que se va extrayendo el cuerpo mineralizado. De ser así, la vida útil podría extenderse a 5 años aproximadamente, todo cambiaría dependiendo de las concentraciones de mineral que se encuentren aún más en lo profundo del yacimiento.

---

<sup>6</sup> Esta queda sujeta a modificaciones climáticas, debido que existen factores incontrolables que alteraran la producción, como clima, sismos y corrientes marinas, que bajarían la producción contemplada.

## CAPITULO 4. MEDIO AMBIENTE

### 4.1 Efecto de Luz

La primera prioridad al ejecutar Solwara 1 es conservar el ecosistema marino en su máxima expresión, conservando el bienestar de Ballenas, Tiburones y Tortugas. Es así que la profundidad hasta llegar al fondo marino se ha dividido en tres Zonas midiendo la luz que llega hasta los sulfuros polimetálicos:

- Zona Epipelágica: Se encuentra bien iluminada y su profundidad va desde 0 a 200 metros

En esta zona, la penetración de luz es bastante, la cual permite la vida mediante la fotosíntesis, pero el proceso fotosíntesis no supera los 80 metros de profundidad. Esta zona conserva la mayor diversidad biológica, habitada por grandes depredadores como Atunes y Tiburones. También existe un ecosistema impulsado por diversos organismos microbianos en esta zona que se alimenta de descomposición.

La Fotosíntesis solo se produce en las zonas donde hay suficiente luz solar.

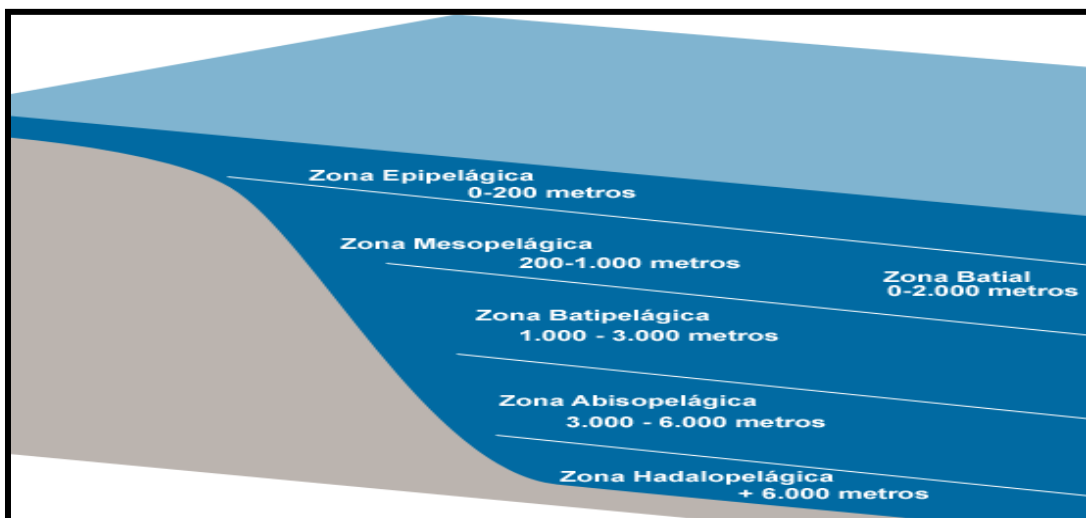


Figura 11 – Zonas de profundidad Marina

Fuentes: [4bg-naturalmente.blogspot.cl/2010/05/4bio-ud7-los-intercambios-de-materia](http://4bg-naturalmente.blogspot.cl/2010/05/4bio-ud7-los-intercambios-de-materia)

- Zona Mesopelágica: Tiene poca iluminación de luz y su profundidad de 200 a 1.000m

Esta zona se caracteriza porque penetra poca luz y tiene bajas temperaturas, el oxígeno que se encuentra es muy bajo comparado con la zona epipelágica. Al no llegar la luz con gran intensidad, los organismos que ahí se encuentran utilizan bioluminiscencia para su supervivencia y poder captar sus presas.

- Zona Batipelágica: Sin penetración de luz y su profundidad es sobre los 1.000 m.

Esta zona encuentra seres vivos con baja tasa de metabolismo y esqueletos blandos. Aquí la luz no llega, por lo que son muy importante los organismos que producen la bioluminiscencia.

Prácticamente no hay luz diurna que pueda alcanzar los 1.000 m de profundidad en agua clara, dado que ésta solo llega hasta los 80 metros, es ahí donde se produce una fotosíntesis por parte de las plantas que ahí habitan, dando real importancia la bioluminiscencia en zonas más profundas del océano.

Recordando que el cuerpo mineralizado se encuentra en la zona batipelágica, la decantación de micropartículas eliminadas por el barco plataforma sumado a la remoción de los sulfuros polimetálicos, produciría una disminución de la visibilidad haciendo que los equipos trabajen en todo momento con luz encendida (algo muy obvio) pero esto afectaría a animales como tortugas, causando confusión o interferencia con aquellos peces que usan bioluminiscencia.

La luminosidad es un tema delicado y bastante complejo, debido que los equipos poseen luz de alta intensidad para tener mayor visión de sus procesos. La misma luz que emiten los equipos submarinos podría desorientar a las tortugas y peces que se encuentren cercanos al área de operación.

Los equipos tienen una luminosidad que alcanza desde los 3 a 6 metros de distancia, esto atraerá peces que serán succionados por las maquinas rasgadoras. Para evitar que ocurra destrucción de seres vivos, al momento de succionar mineral, las luces serán enfocadas a otra dirección, direccionado aquellos que se encuentren cerca en el momento del transporte de mineral a la superficie.

## 4.2 Ecosistema

Existe la mínima posibilidad, de que algunas de las especies en peligro de extinción, de las que se mencionan a continuación, pasen por el área donde se lleva a cabo el proyecto, de ser este el caso, se genera una pausa o detención de las actividades, para evitar cualquier daño que se pueda ocasionar a estas especies, teniendo énfasis en conservar la flora y fauna que ahí existe.

- Peces: Aquellas especies que se encuentran en la zona, son cazadas por las pesqueras comerciales. Pero las especies como atunes se encuentran principalmente en la zona epipelágica, pero incluso el atún viaja a una profundidad de 615 metros, pero no solo atún se encuentra cercana a Solwara1, sino que también habitan pez espada y pez linterna



Figura 12 – Atún

Fuente: [www.diariodenautica.com](http://www.diariodenautica.com)

- Crustáceos: Se encuentran en todas las zonas del proyecto, ya sea zona central como las otras etapas como se describen en la figura 13, son la principal dieta de muchos depredadores grandes, incluidos el atún. Los crustáceos encontrados ahí son principalmente Langostinos



Figura 13 - Langostino Peneido

Fuente: (Bermejo, 2018)

- Cetáceos: Corresponde a los Grupos de mamíferos como ballenas y delfines. Estos mamíferos se alimentan principalmente de peces y calamares. En Solwara 1 se detectó alta diversidad de especies, como Delfines rusos, cachalote enano, Orcas, Delfin Espiner, y Culebra de Cuvier.



Figura 14 – Delfin

Fuente: (Anonimo, 2001)

- Dugongs: Es el mamífero herbívoro, en peligro de extinción. Se alimenta de todas las especies de hierbas disponibles que se encuentran en la zona. Estas especies se encuentran a 58 km desde la costa del puerto Rabaul, NO es muy probable que se encuentren en la zona extractiva



Figura 15 – Dugongs

Fuente: (Poke, 2014)

- Serpientes Marinas: Con una gran variedad en la zona, las que varían a unas 23 especies distintas, si bien la mayoría de las serpientes se encuentran cercanas a la costa y no superan las profundidades superiores a 100 metros, lo que no sería inconveniente para la zona extractiva de sulfuros polimetálicos



Figura 16 – Serpiente Marina

Fuente: [www.hablemosdepeces.com](http://www.hablemosdepeces.com)

- Aves Marinas: Dentro del proyecto se encuentran especies de aves marinas, una es el ave de Beck y la otra es el ave de Petref. Ambas son de suma importancia para el proyecto, pues su prioridad es conservar la biodiversidad total o la mayor posible. Respecto a los Petref se encuentran concentraciones a 145 km suroeste del lugar extractivo y su habitat estaría entre los 1.000 a 2.000 metros mar adentro.



Figura 17 – Aves Marinas

Fuente: (Estrela, 2016)

- Tortugas: Papua Nueva Guinea, cuenta con siete especies de tortugas distintas, como: Tortuga Caray, Tortuga Laúd, Tortuga Golfita, Tortuga Boba, y Tortuga Plana entre otras. Se estimó una población de 1.000 a 1.500 Tortugas en la zona del proyecto, siendo la tortuga verde la más común de la Zona.



Figura 18 – Tortuga Boba

Fuente: (Salvaje, 2012)

Dada la importancia de conservar la biodiversidad y evitar la eliminación de especies, se propone una reagrupación en zonas alejadas del área a extraer.

### 4.3 Fondo Marino

El fondo marino de Solwara 1 cuenta con unas 40.000 chimeneas con más de 0.25 metros de altura y está compuesto de superficies duras de roca y mineral sulfurado (de baja ley en superficie) y en algunas partes tiene afloramientos de dacita, que es un vidrio volcánico. Por otra parte la zona norte del proyecto está formada por Limo arcilloso de color gris, y vidrio volcánico en menor cantidad.

Existen algunas zonas con sedimentación blanda producida por las corrientes oceánicas, lo que causaría un difícil acceso para la formación de rampas y/o la eliminación de sedimentos que formen elevaciones del fondo oceánico. Pero esto se debe realizar utilizando patas de anclaje de los equipos para evitar hundimientos de equipo debido a sedimentos blandos, esta indicación es especialmente para el equipo de corte auxiliar.

En muchas partes de los suelos blandos hay alteraciones de color, esto se podría atribuir a compuestos de hierro o sulfuros y quizás fecas en descomposición. Pero los sedimentos tienen menos de 2m de profundidad, solo en la zona cercana a la chimenea llega a 6 metros, es en este lugar donde la temperatura de los fluidos alcanza los 300°, por lo que se descarta vida que pueda afectar la extracción de mineral, ya que la temperatura máxima de vida es de 121°C.

El Hábitat del lecho marino se caracteriza por:

- Tener ventilaciones hidrotermales activas que permiten la presencia de micro fauna.
- Existen un único montículo de sulfuro de 200m dominado por camarones.
- Tener suelos sedimentados blandos en constante movimiento.

En el subsuelo de solwara1, entre el cuerpo mineralizado y los desechos de biomasa se encuentra una especie microscópica, que tiene un tamaño de 53Micras o 0.053 centímetros, el cual habita a no más de 30 centímetros de profundidad del suelo cubierto de biomasa.



#### 4.4. Ecosistema y Micropartículas en Suspensión

En el proyecto se tiene considerando una tasa de descarga de 1.000 m<sup>3</sup> de una mezcla de agua/sólido mineralizado, obtenida del fondo marino, con micropartículas de 8 micras de tamaño, estas tendrán una variación de temperatura de 5.8° a 11.4°. Esta variación está contemplada desde el fondo marino, pasando por procesos de deshidratación del mineral y devuelta al fondo marino.

Para ambas temperaturas se considera que se disiparan unas 5.000 partículas a poca distancia del punto de disipación, este rango varía entre 900 m hacia la redonda aproximadamente, ésta cubriría un área de 0.81 km<sup>2</sup>.<sup>7</sup>

Las Micropartículas que podrían llegar más lejos están consideradas a 4.2 kilómetros de distancia sobre un área posible de 11.6 Km<sup>2</sup>.

Tabla 4 - Dispersión de Micropartículas en el fondo marino

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Área de Posición (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Distancia Máxima (Km)</b>
<b>0.18 a 0.5</b>	2.343	0.972
<b>0.1 a 1</b>	1.798	0.710
<b>1 a 5</b>	1.568	0.660
<b>5 a 10</b>	1.047	0.615
<b>10 a 50</b>	0.801	0.565
<b>50 a 100</b>	0.278	0.264
<b>100 a 500</b>	0.166	0.166
<b>&gt;500</b>	0.003	0.036

Fuente: nautilusminerals/environment-reports/Environmental/Impact , 2018

<sup>7</sup> Esta dimensión de alcance fue obtenida en condiciones normales, aquello podría tener un alcance mayor por un aumento de corrientes marinas o tormentas que se podrían producir en zona.

## CAPITULO 5. IDENTIFICACION DE RIESGOS

- <sup>1</sup> Destrucción de Corales
- <sup>2</sup> Micropartículas en Suspensión
- <sup>3</sup> Contaminación acústica leve por equipos de extracción
- <sup>4</sup> Succión de seres vivos que se encuentren en el lugar
- <sup>5</sup> Contaminación acústica alta producida por el motor de elevación de Mineral
- <sup>6</sup> Fuga de mineral por el tubo de traspaso
- <sup>7</sup> Fuga de Mineral al interior del barco plataforma
- <sup>8</sup> Fuga de agua al interior del proceso de deshidratación
- <sup>9</sup> Aumento de la Temperatura del agua procesada
- <sup>10</sup> Caída de Mineral al Fondo Marino
- <sup>11</sup> Destrucción de huevos de tortuga
- <sup>12</sup> Impacto físico con seres vivos

**Tabla 5 - Clasificación del Daño**

Clasificación	Severidad o Gravedad	Puntaje
LIGERAMENTE DAÑINO	Daño reversible en un periodo de tiempo corto	1
MODERADAMENTE DAÑINO	Daño serio , reversible durante la duración de la operación	2
DAÑINO	Daño severo , extensivo y reversible en el largo plazo	3
EXTREMADAMENTE DAÑINO	Daño extremo ,extensivo e irreversible	4

Fuente propia, 2018

**Tabla 6 - Probabilidad de Ocurrencia**

Clasificación	Probabilidad de ocurrencia	Puntaje
<b>BAJA</b>	El incidente potencialmente puede presentarse una vez o nunca en el área, en un período de tiempo.	1
<b>MODERADA</b>	El incidente potencialmente puede presentarse 2 a 6 veces en el área, en un período de tiempo.	2
<b>IMPORTANTE</b>	El incidente potencialmente puede presentarse 7 a 11 veces en el área, en un período de tiempo.	3
<b>CRITICO</b>	El incidente potencialmente puede presentarse 12 o más veces en el área en un periodo de tiempo.	4

Fuente: Propia, 2018

**Tabla 7 - Severidad del Daño**

Severidad → Probabilidad ↓	LIGERAMENTE DAÑINO (1)	MODERADAMENTE DAÑINO (2)	DAÑINO (3)	EXTREMADAMENTE DAÑINO (4)
<b>BAJA (1)</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Moderado <b>11</b>
<b>MODERADA (2)</b>	Riesgo Bajo <b>8-9</b>	Riesgo Moderado <b>9-10</b>	Riesgo Moderado <b>7</b>	Riesgo Importante
<b>IMPORTANTE (3)</b>	Riesgo Bajo	Riesgo Moderado <b>5</b>	Riesgo Importante <b>9</b>	Riesgo Crítico
<b>CRITICA (4)</b>	Riesgo Moderado <b>2-3</b>	Riesgo Importante <b>12</b>	Riesgo Crítico <b>6</b>	Riesgo Crítico <b>1 - 4</b>

Fuente propia, 2018

Tabla 8 - Matriz de Riesgos

Actividad	Tareas	Riesgos	Evaluación de Impactos		P*C	Sig	Medidas de Control
			P	C			
<b>Extracción de Sulfuros Poli-metálicos del Fondo Marino</b>	Rasgado del Fondo Marino	<sup>1</sup> Destrucción de Corales	4	4	16	Red	Extracción de corales de forma temporal a zona alejada de la extracción, para posterior volver a ser reubicados en el plan de Cierre
		<sup>2</sup> Micropartículas en Suspensión	4	1	4	Am	Disminución de la velocidad de desplazamiento de los equipos
		<sup>3</sup> Contaminación acústica leve	4	1	4	Am	Disminución de RPM cuando se encuentren seres vivos en la zona del proyecto extractivo
	Succión del Mineral	<sup>5</sup> Succión de seres vivos	4	4	16	Red	Utilizar una malla de filtrado de granulometría y disminuir la luminosidad de los focos de iluminación de los equipos, ya que los seres vivos son atraídos por la luz que estos producen
		<sup>6</sup> Contaminación acústica leve	3	2	6	Am	Disminución de Rpm, manteniendo un ritmo productivo poco excesivo
	Impulso del Mineral con Motor de elevación a barco plataforma	<sup>7</sup> Contaminación acústica alta	4	3	12	Red	Disminución de RPM del equipo al detectar seres vivos cercanos a la Zona de producción, sin detención del caudal de transporte hacia el barco Plataforma, evitando la caída del mineral transportado y junto a ello una consecuencia mayor
		<sup>8</sup> Fuga de mineral	2	3	6	Am	Utilizar tubo de transporte maleable e insertar sensores en las uniones de los ensambles de esos tubos. Además una posible detención del proceso productivo hasta decantar todos el mineral fugado

	Deshidratación del Mineral	<sup>9</sup> Fuga de Mineral	2	1	2		Detención completa de las barcazas de transporte antes y después de comenzar el proceso de traspaso de mineral	
		<sup>10</sup> Fuga de agua	2	1	2		Mayor control del proceso interno del barco	
	Retorno del Agua al fondo marino	<sup>11</sup> Aumento de la Temperatura del agua procesada	2	2	4		Disminución del tiempo de Deshidratado del mineral para evitar aumento de temperatura de la misma	
	Traspaso mineral de a de barcaza de transporte	<sup>12</sup> Caída de Mineral al Fondo Marino	2	2	4		Detención completa de las barcazas de transporte antes después de comenzar el proceso de traspaso de mineral	
	Barcaza al puerto Rabaul	<sup>13</sup> Destrucción de huevos de tortuga	4	2	8			Control del área de Costa en puerto Rabaul por temporada de gestación
		<sup>14</sup> Impacto físico con seres vivos	3	3	9			Transporte del Mineral a velocidad no excedentes los 8 Nudos

Fuente: Propia, 2018

## **CAPITULO 6. PROPUESTA DE PLAN DE CIERRE**

Para la extracción de los sulfuros polimetálicos se removerá todo el lecho marino sobre la superficie del cuerpo mineralizado, esto tendría un impacto significativo en el hábitat y en algunas especies que por cosas infortuitas, podrían morir por procesos de cambio de hábitat.

El periodo de recuperación natural del hábitat de seres vivo, consta de un tiempo incierto entre 1 a 3,6 años después de la finalización el proyecto, mientras que la biomasa tardaría un periodo menor, no así el caso de los corales que tardaría aún más tiempo para volver a ser como estaba en un principio.

Por parte de los corales, tardaría muchos más años y es el principal enfoque a recuperar y/o acelerar la recuperación del hábitat marino donde se ejecutó el proyecto. Para ello se enfocará en la reubicación de corales en la mencionada zona. Esta labor se llevará a cabo por un equipo comandado desde la superficie que será enviado a reubicar los corales que fueron extraídos en la etapa de Pre-Striping marino, en donde se despejo el área y se dejaron en una zona alejada de las labores.

Los corales serán puestos sobre una base de concreto por el equipo señalado y ajustada a la base al coral para evitar que se desplome por corrientes marinas o animales que pasen por la zona. Este proceso será para todos los corales hasta completar la reubicación de toda la zona central del proyecto.

Una vez que finalice la etapa anterior y teniendo la central completada, se procederá a monitorear la zona, para revisar la evolución y estado de los corales. La revisión será en tres fases, de las cuales las más importantes son las dos primeras, las que analizarán la evolución en su primera etapa una vez finalizada las operaciones. Cabe destacar que el plan de cierre no termina con la reubicación de corales, sino que éste finaliza cuando la fase de monitoreo numero 3 esté completada y las autoridades competentes de la zona den su aprobación de la evolución y estado final del plan de cierre.

## **6.1. Etapas del Plan de Cierre**

- Término de decantación de sedimentos
- Revisión del área una vez finalizada la extracción
- Envío del ROV al fondo marino
- Reubicación de corales
- Monitoreo Fase 1: Revisión y/o seguimiento cada 1 mes
- Monitoreo Fase 2: Revisión y/o seguimiento cada 3 meses
- Monitoreo Fase 3: Revisión y/o seguimiento cada 6 meses
- Aprobación de estado final

## 6.2. Equipo a Utilizar

El equipo utilizado para la reubicación de corales, es el mismo equipo que tiene la empresa Nautilus minerals, por lo que no se tendría que realizar una inversión para la ejecución del plan de cierre respecto al equipo como lo muestra la figura 18. Este equipo es el mismo que antes realizó la extracción de corales en la fase de pre-stripping submarino.



Figura 19 - Equipo sumergible telecomandado

Fuente: [nnerspacethrusters.com/](http://nnerspacethrusters.com/)

El equipo STS 212 es un vehículo submarino, comandado desde el barco plataforma y también alimentado con energía por el mismo barco, mediante un cable de más de 1600 metros de largo. El TST 212 tiene la misión de reubicar los corales en la zona central durante los días que tarda el proyecto (ver tabla 7).

El equipo es enviado al fondo marino el día 1 del plan de cierre. Es enviado desde el barco plataforma por la grúa de 400 toneladas y al periodo de los 9 días que dura la ejecución del plan de cierre, ahí es cuando el equipo retorna al barco plataforma cumpliendo su función para el plan de cierre



Tabla 9- Característica del Equipo

Equipo TST-212 Canyon Offshore	Datos Generales	Conversión de datos
<b>Velocidad Máxima Permitida</b>	1 km/hora	0.28 m/seg
<b>Velocidad Cargado</b>	0.71 km/hora	0.20m/seg
<b>Velocidad Equipo Vacío</b>	0.89 km/hora	0.25m/seg

Fuente Propia: 2018

Las características del equipo son mayores, pero se prioriza una velocidad muy baja, para evitar impactos con seres vivos que puedan circular por la zona central. Es por eso que la velocidad es lenta, así la distancia de frenado y tiempos de reacción sean mayores.

### 6.3. Bases para corales

Al momento de pensar en la reubicación de corales, se nos viene a la mente en dejar un coral semicircular sobre el fondo marino, pero este no se quedará inmóvil por siempre en ese lugar, debido que existe fauna que interactúa constantemente con el medio. Pero no tan solo los seres vivos serian un factor a considerar, debido que la corriente marina también desestabiliza los corales y es por eso

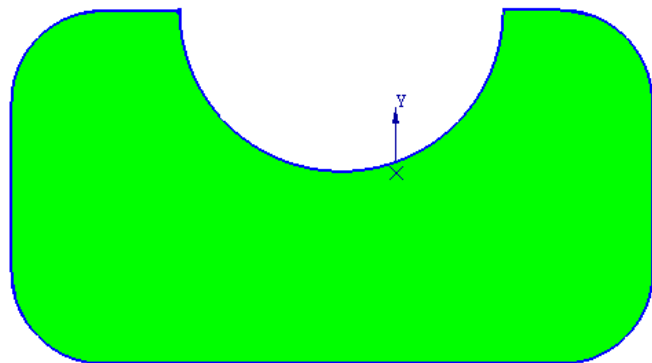


Figura 20 - Base de Corales, vista Lateral

Fuente: Propia, 2018

que se creó una base que resista la velocidad con la que circula el agua por el área<sup>8</sup> en donde se reubicarán los corales.

La velocidad del caudal marino es de 2 nudos, a 1600 metros de profundidad, ésta es la principal causa de desplazamiento del coral y por ello se ha diseñado un bloque semi circular. Con un semi círculo de diámetro 50 centímetros y sus bordes con terminación circular, esta terminación posee la finalidad de disminuir y desviar la fuerza que ejerce el agua sobre la base y el coral, así el impacto no sería completo contra la base depositada en el fondo marino.

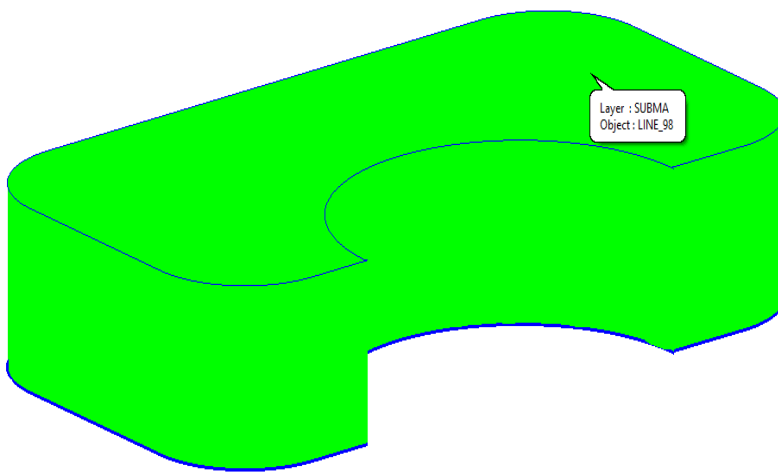


Figura 21 - Base de Corales, Vista en Planta

Fuente: Propia, 2018

Esta base está diseñada para soportar la presión que ejerce la profundidad del agua, la fuerza que la corriente marina y soporta el peso que genera el punto de torque de un coral. En el último caso, es la fuerza en efecto palanca que producirá el coral sobre la base que es impulsada por la fuerza de la corriente.

---

<sup>8</sup> La velocidad estimada fue medida por Nautilus Minerals en su etapa de exploración y su valor es un promedio, de los valores obtenidos. Teniendo como resultado 1.852 km/h.

### 6.3.1. Fundamentos del Diseño

El diseño para las bases en cada coral es tan fundamental como el coral en sí mismo, esto debido que las características del fondo oceánico son complejas, lo que debe resistir a cada uno de los factores que se mencionarán a continuación:

- **Fuerza ejercida por corriente oceánica:**  
Su diseño de forma semi-circular en sus bordes permite disminuir el impacto directo producido por la corriente marina, disipándose por los bordes de manera pareja por cada extremo.
- **Altura de la Base:**  
La altura máxima permitida del diseño solo es 20 a 25 cm, debido que en la base de los corales no se encuentra molusco, de esta forma se puede unir de manera eficiente las bases creadas (ver Figura 20) sin causar daño a ningún ser vivo presente en el coral. También la altura no puede sobre pasar la altura mencionada, por las delimitaciones del equipo, ya que éste no tiene capacidad para abrir la mano de agarre.
- **pH Neutro: Con un pH neutro en el concreto:**  
El factor clave es un posible impacto de pH que podría tener cierto tipo de concreto en el interior del fondo marino, alterando el pH y por ende complicando la vida en el ecosistema que ahí habita. Por eso la construcción de las bases debe ser con PH neutro.
- **Unión de Bases:**  
La dimensiones de una base compuesta permite, aumentar la fuerza de roce, disipando las fuerzas producida por las corrientes marinas, que podrían derribar los corales, dando como resultado una mayor resistencia ante este factor natural. Además este tipo de diseño abarca poder utilizarlos de forma independiente al diámetro de los corales, esto hace referencia a su instalación más cercanas o más separadas dependiendo del coral a utilizar.

## 6.4 Zona a recubrimiento de Corales

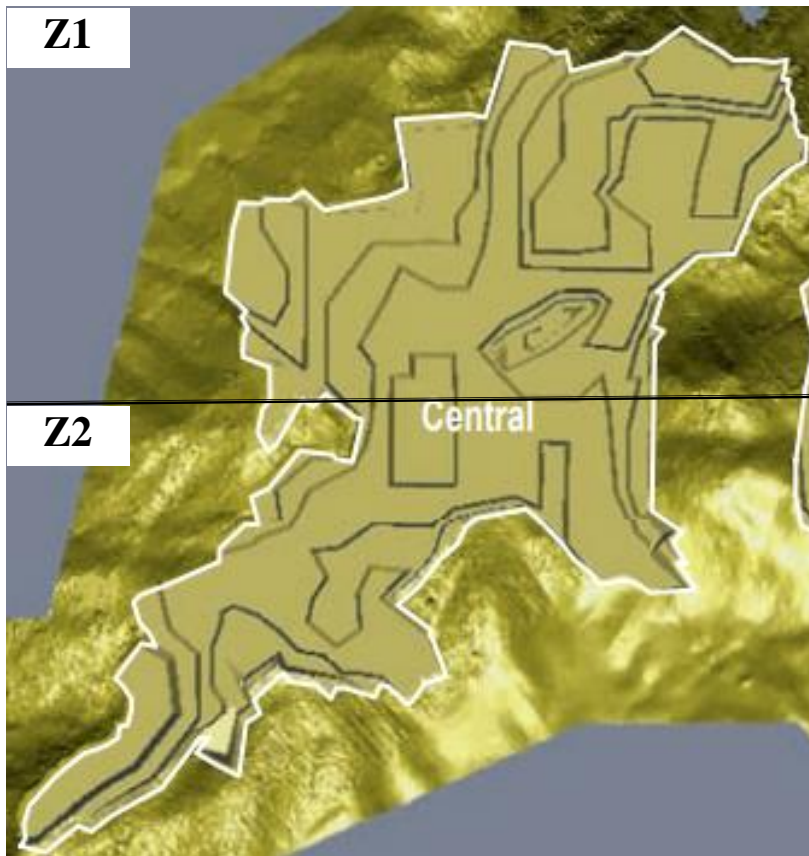


Figura 22- Zona Central a reubicar Corales

Fuente: Nautilus Minerals

La reubicación de corales solo se hará en la zona central, debida que en Solwara 1 consta de otras zonas ya mencionadas a lo largo de la Tesis.

Las características aproximadas son de 400 metros de alto por 350 metros de ancho. Claramente estas dimensiones son menores, pero es un aproximado para fraccionar la zona en dos partes.

La primera es la Zona Central 1 (Z1), la cual es la parte inferior de la imagen 21 y también la Zona Central 2 (Z2) que es la zona superior de la imagen 21. Estas Divisiones se realizan para disminuir de mejor manera los tiempos de traslado, que tendría que realizar el equipo TST 212 y junto a ello disminuir el tiempo que demora en realizarse toda la reubicación de corales.

Lo mencionado hace referencia a ambas estrellas que aparecen en Ambas zonas, esta estrella es el punto donde quedarán los pallet con las bases, la cual el equipo TST 212 deberá ir a buscar constantemente para la reubicación completa de corales.

Respecto a la reubicación, no sigue un parámetro constante de una dirección determinada, dejando esta labor a un margen de error mayor.

Para cada zona se estima la ubicación de 79 corales en la Z1 y 81 en la Z2, dando un total de 160 corales para ambas zonas, junto a ello se usaran 320 bases de concreto de PH neutro, siendo dos bases para cada coral.

Respecto al inicio de ejecución, se comenzará por la Z1, la cual se estima un tiempo de 3, 2 días y luego se ejecuta la segunda Zona. Hasta cumplir los 7 días en total que tarda la ejecución completa.

## 6.5. Ejecución del Plan de Cierre

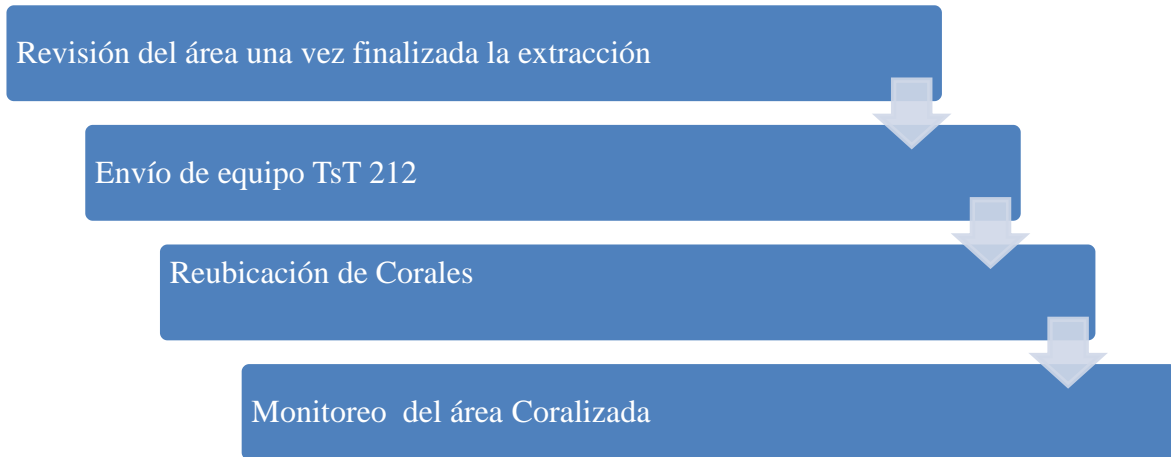


Figura 23 - Proceso del Plan Cierre

Fuente: Propia, 2018

Para llevar a cabo la ejecución del plan de cierre, primero se debe tener un total control sobre el área a la cual se reubicaran los corales (ver figura 22) y la forma en como estarán ubicados cada uno de ellos dentro de la zona que se quiere reforestar.

Teniendo en cuenta estos datos, luego se envía el equipo controlado desde la plataforma, el cual es enviado por la grúa con capacidad de 400 toneladas. Esta grúa será la encargada de enviar mediante una polea al equipo hasta llegar al fondo marino.

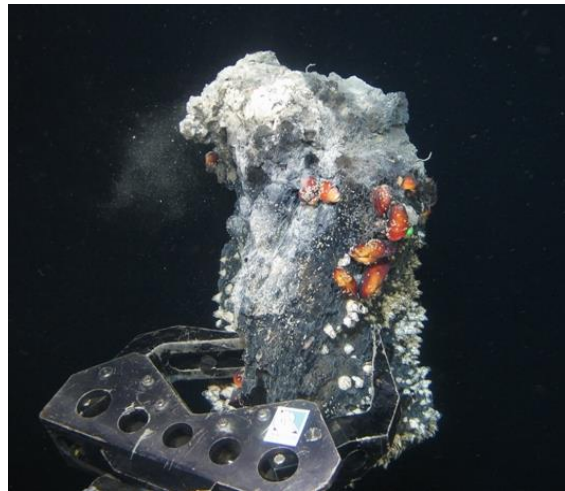


Figura 24 – coral a reubicar

Fuente: Nautilus Minerals

Una vez que el equipo se encuentre en la zona, procederá a inspeccionar completamente el área, revisando que no se encuentren seres vivos cercanos como ballenas y tortugas, que puedan interferir y ser dañadas o vuelvan más lento el desplazamiento del equipo durante la reubicación de los corales.

Antes de comenzar el proceso, se enviará las bases hechas con concreto, las cuales están formadas de cemento, arena y agua. Pero la característica es que tendrá un ph neutro, del cual varía entre 6.5 a 7.5, asimilando el ph del agua para no generar alteraciones químicas en el fondo marino. Estas bases serán enviadas en un pallet plástico en la zona central a reubicar corales. La zona es estratégica, debido que disminuirá los tiempos de traslado a la mitad, cuando el equipo deba realizar trayecto de ambos extremos para el recubrimiento total del fondo marino en su zona central.

Una vez que el equipo se encuentra en óptimas condiciones de realizar sus funciones, la primera etapa es la ubicación de las bases para los corales, esto lo hace el equipo telecomandado desde la superficie. La ubicación debe ser similar al coral que se colocara sobre la base. Esta base consta de dos semi círculos, que forman un radio de 30 centímetros al unirse para que sean adaptable al diámetro de la base del coral, ya que no todos los corales poseen el mismo diámetro y la misma forma.

Luego que la base este depositada sobre el lecho marino (considerando un diámetro un poco mayor) el equipo se dispone a buscar el coral que será ubicado sobre la base ya dejada formando un círculo para la posterior ubicación del coral ya mencionado. Dejado el coral, el equipo tiene la misión de ajustar o centralizar una o ambas bases dejando fijadas las bases al coral, esto con el propósito que posteriormente el coral no se mueva por las corrientes o por animales que puedan pasar y rozar los corales ya ubicados.

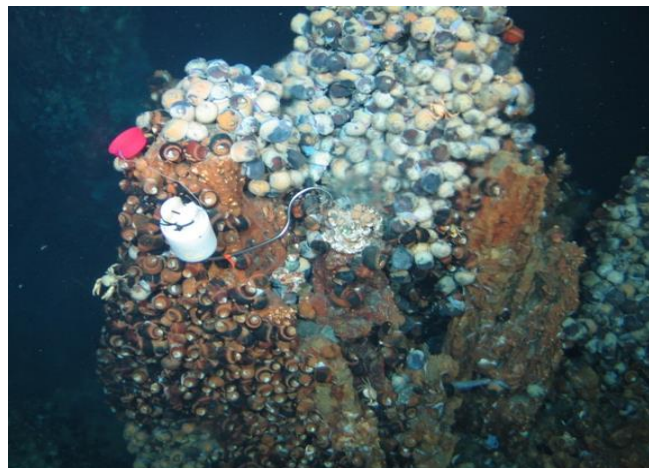


Figura 25 – Corales

Fuente: Nautilus Minerals, 2018

La acción descrita anteriormente se debe realizar sucesivamente hasta cubrir toda la zona central del proyecto Solwara 1 con los corales que se muestran en la figura 24 y 25.

## 6.6. Tiempo de Ejecución

Siempre la interrogante de cada proyecto es: ¿cuánto es su valor? y ¿cuánto tarda en realizar su ejecución?

Como lo muestra la tabla 6, hace referencia detalladamente al tiempo que se tarda cada uno de los procesos para la reubicación de un solo coral. Este tiempo conlleva tiempo de transporte, reubicación y maniobrabilidad del equipo.

Tabla 10- Estimación de Tiempos de Ejecución

<b>Tiempo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo estimado</b>
<b>t<sub>1</sub></b>	Transporte de bloque (1/2)	400 segundos
<b>t<sub>2</sub></b>	Regreso equipo vacío	500 segundos
<b>t<sub>3</sub></b>	Transporte de bloque (2/2)	400 segundos
<b>t<sub>4</sub></b>	Regreso equipo vacío	500 segundos
<b>t<sub>5</sub></b>	Transporte de Coral	400 segundos
<b>t<sub>6</sub></b>	Regreso equipo vacío	500 segundos
<b>t<sub>7</sub></b>	Tiempo de Maniobra	240 segundos <sup>9</sup>

Fuente: Propia, 2018

---

<sup>9</sup> Los segundos mencionado corresponden al tiempo de maniobra para cada etapa (40 seg) sumado a cada proceso ejecutado por el operador (6 etapas) por que se obtiene:  $40 * 6 = 240$  segundo.



### 6.6.1 Cálculo de Ciclos del Equipo

$$\text{Ciclo} = \frac{[(t_1+t_3+t_5)*400\text{seg}] + [(t_2+t_4+t_6)*500\text{seg}] + t_7}{\text{Equipo}} \quad 1 \text{ hora}$$

$$\text{Ciclo} = \frac{[(3*400\text{seg})] + [(3*500\text{seg})] + 240\text{seg}}{\text{Equipo}} \quad 60\text{min}*60\text{seg}$$

$$\text{Ciclo} = \frac{1200\text{seg} + 1500\text{seg} + 240\text{seg}}{\text{Equipo}} \quad 3600 \text{ segundos}$$

$$\text{Ciclo} = \frac{2940\text{segundos}}{\text{Equipo}} \quad 3600 \text{ segundos}$$

$$\text{Ciclo} = 0.82 \text{ Ciclo/Hora}$$

Equipo

$$\text{Ciclo} = 0.82 \text{ Ciclo/Hora}^{10}$$

Equipo

### 6.6.2 Cálculo de Horas Efectivas Trabajadas

$$\text{Horas} = \text{H. Trabajadas} - (\text{H. Colación} + (\text{N}^\circ \text{ Pausas laboral} * \text{T}^\circ \text{ Pausa}))$$

Efectivas

$$\text{Horas} = 12 \text{ horas} - [(1 \text{ Hora} + (4 * 15 \text{ Minutos}))]$$

Efectivas

$$\text{Horas} = 12\text{horas} - 2 \text{ horas}$$

Efectivas

$$\text{Horas} = 10$$

horas/Turno  
Efectivas

---

<sup>10</sup> Cantidad de ciclos que se puede realizar en una hora efectiva de trabajo, aquello se podría entender como el tiempo completo en reubicar un coral, también se podría comprender como un ciclo de 49 minutos.

### 6.6.3. Cálculo de Corales Reubicados por día

$$\text{Corales} = \frac{(\text{Horas Efectivas Trabajadas}) * n^{\circ} \text{ turnos}}{\text{día} \quad \text{Ciclo del Equipo}}$$

$$\text{Corales} = \frac{10 \text{ horas} * 2}{\text{día} \quad 0.82 \text{ horas}}$$

$$\text{Corales} = \frac{20}{\text{día} \quad 0.82}$$

$\text{Corales} = 24$ $\text{día}$
------------------------------------

### 6.6.4. Tiempo de reubicación total del área

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Cantidad total de Corales}}{\text{total} \quad \text{Reubicación diaria}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{160 \text{ Corales}}{\text{total} \quad 24 \text{ Corales/día}}$$

$$\text{Tiempo} = 6.67 \text{ días}$$
$$\text{total}$$

$\text{Tiempo} = 1 \text{ Semana}$ $\text{total}$
---

## 6.7. Cartas Gantt del Proyecto

Tabla 11 - Carta Gantt del Ejecución

Carta Gantt de Implementación									
Ítem	Fecha								
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
Envío de Equipo a Zona Central									
Envío Bases de Concreto Z.1									
Envío Bases de Concreto Z.2									
Reubicación de Corales									
Recuperación de Equipo									

Fuente: Propia, 2018

Como se ve representado en la tabla anterior, el proceso completo consta de un período de 9 días en total. El primer día consta de sumergir o enviar el equipo mencionado en el ítem 8.2, esta función será realizada desde el barco plataforma por la grúa con capacidad de 400 toneladas.

Una vez que la grúa sujete al equipo mediante poleas, este último se procede a bajar lentamente hacia la zona central, este proceso tarda bastante tiempo, debido que la distancia son 1600 metros. Una vez allí, se procede a revisar parámetros del equipo y controles de mando por parte del operador.

El mismo día 1, se procederá a enviar los bloques de concreto con ph neutro. Estos bloques serán enviados en un pallet de 50 unidades, con esta cantidad, se planifica cubrir la capacidad de trabajo de ambos turnos por un día laboral. Durante el día 1 se enviarán y se extraerán dos pallet, cantidad suficiente para 4 turnos de trabajo y así realizar envíos cada 1 día, optimizando el tiempo en chequeo y monitoreo de las labores que realiza el equipo en el fondo marino.

Como se menciona en el párrafo anterior, este proceso de envío y extracción de pallet, se realizará hasta terminar la reubicación de corales completa de la zona central. Para ello la zona se ha dividido en dos partes, Z1 que corresponde a la zona central Sur y la Z2 corresponde a la zona central Norte. Estos puntos son estratégicamente para dividir la distancia que debe recorrer el equipo, esto disminuye el tiempo de traslado, haciendo más rápido el trabajo.<sup>11</sup>

Una vez reubicados los corales en ambas zona, se procede a extraer el equipo del fondo marino, usando el sistema de poleas por la grúa, volviendo el quipo al barco plataforma. Una vez terminado el proceso, comienza la Segunda etapa del plan de cierre, que corresponde al monitoreo y revisión de comportamiento de la zona.

Tabla 12 - Carta Gantt Pos-Implementación

<b>Carta Gantt Pos-Implementación</b>																											
<b>Ítem</b>	<b>Mes</b>																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
<b>Revisión Fase 1</b>																											
<b>Revisión Fase 2</b>																											
<b>Revisión Fase 3</b>																											
<b>Revisión Final</b>																											

Fuente: Propia, 2018

La tabla 8 es el comienzo de la segunda etapa del plan de cierre y está dividida en tres sub-fases, haciendo más detallado el proceso de monitoreo de ellas.

<sup>11</sup> Por ende los pallet quedaran ubicados en el centro de cada una de estas zonas, siendo la Z1, la primera en ser recubierta totalmente y luego se procede con la Z2 usando el mismo procedimiento de trabajo.

1. Fase1: Es la primera etapa de inspección visual del trabajo realizado en la primera etapa, esto está relacionado a chequear alguna caída de corales por algún tipo de ser vivo que haya pasado. En el caso de que ocurra algo así, se programará un nuevo envío del equipo utilizado anteriormente para dejar correctamente el coral.  
La revisión de las Z1 y Z2 se realizará una vez al mes, durante los primeros 3 meses que se lleve a cabo esta fase.
  
2. Fase 2: La segunda fase, al igual que la primera consta de etapas de visualización programadas, las que están estipuladas un mes después de ocurrida la fase 1, luego comenzando la fase 2, estas inspecciones de evolución del fondo marino varían cada 3 meses hasta cumplir 10 meses desde el término de la primera etapa del plan de cierre.<sup>12</sup>
  
3. Fase 3: Terminando la fase 2, luego de esto, en un mes después comienza la tercera fase. Al igual que las anteriores mencionadas, son en un periodo constante, con la diferencia que su inspección de avance sería cada 6 meses, hasta cumplir un periodo total de dos años, desde el inicio de la fase 1.

La finalidad de las tres fases descritas anteriormente es para ver y analizar la evolución del fondo marino, especialmente el desplazamiento de la biomasa con microorganismos para realizar el proceso de disposición de residuos marinos

---

<sup>12</sup> Lo mencionado hace referencia a la relocalización de corales propuesta en la etapa 1.

## 6.8. Matriz de Riesgo Plan de Cierre

Tabla 13 - matriz de Riesgo Plan de Cierre

Actividad	Tareas	Riesgos	Evaluación de Impactos		(PXC)	Sig	medidas de control
			P	C			
Plan de Cierre	Envío de TST 212 al Fondo Marino	Caída del Equipo	1	3	3		Mayor control operacional
		Ruptura del cable de alimentación	1	2	2		Medición a esfuerzos del cable antes de ser enviado al fondo marino
	Envío de Pallet Con Bases	Caída del Pallet	2	1	2		Mayor control operacional
		Caída de Bases	2	2	4		envío de pallet en forma recta de manera lenta hacia el fondo marino
	Ubicación de Corales	Partículas en suspensión	3	2	6		Disminución de la velocidad de transporte del equipo
		Impacto físico con seres vivos	3	3	9		Disminución de la velocidad de transporte del equipo
	Extracción de Tst 212	Caída del Equipo	1	3	3		Mayor control operacional

Fuente: Propia 2018

## **6.9. Recomendaciones de Ejecución**

Como se expresa en alcance, este proyecto es de carácter cualitativo, esto hace referencia a que no posee un estudio económico de por medio, respecto a todo procesos pos-extracción de mineral. Esto abarca aspectos como:

- Costo de Equipo “TST 212”
- Costo Personal Barco plataforma
- Costo Mantenimiento de equipos
- Costo Fabricación de Bases para corales

En el posible caso que se pretenda utilizar otro equipo, con características distintas al que se ha utilizado teóricamente en esta tesis, se recomienda realizar nuevamente los cálculos de tiempo, en el cual se lleva a cabo el plan de cierre. Esto con la finalidad de considerar un aumento o disminución de los costos de ejecución de dicho plan de cierre.

Como segunda recomendación se solicita realizar un informe sobre este plan de cierre o si se realiza una modificación de esta tesis. El informe hace referencia a dejar evidencia sobre el primer plan de cierre para la minería Submarina y con ello evaluar de mejor manera los resultados obtenidos. Además que sea un guía para futuros proyectos de este tipo.

## **6.10 Beneficios del Proyecto**

1. La ubicación del yacimiento, cercano a las costas de Nueva Guinea, da la oportunidad de incorporar a países que no son potencia minera, a ser parte de un nuevo estilo de minería y conjunto a ello las ganancias económicas que trae el proyecto para el país de Nueva Guinea, ayudando al desarrollo interno de este mismo.
2. Como las entidades medioambientales catalogan la minería como un rubro destructivo, se demuestra un real interés por la restauración de las zonas donde ocurre la minería, tomando en cuenta cada mitigación, para no realizar grandes daños o causar la muerte de seres vivos que viven en las Zonas del proyecto Solwara1.
3. Aunque suene contradictorio con todos los argumentos planteados a lo largo de esta tesis, la destrucción por parte de los microorganismos encargados en la descomposición de desechos marinos, es un efecto de carácter positivo, ya que ayuda a potenciar el crecimiento exponencial por parte de estos microorganismo.



### **6.10.1 Beneficios del Plan de Cierre**

1. La reubicación de corales para el proyecto Solwara en su fase 1, en sus zonas centrales Z1 y Z2, disminuye el tiempo de recuperación del fondo marino en un considerablemente, pasando de 3.6 años a un periodo de no mayor a 1.5 años en una recuperación sobre el 90%. Ayudando al fondo marino y su ecosistema en su restauración, de manera similar como se encuentra en un principio de las labores mineras.
2. Los corales en las Zona 1 y Zona 2, oxigenan en fondo marino, ayudando la biodiversidad de muchas especies de moluscos que habitan en estas zonas y estos favorecen la alimentación de la biomasa marina con sus desechos y los desechos de todo el fondo oceánico
3. Respecto a los microorganismos, serán eliminados por completo debido que son succionado como lastre en la fase de pre-stripping. Pero como todo el fondo marino está compuesto por este tipo de organismo, no se eliminan completamente, sino que se ayudara al crecimiento potencial de este tipo de seres. Es así que las corrientes oceánicas cumplen un rol fundamental para el desplazamiento de la biomasa y con ellos los microorganismos, los cuales crecerán y se localizaran en toda la Zona central.
4. Preservar y mantener la vida de los corales, ya que se encuentran en peligro de extinción, donde su principal causa de destrucción es la propia naturaleza. Con ello se hace referencia a las marejadas, temblores marinos y tsunamis.

## CONCLUSIONES

1. Como lo expresa la primera hipótesis, es sabido que a lo largo de la historia de la minería se ha ido incorporando nuevas normas que hacen favorable la convivencia entre el medio ambiente y la minería y a lo largo de esta tesis se ha demostrado la viabilidad respecto a la conservación de diversidad marina y la minería, entregando propuestas de mitigación y creando un plan de cierre para demostrar el compromiso de la minería con su entorno. Esto último mencionado es lo que es más aceptado por las comunidades aledañas a proyectos que se realizan en Rajo o Subterránea, debido que los proyectos son rechazados por no tener una preocupación, compromiso y demostración de interés por el medio ambiente. Así se rompe el estigma que la minería destroza el planeta y se demuestra que se puede realizar minería submarina con los más altos estándares ecológicos, dando un incentivo a la extracción de este tipo y motivando a empresas a ser parte de esta nueva forma de ver minería
2. Para la ejecución del plan de cierre, se consideraran los mismos planes de mitigación que serán empleados en los procesos extractivos submarinos. Como los planes de mitigación han sido los más óptimos y han minimizado los altos impactos que surgen de este nuevo tipo de minería, han hecho más sencillo el plan de cierre. Debido que no se han producidas alteraciones de gran escala, eso se debe que cada proceso productivo tiene un plan de mitigación que disminuye el impacto en el medio ambiente.
3. Como se planteó en la hipótesis número tres, podemos concluir que la ejecución del proyecto Solwara 1, no produce una alteración en la base de la cadena alimenticia. Lo mencionado se interpreta que no genera una alteración en la fotosíntesis de las algas marina, esto se debe que en la profundidad a la cual se encuentra el yacimiento, no penetran los rayos solares, y la vida que ahí se desarrolla es gracias a la Bioluminocidad y la ejecución de la minería

en dicha profundidad no tendría relación con lo que se pensaban en la tercera hipótesis, antes del estudio de la minería submarina.

4. La destrucción por parte de la vida oceánica suele ser algo inminente al momento de pensar en minería submarina, pero aunque se utilizaran maquinarias que succionaran todo a su paso, es algo completamente distinto, ya que todo ser vivo cuando se encuentra en presencia de una amenaza que afecte su vida, este tiene a huir y preservar su vida. Esto se le llama instinto de supervivencia. Con dicho instinto los seres vivos que estén cercano a la Zona extractiva central huirán haciendo más afable la misión de no destruir ningún ser vivo durante el proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- Anonimo. (2001). *Delfin Web*. Obtenido de Delfin Web: <http://delfinweb.org>
- Bermejo, J. d. (4 de Abril de 2018). *Artes de Pesca*. Obtenido de Artes de Pesca: <http://tintorero-wwwartesdepesca.blogspot.cl/>
- Chu, E. (3 de Noviembre de 2012). *Popular Science*. Obtenido de Popular Science: <https://www.popsci.com/technology/article/2012-10/remotely-operated-excavators-mining-abyss>
- Comisión Económica para América y el Caribe. (2004). *Impacto producido por la actividad Minera en los fondos Oceánicos para la prospección y exploración de Nódulos Polimetálicos en la Zona*.
- David Batker & Rowan Schmidt, E. E. (2005). *environmental and social benchmarking analysis of nautilus minerals inc. solwara 1 project*.
- Estrela, A. (10 de Agosto de 2016). *Nautical News Today*. Obtenido de Nautical News Today: <https://www.nauticalnewstoday.com>
- Minerals, N. (23 de Mayo de 2018). *www.nautilusminerals.com*. Obtenido de [www.nautilusminerals.com](http://www.nautilusminerals.com): <http://www.nautilusminerals.com/IRM/content/default.aspx>
- nautilus minerals Niugini Limited. (Septiembre 2008). *Environmental Impact Statement, Main report Figures and Plates*. Australia: Coffey.
- Nautilus Minerals Niugini Limited. (Septiembre 2008). *Environmental Impact Statement Volume B, Apendices 1-3*. Australia: Coffey.
- Nautilus Minerals, N. (Febrero 2018 ). *Preliminary Economic Assessment of the Solwara Project, Bismarck Sea, PNG*. Australia: Brisbane QLD.
- PhD Jhon L, L. (2012). *Physical Oceanographic Assessment of the Nautilus EIS for the Solwara*. Australia.
- Poke, D. (22 de Diciembre de 2014). *Hayden's Animal Facts*. Obtenido de Hayden's Animal Facts: <https://haydensanimalfacts.com/2014/12/22/5-interesting-facts-about-dugongs/>

Salvaje, F. I. (28 de Agosto de 2012). *Fauna Iberica Salvaje*. Obtenido de Fauna Iberica Salvaje: <http://faunasalvajeiberica.blogspot.cl>

SERNAGEOMIN. (2016). *Anuario de la minería de Chile*. Santiago.