

INDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION.....	1
1.1- ANTECEDENTES	2
1.2.- ESTRUCTURA DEL INFORME.....	3
1.3.- METODO DE TRABAJO.....	7
1.4.- GENERALIDADES SOBRE EL YESO	12
1.4.1.- Resumen histórico	12
1.4.2.- Consideraciones generales	13
1.4.2.1.- El Yeso.....	13
1.4.2.2.- La Anhidrita.....	17
1.4.2.3.- Relaciones yeso-anhidrita	18
1.4.2.4.- Texturas de yesos procedentes de la hidratación de la anhidrita.....	21
1.4.2.5.- Composición química de los yesos.	24
1.4.3.- Otros tipos de yeso.....	25
2. RESUMEN Y CONCLUSIONES	28

1.- INTRODUCCION

El presente proyecto forma parte de un Programa de Desarrollo Geológico y Minero en la República Dominicana, integrado en el Programa SYSMIN, con cargo al Fondo Europeo de Desarrollo, recibiendo el nombre de "**DEPÓSITOS DE YESO DE LAS SALINAS**".

El objetivo fundamental de este programa es favorecer la evolución positiva del "Sector Geológico - Minero de la República Dominicana", colaborando a un mejor conocimiento del subsuelo del país y especialmente de los recursos minerales, tanto metálicos como no-metálicos.

En lo referente al proyecto objeto de este informe, el fin prioritario era el de tener un mayor conocimiento de las posibilidades reales del yacimiento de yeso denominado "Loma de Sal y Yeso", en cuanto a geometría del mismo, recursos, calidades y viabilidad de su explotación.

1.1- ANTECEDENTES

La extracción de yeso en la República Dominicana se inicia en torno al año 1943 de una forma artesanal, realizándose el arranque manualmente, siendo a partir del año 1956 cuando empieza sus operaciones extractivas la Empresa Mina de Sal y Yeso, para posteriormente en el año 1962 traspasarse estos yacimientos a la Corporación Dominicana de Fomento Industrial, que cuatro años más tarde, 1966, los cederá a la Corporación Dominicana de Empresas Estatales (CORDE), que mantiene la titularidad en la actualidad.

Los yacimientos de yeso explotados por Minas de Sal y Yeso, se encuentran explotados dentro de la Concesión Minera "Las Salinas", que tiene una superficie de 3,538.75 Has y viene delimitada por 86 vértices (Fig. 1):

Estos depósitos de yeso están localizados en una pequeña elevación denominada Loma de Sal y Yeso, que tiene una disposición NO-SE, y está situada al Sur de la localidad de Las Salinas.

La producción de yeso que se obtenía de esta explotación tenía dos mercados fundamentales, uno el interior, abasteciendo a las fábricas de cemento, y el otro la exportación,

fundamentalmente a los EUA; la evolución del mercado interior ha seguido una evolución positiva, mientras que la del exterior ha presentado grandes fluctuaciones.

La producción de piedra de yeso durante los últimos 25 años (Cuadro nº. 1) ha sido bastante anárquica, alternando períodos con producciones altas, caso de los años 1973 a 1980, donde se alcanzaron cifras del orden de las 384.000 t, con un año atípico que es 1977, donde fue de alrededor de las 16.000 t., con otros donde difícilmente se llega a las 150.000, caso del intervalo 1981-1989, para seguidamente tener un importante descenso que lleva a producciones inferiores a las 100.000 t/año, que prácticamente se ha mantenido hasta la actualidad.

Si se comparan estos valores con los correspondientes a la exportación, (Cuadro nº. 2), se observa como en un periodo de 25 años ,las épocas de máxima producción coinciden prácticamente con los de mayores volúmenes de exportación; así, aunque hay cifras máximas para los años 1973 y 1974, en el período 1973 - 1980 hay unas exportaciones que en general superan las 135.000 t/año, con una media para el período considerado superior a las 177.000 t/año.

Es a partir de 1981 cuando se inicia un descenso considerable en el volumen de exportación, hasta llegar, prácticamente, a la suspensión de las mismas.

Además de a los EUA las exportaciones de yeso dominicano se han dirigido a diferentes islas del Caribe Oriental, Venezuela, Costa Rica, Panamá y Colombia; es con este último país con el que se han mantenido los últimos intercambios comerciales, aunque en muchas ocasiones estas exportaciones han sido puntuales, respondiendo a pedidos concretos y muy definidos.

Un análisis más detallado de la evolución de la producción y del comercio exterior se recoge en el apartado correspondiente al "Estudio de Mercados".

1.2.- ESTRUCTURA DEL INFORME

Dada la gran amplitud del estudio, con la consiguiente repercusión en el número y tamaño de documentos escritos y gráficos, se ha dividido el Informe en :

- Memoria.
- Anexos: que incluirán un
 - Anexo I: Mapas y Cortes Geológicos
 - Anexo II: Columnas de Sondeos y Calicatas
 - Anexo III: Planos Mineros y de Impacto Ambiental
 - Anexo IV: Análisis y ensayos.

El primero de ellos, Memoria, está subdividido a su vez en tomos perfectamente individualizados que comprenden:

- Introducción. Resumen y conclusiones.
- Estudio Geológico.
- Estudio Minero
- Estudio de Mercado
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Pruebas semiindustriales. Planta de calcinación
- Estudio de factibilidad

El Estudio Geológico se inicia con un análisis de conjunto de las características del entorno del yacimiento de yeso localizado en la Loma de Sal y Yeso, para continuar con un reconocimiento del mismo, que ha permitido la diferenciación de los distintos materiales aflorantes; gráficamente se ha representado en mapas a E=1:10.000, que como resultado final han permitido la selección de tres zonas de interés para un estudio de detalle.

De cada una de las zonas seleccionadas se ha efectuado una cartografía geológica-minera a escala 1:1.000, donde se han marcado la características de los materiales diferenciados.

También se recogen en este tomo las características y resultados obtenidos con la realización de una campaña de sondeos y calicatas, que incluyen un comentario sobre los resultados obtenidos en los análisis químicos, mineralógicos y petrográficos.

Se finaliza con un capítulo de Resumen.

El Estudio Minero se inicia con un capítulo dedicado al cálculo de reservas en las zonas seleccionadas, para continuar con una breve descripción de la situación extractiva actual, seguir con el diseño de una nueva explotación en la que se fijan: altura de los bancos, diseño y cálculo de la voladura, maquinaria y equipos, para arranque, carga y transporte, maquinaria auxiliar, plantilla, costos operaciones, etc. También se incluyen las inversiones a realizar en edificaciones, talleres y medios auxiliares.

En cuanto al Estudio de Mercado, se inicia con unos primeros capítulos en los que se describen las formas comerciales y campos de aplicación del yeso, así como las especificaciones requeridas.

A continuación se hace un análisis del mercado del yeso a nivel mundial, en el que se indican las producciones y reservas mundiales, el consumo y perspectivas del mismo, precios y principales empresas productoras, elaboradoras y comercializadoras.

Le sigue un análisis concreto del área del Caribe y países próximos tanto de América del Norte: Canadá; México y Estados Unidos, como de Centroamérica y Sudamérica, en donde se ha restringido a Venezuela y Colombia.

Finaliza el estudio con un análisis del mercado del yeso en la República Dominicana, en base a datos de los sectores: industrial, construcción y cementero, para finalizar con un capítulo de resumen, conclusiones.

El tomo correspondiente a la Estudio de Impacto Ambiental, se inicia con una recopilación de la Legislación que se ha tomado como base del estudio, para continuar con una descripción del medio físico-social en la situación actual, en la que se han analizado variables como: climatología, edafología, hidrología superficial, vegetación, fauna, tipos de suelo, etc.

En un segundo capítulo se hace un análisis de las alteraciones e impactos que sobre el medio, pueden producir las diferentes etapas de desarrollo del proyecto minero, habiendo

procedido en principio a su identificación, para seguir con una caracterización y valoración de los mismos.

Finaliza el estudio con un capítulo en el que se hace una propuesta de restauración, y donde se evalúan los costos derivados de la misma.

En el tomo de Pruebas semindustriales. Planta de Tratamiento, se incluyen los resultados obtenidos en las pruebas a escala semiindustrial de los tipos de yeso seleccionados.

Una vez definida por el Estudio de Mercado el volumen de ventas de yeso calcinado, se ha diseñado y dimensionado una planta de tratamiento que incluye la maquinaria necesaria para cada una de las fases del proceso de fabricación, consumos energéticos, instalaciones auxiliares e inversiones en equipos y maquinaria, obra civil, etc.

Finalmente en el tomo de Estudio de Factibilidad se ha marcado, en primer lugar, un período de análisis económico de 10 años, y fijado éste se han recopilado los datos en cuanto a: presupuesto de inversiones, previsión de ingresos, cálculo de costos, amortizaciones, etc.

Con estos datos como base, se ha hecho un estudio de rentabilidad del proyecto, contemplando dos aspectos: solamente explotación y el conjunto de explotación y planta de calcinación.

Por último, se ha efectuado un análisis de sensibilidad en el que se han variado cada uno de los factores que más inciden en el desarrollo de la explotación, como son: costes operacionales, inversiones, créditos, etc.

En el Anexo I se incluyen los mapas a E=1:10,000 correspondientes a la fase de reconocimiento general y los de las tres zonas seleccionadas a E=1:1,000, así como los cortes geológicos.

En el Anexo II se recogen las columnas de los sondeos y el levantamiento geológico de las calicatas, en ambos casos a E= 1:100.

En el Anexo III, se incluyen los planos de evolución de la explotación proyectada en diferentes fases de desarrollo, así como la documentación gráfica generada por el Estudio de Impacto Ambiental.

Finalmente en el Anexo IV se incluyen los datos de los análisis y ensayos realizados.

1.3.- METODO DE TRABAJO

De acuerdo con la división del estudio en tomos diferenciados que corresponden a cada una de las etapas del mismo, se exponen por separado las metodologías seguidas en cada uno de ellas.

Estudio Geológico

Se comenzó el estudio con una recopilación bibliográfica, de todos los trabajos, informes, citas, etc., relacionadas con el yeso en la República Dominicana, no solo desde el punto de vista geológico sino considerando también otros aspectos: minería, comercial, etc.

Posteriormente, y basándose en las conclusiones obtenidas de los datos tomados, se planificó un reconocimiento general de todos los afloramientos de yeso contemplados en el presente proyecto.

En estos recorridos se han realizado una serie de estaciones de observación, en algunos casos con de toma de muestras superficiales, y se han delimitado con arreglo a diversos criterios tres zonas de interés, en las que se han realizado estudios de detalle.

Los datos obtenidos en esta primera fase se han representado en 3 mapas a E= 1:10.000 obtenidos a partir de ampliaciones de los fotograma correspondientes al vuelo del año 1.984 a E=1:40.000, con apoyo de campo y el topográfico a E= 1:50.000.

La cartografía de las tres zonas seleccionadas se ha realizado a E=1:1.000 y en la misma se han representado también la situación de las muestras superficiales, ubicación de los sondeos, ubicación de las trincheras y áreas de explotación recomendadas.

Finalizada la cartografía de detalle se seleccionaron las zonas A y C para realizar en ellas las campañas de sondeos y calicatas, con un mayor desarrollo de las mismas en la Zona A.

Para la obtención de muestras de yeso destinadas a análisis y ensayos se han empleado tres procedimientos: desmuestres manuales en superficie, sondeos de investigación con obtención de testigos continuo y pequeños pocillos y catas, para las muestras con destino a ensayos semi-industriales.

En estas muestras se ha procedido a la realización de análisis químicos, en los que se han determinado los contenidos en porcentaje de SiO₂, CaO, MgO, SO₃, Cl⁻, etc., y por tanto el contenido en SO₄ Ca . 2H₂O, así como análisis mineralógico por difracción de rayos X, en el que se han fijado los contenidos en yeso, anhidrita y otros minerales, y estudios petrográficos.

Los datos así obtenidos en todas las muestras van intercalados en el texto en su lugar correspondiente, y los referentes a los sondeos se reflejan en una ficha, junto con la columna litoestratigráfica.

Estudio Minero

Se inicia con un cálculo de las reservas explotables de yeso en la zonas A y C, para continuar con el diseño de la explotación, que se inició con un análisis de la situación actual de la explotación e infraestructuras; una vez definidas las producciones vendibles a obtener en cada uno de los años que comprende el período considerado, se ha procedido al diseño de la explotación marcando las características de los bancos, y voladuras, así como la maquinaria necesaria para cada una de las fases de la explotación: perforación y voladura, arranque, carga y transporte, y la maquinaria auxiliar necesaria.

De igual manera se ha procedido en el caso de la planta de trituración y clasificación.

Definida además la plantilla para estas operaciones, se ha procedido a calcular las inversiones en maquinarias y equipos, instalaciones, restauración, etc. Fijadas estas, se han calculado los costes operacionales, estimados tanto en lo relativo a la explotación como a la planta de tratamiento, y personal.

Como complemento de este estudio se han confeccionado una serie de planos de la explotación y planta de trituración y clasificación.

Estudio de Mercado

En este caso el estudio se ha iniciado con la recopilación de datos referentes a la producción de yeso y de cemento en cada uno de los países de posible comercialización del yeso de la República Dominicana, que son el Area del Caribe, Centro y Norte América, Venezuela y Colombia.

Además de los datos indicados se han tomado otros como exportaciones e importaciones, destino de la producción, principales empresas productoras y elaboradoras, etc., lo que ha permitido conocer la situación de cada uno de los países y clasificarlos en base a su capacidad de producción y su carácter exportador o importador.

El análisis de estos datos ha permitido conocer el posible déficit de yeso en el área estudiada y por lo tanto el mercado potencial.

En el caso del mercado interior se ha iniciado el capítulo con una recopilación y análisis de datos de tipo físico, sociológico, económico y comercial referentes a República Dominicana, para continuar con un estudio de los sectores de la construcción y en particular del cemento, analizando su importancia y evolución en el último quinquenio, pues son estos los dos sectores principales, por no decir que únicos consumidores de yeso.

Asimismo se han analizado los datos referentes a las importaciones y exportaciones de yeso, con el fin de conocer el destino y por tanto necesidades de estos productos.

También se han realizado visitas a los diferentes productores y consumidores de yeso calcinado, con el fin de conocer las perspectivas de este sector.

Estudio de Impacto Medio-Ambiental

La realización de este estudio se ha basado, en primer lugar, en la recopilación y valoración de todos los datos técnicos referidos a la zona de estudio, referentes a la climatología, fauna, flora, espacios naturales protegidos, hidrología superficial, acuíferos, etc, para a continuación realizar trabajos de campo que han permitido conocer y analizar la situación actual; unidos estos datos a los del proyecto minero, se definieron las zonas de vertido y de reacondicionamiento de las explotaciones tras su avance.

Asimismo, se han tomado datos que han permitido una ubicación racional de la planta de tratamiento, con el fin de que el impacto sobre el entorno sea el mínimo posible.

Planta de Tratamiento

En este tomo se describe el diseño de una planta de calcinación para una capacidad de tratamiento previamente definida en el estudio de mercado. En este diseño se ha incluido el conjunto de maquinaria necesaria para el tratamiento de la piedra de yeso natural procedente de la explotación, hasta la expedición del producto terminado.

Se enumeran las características de cada uno de los equipos básicos necesarios para el proceso de calcinación, incluyéndose el presupuesto necesario para la puesta en marcha de la fábrica, diferenciándose cada una de las partidas fundamentales:

- Maquinaria
- Edificaciones
- Viales
- Obras de saneamiento
- Instalaciones
- Varios

Estudio de factibilidad

En este tomo, y partiendo de los datos aportados por el Estudio de Mercado y el Estudio Minero, se hace un análisis económico de los diferentes negocios mineros: explotación, planta de tratamiento y el conjunto de ambos.

Una vez definidos los parámetros básicos de partida: producción vendible, costes de operación, inversiones, precios de venta, amortizaciones, etc., se inició el análisis de viabilidad económica, para lo que se han marcado una serie de criterios básicos:

- Periodo de análisis 10 años
- Evolución de la producción: creciente en los 4 primeros años y constante en los últimos seis.
- Periodo de puesta en marcha de un año
- Los cálculos se hacen en moneda constante de 1.998.
- Tipo de amortización lineal
- Calculo de rentabilidades sin financiación externa y con financiación externa.
- Los indicadores utilizados han sido: Periodo de Recuperación (Pay Back), Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) y Valor Añadido neto (V.A.N.)
- Estudio de sensibilidad con variación de los factores mas importantes: costes, inversiones e ingresos, analizándose su incidencia en la TIR.

Análisis y estudios de caracterización. Ensayos semiindustriales.

En cada uno de los apartados correspondientes a los tomos de “Estudio Geológico” y “Ensayos semiindustriales. Planta de Tratamiento”, se han incluido los resultados obtenidos en los análisis químicos, mineralógicos y petrográficos, realizados en las muestras tomadas durante los trabajos de cartografía geológico-minera a diferentes escalas, campaña de sondeos y apertura de calicatas. De este modo se han podido conocer las características de cada uno de los tipos de yeso diferenciados en la zona estudiada.

Por otra parte, y mediante los “Ensayos semiindustriales”, se han obtenido valores que han permitido conocer los campos de utilización del yeso en los diferentes sectores industriales, de acuerdo a la normativa vigente en España.

1.4.- GENERALIDADES SOBRE EL YESO

1.4.1.- Resumen histórico

Es la piedra de yeso uno de los primeros aglutinantes utilizados en la antigüedad. Así, Herodoto, durante su viaje a Egipto 500 años a.C., descubre que los bloques empleados en la construcción de las pirámides están unidos por un cemento del que uno de sus constituyentes es el yeso. Se trataba de un yeso grosero obtenido por calcinación de la piedra de yeso, lo que indica el alto grado de perfeccionamiento que poseían los egipcios en la preparación y uso de este material, y hace pensar que el empleo del yeso se venía realizando desde tiempo más remotos.

El empleo de la piedra de yeso se transmite de una civilización a otra, y así se encuentran obras en Grecia (el Partenón y el Templo Selenita) en las que se puede observar la presencia de este material. Es durante el Imperio Romano cuando la piedra de yeso adquiere un relativo esplendor, como se refleja en el Albarim Opus de Plinio, donde se describe el arte de la decoración con estuco y escayola; además, se utilizaba en la agricultura y viticultura. Muestras romanas del uso del yeso son el templo de la Diosa Fortuna en Roma y la Iglesia de San Stefano en Bolonia.

Con la desaparición del Imperio Romano, la utilización de la piedra de yeso entra en un período de depreciación en Europa, que perdura hasta el momento en que comienza a utilizarse el yeso de los alrededores de París. Este gran bache se ve amortiguado en parte por el uso de este material que hacían los árabes en la decoración de sus palacios (Alhambra de Granada, etc.)

Durante el siglo XVIII se introduce el empleo del yeso en los Estados Unidos de América, principalmente como corrector de suelos agrícolas y material anticombustible. Pero es a

mediados del siglo XX cuando el yeso adquiere su mayor importancia al descubrirse su empleo como retardador de fraguado del cemento; por otra parte, el mayor perfeccionamiento en las técnicas de transformación, ha permitido aumentar considerablemente sus campos de aplicación.

1.4.2.- Consideraciones generales

1.4.2.1.- El Yeso

La palabra yeso se aplica a dos realidades muy distintas. Por un lado, con ella se designa el mineral de yeso, y por otro, el que se emplea en la construcción, que es un producto derivado de aquél, previo cocido y molienda. Este último debiera denominarse yeso cocido.

El yeso es un mineral de aplicación industrial que se caracteriza, fundamentalmente, por su dureza (2 en la escala de Mohs) y su baja densidad (2,32 gr/cm³). Su composición química (SO₄Ca.2H₂O) le confiere la particularidad de conservar la posibilidad de reaccionar con el agua y fraguar, tras ser calcinado y perder una molécula y media de agua. Cristaliza en el sistema monoclinico, siendo frecuentes los cristales tabulares y las maclas en punta de flecha.

En cuanto al color existe toda una variedad de tonos en los que puede presentarse, siendo los más corrientes los blancos, grises y verdosos. La raya es blanca.

Origen del Yeso

Los procesos genéticos de la constitución de las evaporitas han sido objeto de numerosas hipótesis y teorías que, en algunos casos, han llegado a ser contradictorias. Los puntos de fricción más destacables hacen mención al medio de formación de las mismas, y a la prioridad de deposición del yeso o la anhidrita en sus diferentes formas.

Son varios los procedimientos a los que se atribuye la formación de depósitos evaporíticos. Los principales son los siguientes:

- a) La teoría de la formación de fases yesíferas y, en general, de evaporitas masivas, es la de su origen en lagunas endorreicas de tipo “sebja”. En estas lagunas, aisladas del mar abierto o con una comunicación muy restringida con él, se produce una evaporación libre de masas de agua salada (mecanismo del plato de evaporación) dando lugar a la precipitación de las evaporitas. No deja de ser éste un proceso de concentración de aguas madre, sin llegar acaso a la evaporación total.

La secuencia normal de las evaporitas en este tipo de cubetas comienza por la anhidrita-yeso y termina con sales de potasa. Los estudios experimentales sobre la secuencia de las sales de las evaporitas del agua de mar, han demostrado, que aunque los detalles de la sucesión y conjuntos de sales varían según las condiciones físicas, el orden general es el siguiente: se precipita en primer lugar el carbonato cálcico, con tendencia a ser dolomítico, presentándose entremezclado con el sulfato; a continuación lo hace el sulfato cálcico, luego el cloruro sódico, y posteriormente, las sales altamente solubles de magnesio y potasio. De éstas precipitan en primer lugar las de magnesio, siguen las de potasio, y finalmente, el cloruro de magnesio hidratado (bischofita).

Ejemplos de este tipo que se están produciendo hoy en día son los del Mar Muerto, el Gran Lago Salado de Utah y, en la República Dominicana, el Lago Enriquillo.

En las “sebjas” suele aparecer yeso diagenético asociado con anhidrita nodular y dolomita, entre otras especies minerales del mismo origen.

- b) Otro tipo de proceso de formación de evaporitas es la exudación de aguas residuales en terrenos porosos y permeables. Es este el caso de las cortezas de exudación y los yesos en crisantemo, que son indudablemente formaciones perilagunares.

- c) Un tercer procedimiento lo constituye la destrucción de depósitos evaporíticos o separación mecánica (oleaje, viento, ríos, etc) de lodos, limos y arenas yesíferas. Este es el caso de las arenas y limos eólicos yesíferos, que generalmente van asociados a bolos, a veces enormes, de alabastro que se consideran formados por un desarrollo diagenético cementante y centrífugo en el seno de dichos limos.
- d) Por último, otro procedimiento de formación es el desarrollo y crecimiento de cristales de sulfato cálcico mediante cambios iónicos en sedimentos no consolidados, susceptibles de reemplazamientos posteriores. Estos yesos procedentes de reemplazamientos representan una facies diagenética posterior a la formación del sedimento primario. También los nódulos de anhidrita crecen en el sedimento por sustitución iónica.

La formación de cristales de selenita y roseta por desplazamiento de sedimentos blandos o rocas subaéreas se puede producir por, al menos, dos tipos de mecanismos:

- 1) Evaporación de aguas subterráneas en la zona capilar; cristales de este origen son indicativos de una situación subaérea de la parte alta de la roca madre o sedimento.
- 2) Evaporación de agua en una playa y movimiento hacia abajo del agua hipersalina densa dentro del sedimento infrayacente, dando como resultado la formación de cristales de yeso.

Variedades del yeso

Se pueden distinguir las variedades del yeso siguientes:

Selenita: Cristales incoloros y transparentes, a veces groseros. Se deposita en ambientes tranquilos bajo una salmuera somera con frecuente intercambio de agua dulce.

Espato Satinado: Es un agregado con estructura fibrosa paralela que presenta brillo satinado o perlado, generalmente en venas.

Alabastro: Mineral en masa de grano fino, blanco o amarillento y traslúcido.

Yesina o Griptita: Cristalitos de yeso diseminados en arcilla.

Sericolita: Yeso cristalino, fibroso y con brillo sedoso.

Rosetas: Crecen sobre un substrato blando y forman rosas de cristales aplanados y discoidales.

Cristales de arena: Son grandes, discoidales y aparecen en los sedimentos superiores de la "sebja".

El hábito cristalino de cualquier especie mineral, y en este caso, de los minerales de las rocas evaporíticas, viene ligado a tres factores fundamentales:

- a) La nucleación, o sea, el número de núcleos de mineral que se forman por unidad de volumen, que depende del grado de saturación del medio en el mineral en cuestión.
- b) La velocidad de crecimiento del cristal es un factor ligado a su vez con la saturación y con la naturaleza del medio-soporte. Esta velocidad de crecimiento es diferencial según las caras del cristal.
- c) De la naturaleza del propio medio.

En base a esto, no en todos los sectores de la "sebja" (o sabkha) se generan los mismos tipos de yesos. Así, en las zonas más próximas al nivel alto de marea aparecen yesos lenticulares, generados en unas condiciones de baja difusibilidad. Estos yesos lenticulares forman estructuras algáceas (velos blister). En condiciones de mayor salinidad, el yeso se inestabiliza y en su lugar empiezan a crecer escasos núcleos de anhídrita con crecimiento

desplazativo, llegando a formar niveles más o menos continuos de nódulos de anhidrita (chicken wire), e incluso a dar formas complejas y replegadas (enterolíticas).

Existen estructuras ligadas a la sedimentación en el seno del agua. En salmueras poco saturadas se producen cristales lenticulares que caen al fondo (plano de sedimentación), dando lugar a costras de formas cristalinas diversas que reflejan la dinámica del medio, llegando a alternar con carbonatos y otras fases químicas.

1.4.2.2.- La Anhidrita

La anhidrita es el sulfato calcico anhidro ($\text{SO}_4 \text{Ca}$). Su quimismo no le permite, como al yeso, reaccionar con el agua y fraguar después de ser calcinada.

Cristaliza en el sistema rómbico, aunque es poco frecuente la aparición de cristales. Suele presentarse en masa o fibrosa. Tanto su dureza (3.5 en la escala de Mohs) como su densidad (3 gr/cm^3), son superiores a las del yeso. Los ejemplares masivos presentan tres planos de exfoliación perpendiculares entre sí, lo que les confiere un aspecto cúbico.

La coloración es variable, existiendo desde incolora hasta gris oscura, pasando por tonos azules y violetas. La raya es blanca o blanco-grisácea.

Origen de la anhidrita

El medio de deposición de la anhidrita es el mismo que el del yeso, pero exige condiciones más restringidas.

Suele aparecer en capas intercaladas con yeso, caliza, dolomita y halita. La anhidrita se deposita directamente al evaporarse el agua marina a temperatura igual o superior a 42°C , o a menor temperatura si la salinidad es muy elevada. En caso contrario, se deposita yeso. Frecuentemente, la anhidrita se genera por deshidratación de yeso, fenómeno muy corriente

durante la diagénesis. Otras veces aparece como mineral accesorio en rocas sedimentarias o como ganga en filones metalíferos.

Durante la diagénesis que da lugar a la formación de anhidrita nodular, se pueden diferenciar los siguientes procesos.

- a) Crecimiento primario intersticial del yeso, seguido por una deshidratación del mismo que da lugar a nódulos de anhidrita afanítica y recristalización de ésta en texturas granulares más toscas o en texturas de listones afieltrados incluyendo formas fibrorradiales y en gavilla. Esta forma corresponde a la anhidrita afanítica por sustitución directa del yeso.

- b) Crecimiento intersticial de anhidrita que no tiene yeso precursor "in situ". En este caso se supone que la anhidrita es un precipitado primario.

Variedades de la anhidrita

La anhidrita se suele presentar en masa en la mayor parte de los casos, sobre todo cuando se genera por precipitación directa. En otras ocasiones se puede presentar con textura fibrosa o de grano fino.

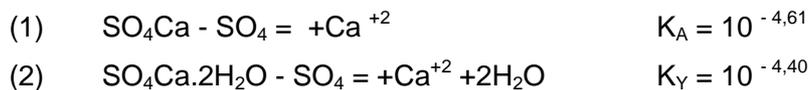
La variedad nodular puede ser diagenética, bien procediendo del relleno de huecos ocupados por agua en el sedimento, bien generada por reemplazamiento de otros minerales previamente existentes en el mismo.

1.4.2.3.- Relaciones yeso-anhidrita

Las rocas evaporíticas presentan, como características más destacadas, su gran sensibilidad frente a pequeños cambios de las condiciones físico-químicas en que se encuentran. Este hecho condiciona el que las texturas y estructuras preexistentes, herramienta básica para la interpretación de su génesis y evolución, sean modificadas con facilidad, dificultando su

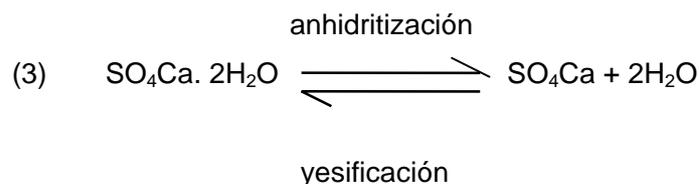
interpretación. Suele ser común la presencia y coexistencia de facies anhidras e hidratadas de una misma composición química: yeso ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Anhidrita (SO_4Ca), thenardita (SO_4Na_2), mirabilita ($\text{SO}_4\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kieserita ($\text{SO}_4\text{Mg} \cdot \text{H}_2\text{O}$) - Epsomita ($\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Desde el punto de vista estrictamente mineralogénico interesa saber cuáles son las causas que influyen en la presencia de fases con diferentes grados de hidratación, y de estas causas extraer conclusiones que ayuden a la interpretación geológica de las evaporitas. Como ejemplo se analiza el problema yeso-anhidrita que, lógicamente, se puede extrapolar a cualquier problema semejante, con ciertas matizaciones. En condiciones de 1 atm de presión y 25°C:



Lo que pone de manifiesto que la fase menos soluble es el yeso, que será, por lo tanto, la fase más estable. A temperaturas superiores a 40°C, la fase estable es la anhidrita, cuya curva de solubilidad se corta aquí con la del yeso. (Fig. 1).

Las condiciones del paso yeso-anhidrita, a temperatura de 25°C y 1 atmósfera, viene dadas por la ecuación:



Esta ecuación nos permite expresar que para $a_{\text{H}_2\text{O}} < 0,77$ la fase estable es la anhidrita, y para $a_{\text{H}_2\text{O}} > 0,77$ la fase estable es el yeso. El concepto de $a_{\text{H}_2\text{O}}$, expresa físicamente la cantidad de agua libre para introducirse en una red de una fase mineral hidratada. Cuanto más concentrada está la salmuera en la que se forma el mineral, menor cantidad de agua queda libre y, por tanto, más fácil es la formación de una fase anhidra. Es decir, que en un medio de salinidad elevada, se forma más fácilmente la fase anhidra que la fase hidratada. Gráficamente

está expresado en la Fig. 2. Existen modelos físico-químicos que permiten calcular aproximadamente el H_2O , en función de la salinidad (HELGESON, 1969).

Conocidos el volumen molar del yeso y de la anhidrita (volumen que ocupa un mol de estas sustancias), es posible conocer los cambios volumétricos en las transformaciones yeso-anhidrita. Así 45,94 cm^3 de anhidrita dan lugar, por hidratación, a 74,31 cm^3 de yeso, lo cual implica un aumento de volumen del 61,75%.

Es necesario en este análisis mineralogénico contemplar los procesos de enterramiento, es decir, estudiar la evolución del sistema yeso-anhidrita con el enterramiento. Para ello, sólo es preciso tener en cuenta las constantes termodinámicas de ambos minerales y del agua: S (entropía molar) y V (volumen molar). A partir de estos datos, aplicando a la ecuación (2) la fórmula de la energía libre se obtienen las ecuaciones del equilibrio:

$$(4) \quad P = 1,22 T + C_1$$

P: en atm, T: en $^{\circ}K$ elvin.

$$(5) \quad P = -0,71 T + C_2$$

Siendo C_1 y C_2 constantes de integración, que se obtienen poniendo las condiciones de equilibrio.

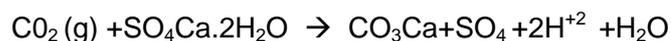
La ecuación (4) se obtiene suponiendo que el agua no puede salir del sistema, presión de fluidos igual a presión litostática, y la ecuación (5) se obtiene suponiendo que el agua puede salir del sistema, presión de fluidos igual a presión hidrostática. La condición de la ecuación (4) se supone correspondiente a sistemas geológicos en los que el techo de las evaporitas es perfectamente impermeable, mientras que la condición de la ecuación (5) se considera típica de sedimentos evaporíticos que evolucionan en condiciones de techo permeable, (Fig. 3). En esencia, bajo techo permeable, durante los procesos de enterramiento, el yeso pasa rápidamente a anhidrita, expulsando el agua de su molécula. En condiciones de techo impermeable, en las que el proceso necesita presiones y temperaturas más elevadas para igualdad de otras condiciones, la transformación se hace de tal modo que se forma una masa plástica de yeso y anhidrita, ya que el agua no puede expulsarse; ello conlleva a que puedan

inyectarse en las series superiores, explicando fenómenos halocinéticos no ligados a sales plásticas. En el Cuadro I se muestran las secuencias básicas de lo expuesto hasta el momento sobre el sistema yeso-anhidrita.

En esencia, en el cuadro se trata de representar que durante la sedimentogénesis, pueden producirse primariamente, al menos desde un punto de vista teórico, yeso o anhidrita en función exclusivamente de la salinidad, aunque, puesto que la anhidrita nuclea difícilmente, es más probable que se genere en la diagénesis precoz (anhidrita I).

Durante el enterramiento, y en función de la permeabilidad del techo de las evaporitas, puede producirse en las primeras etapas la anhidritización. o bien puede ser un proceso más tardío. Por último, durante la emersión, las aguas meteóricas (aguas dulces y sin sales en solución) yesifican las anhidritas anteriores con un extraordinario aumento de volumen (pliegues de hidratación).

Dentro de los procesos hipergénicos en materiales salinos, hay que tener en cuenta que la presencia del CO₂ del aire, disuelto en las aguas meteóricas, puede dar la reacción:



este proceso, teniendo en cuenta que el ph esta relacionado con la presión de CO₂, nos permite suponer razonablemente que para a_{SO_4} muy bajas la "calcificación de los yesos" es realmente un proceso retrodiagenético común. Este proceso produce un aumento extraordinario en la porosidad de los materiales, del orden del 50%, confiriéndoles aspecto pulverulento. Por último, en presencia de materia orgánica, la presión de CO₂ puede aumentar tanto que provoque una acidificación fuerte del sistema, siendo inestables los carbonatos, y pudiendo producirse, en su lugar, una silicificación, que va a ocupar el lugar de las fases evaporíticas.

1.4.2.4.- Texturas de yesos procedentes de la hidratación de la anhidrita

La yesificación de la anhidrita tiene lugar cuando las aguas meteóricas infiltracionales desplazan a las aguas connatas salinas de la formación evaporítica. La profundidad que alcanza

la yesificación depende del flujo de las aguas infiltracionales, de su caudal, de la posición con respecto al nivel freático, así como de la accesibilidad de las aguas meteóricas a los niveles de anhidrita. En el proceso de yesificación pueden tener lugar dos tipos fundamentales de cristalogénesis; una monofásica con una nucleación homogénea, y que da lugar al desarrollo de las formas denominadas alabastrinas, y otra en dos fases, una de nucleación escasa y desarrollo de formas euhedrales (porfiroblásticas), a la que sigue una de nucleación homogénea semejante a la anterior. El que se desarrollen formas porfiroblásticas obedece únicamente a un grado de saturación bajo del yeso en el medio, lo que implica un número exiguo de núcleos, y un crecimiento lento de los mismos; en buena lógica esto podría interpretarse como una diferenciación dentro del conjunto del proceso retrodiagenético correspondiente a unas condiciones más próximas al equilibrio yeso-anhidrita. En este sentido las facies porfiroblásticas debían de interpretarse como más profundas que las facies alabastrinas.

Por supuesto, la naturaleza del soporte, o sea sus características de permeabilidad, que definen la difusibilidad de los iones en el medio y la velocidad de crecimiento, van a definir los diferentes tipos de texturas alabastrinas.

En materiales que contienen fases salinas fácilmente solubilizables, halita, silvina, etc., es común que se produzcan cristales de yeso de gran tamaño y de crecimiento rápido, tan rápido que presentan aspecto porfiroblástico e incluso sus características ópticas están maldefinidas (componentes de extinción no uniforme). Por otra parte, en el seno de materiales arcillosos, de baja difusión, pueden generarse macrocristales de gran perfección (selenitas secundarias).

A la mesoescala, los yesos procedentes de la yesificación de anhidritas muestran pseudoformas de la anhidrita, como nodulizaciones, formas enterolíticas, "chicken wire", etc, que son testigos evidentes del origen del yeso.

En base a los conceptos anteriormente expuestos hemos definido los siguientes términos texturales aplicables a los yesos procedentes de la hidratación de anhidrita:

I.- ALABASTRINOS o EQUIGRANULARES

- a) Agregado microcristalino o matriz, con tamaño de cristal del orden (1μ -1 mm), con tamaños medios de 20-50 μ . Pueden presentar estructuras fluidales.
- b) Mosaico mesocristalino de extinción uniforme.
- c) Cristales subeuhedrales-euhedrales. Con tamaños entre 50 μ -1 mm. Aparecen en general como muy transparentes, y en ellos no se encuentran ningún tipo de inclusiones.
- d) Componentes cristalinos de extinción no uniforme (C.E.N.U.). Tamaños entre 50 μ y algunos mm; tienden a dar formas anhedrales y presentan gran cantidad de inclusiones.

II.- PORFIROBLASTICOS (INEQUIGRANULARES)

- a) PORFIROBLASTOS, tipo de cristales euhedrales o subeuhedrales, con extinción óptica uniforme, con zonación e inclusiones comunes de anhidrita. Se diferencian en el seno de una matriz que puede ser referible a cualquiera de los términos anteriores.

III.- MEGACRISTALES

- a) SELENITAS SECUNDARIAS, cristales macroscópicos transparentes de exfoliación bien desarrollada que rellenan cavidades, o crecen intersticialmente en el seno de un sedimento.
- b) YESO FIBROSO. Asociado a crecimiento en venas relacionadas con discontinuidades (diaclasas, planos de sedimentación, fracturas, etc.).

En el cuadro II, se reflejan de una manera sintética estos aspectos.

1.4.2.5.- Composición química de los yesos.

En general las rocas evaporíticas suelen ser de las más puras que existen en la naturaleza. Tanto es así que suele ser usual que contengan pocos elementos traza. Por otra parte, a la hora de interpretar, existe el problema de la escasez de datos bibliográficos para su comparación; como criterio general intentaremos resumir diciendo que los diferentes elementos (expresados en forma de óxidos) pueden estar en el seno de las rocas yesíferas de las siguientes formas:

- a) Como elementos mayoritarios formando parte de la fase mineral principal (yeso), es decir S (SO_3) y Ca (CaO).
- b) Sustituyendo diadocicamente al Ca, como ocurre con el Mg (MgO).
- c) Adsorbido por materia orgánica, como es el caso de algunos cationes pesados.
- d) Ocluído en la red como impureza.
- e) Formando parte de otras fases: carbonatos (CO_3 , Ca y Mg), minerales de la arcilla (Si, Al, Na, K, Mg,...), óxidos e hidróxidos (Fe y Mn)...

Los elementos mayoritarios aparecen en el cuadro III para las dos fases naturales del sulfato de calcio.

CUADRO III

	<u>Yeso</u>	<u>Anhidrita</u>
CaO	32,5 %	41,2 %
SO ₃	46,6 %	58,8 %
H ₂ O	20,9 %	-
CaO/SO ₃	9,70 %	0,70 %

Contenidos en SO_3 superiores a 46,6% indican claramente la presencia de anhidrita o alguna otra sal más rica en sulfato que el yeso. Contenidos inferiores reflejan la mezcla con otros minerales no sulfatados. Estas consideraciones deben de tomarse con las debidas precauciones y siempre después de un análisis mineralógico, por lo que tienen más de indicación y comprobación que de "test" de pureza. La relación CaO/SO_3 es 0,70; valores superiores indican un exceso de CaO , relacionable con un exceso de carbonatos (dolomita, o calcita). Valores inferiores detectarían la presencia de sales sulfatadas no cálcicas, y por supuesto, con las precauciones que se han citado en el párrafo anterior.

El Magnesio en rocas yesíferas puede estar en forma de carbonatos (magnesita o dolomita), o bien sustituyendo al Ca en la red del yeso. Descartamos por su propia génesis la presencia de magnesio en forma de sales cloruradas o sulfatadas por ser extraordinariamente solubles.

El Sodio en las rocas yesíferas puede estar ocluído o sustituyendo al calcio en la red, aunque cuando es baja la salinidad del medio en el que se generan los yesos, la presencia de este elemento debiera atribuirse a la fracción silicatada.

El Potasio pudiera interpretarse en el mismo sentido que el sodio.

El catión férrico, que es cromatóforo, se encuentra dando una fase propia como hematites.

El aluminio y el silicio estarán como minerales de la arcilla. Gran parte del silicio corresponde a cuarzo, tanto en sentido estricto como en forma de silex.

1.4.3.- Otros tipos de yeso

Como productos competidores de los yesos naturales se han venido utilizando en los últimos años yesos procedente de procesos industriales. Estos yesos producen un fuerte impacto medio-ambiental en el área donde se almacenan, por contener elementos altamente contaminantes como es el azufre; por lo tanto su utilización eliminaría este problema.

Entre estas variedades de yeso, se pueden señalar los siguientes:

- Yeso de desulfuración

Se obtiene por la desulfuración de los gases producidos en la combustión de combustibles fósiles (antracita, hulla, carbón bituminoso, etc.), fundamentalmente en las centrales térmicas.

En general, todos los procesos de tratamiento utilizan como base una suspensión acuosa de caliza para eliminar el SO_2 , obteniéndose $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ con un pH superior a 7, que posteriormente se pasa a $2(\text{SO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ que en contacto con la atmósfera se oxida fácilmente obteniéndose $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Este tipo de yeso tiene un alto porcentaje en $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (97.5%) y un color blanco casi puro, y se emplea fundamentalmente para la industria de la construcción y en menor proporción en la industria del cemento.

- Fosfoyeso

Este producto tiene su origen en la industria de fertilizantes a base de fosfatos; en su fabricación es necesario el ácido fosfórico, que se obtiene a partir de la fosforita o fluorapatita, mediante tratamiento por vía húmeda, produciéndose también el $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

El fosfoyeso es un polvo fino y húmedo con un contenido en agua que varía entre el 20 – 30% e importantes contenidos en impurezas. La presencia de estas impurezas no permiten su utilización en gran escala, pues es más económico usar piedra natural de yeso que purificar y procesar el fosfoyeso.

▪ Fluoranhidrita

Este tipo de anhidrita se obtiene como subproducto en la fabricación de ácido fluorhídrico a partir del espato de fluor y ácido sulfúrico.

Se usa poco en la actualidad.

▪ Yeso procedente de otros productos.

El sulfato de calcio dihidratado ($\text{SO}_4\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se forma en pequeñas cantidades en la fabricación de ácidos orgánicos (tartárico, cítrico, oxálico) o de inorgánicos como el bórico.

También se obtiene sulfato cálcico en el tratamiento de aguas residuales que contengan sulfatos, en la neutralización de los ácidos sulfúricos diluidos, que se producen en algunos procesos mineralúrgicos de minerales (zinc) y en la fabricación de pigmentos de titanio, etc., aunque estos materiales yesíferos procedentes de estos procesos, suelen venir siempre acompañados de impurezas, lo que hace que por ahora su utilización sea mínima.

2.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se recoge un resumen de los resultados obtenidos durante el desarrollo de cada una de las fases del proyecto y las principales conclusiones, individualizadas por tomos:

1) Estudio Geológico.

El yacimiento de yeso de Las Salinas constituye una pequeña elevación conocida como Loma de Sal y Yeso, situada al Sur de la localidad de Las Salinas, unos 30 kms. Al Noroeste de la población de Barahona.

Desde el punto de vista geológico está constituida por una alternancia de niveles de yeso y lutitas de diferentes características, pertenecientes a la Fm. Angostura, con potencias muy variables, que en ambos casos pueden alcanzar los 20 m.; ocasionalmente aparecen intercalaciones de calizas, margas y limolitas de tendencia lenticular.

Son muy frecuentes los cambios laterales de facies, que en unos casos se producen bruscamente, y en otros mediante un tránsito gradual o mediante indentaciones.

El conjunto de niveles está integrado en una estructura anticlinal (anticlinorio), que con dirección ONO-ESE conforma la Loma de Sal y Yeso.

Esta estructura está afectada por dos sistemas de fracturación, uno transversal a la estructura (N 70 E y N 130 E), y otro paralelo (ONO-ESE), acompañados por un cortejo de fracturas menores que dislocan la estructura general.

Esta complejidad tectónica se ve incrementada por los efectos diapíricos de un cuerpo salino, que en la actualidad se explota en el borde norte de la Loma de Sal y Yeso.

Este conjunto de características litológicas y estructurales, conforman un yacimiento altamente complejo, donde resulta difícil definir unas zonas homogéneas de fácil explotación. En base a criterios, fundamentalmente geológico-mineros, se han seleccionado para su estudio de detalle tres zonas, denominadas A, B y C.

En todo caso, se puede concretar que los niveles de características mas favorables, con vistas a su beneficio, están localizados en los Sectores II y III de la Zona A y el Sector II de la Zona C.

Del conjunto de la Loma de Sal y Yesos se ha efectuado una cartografía geológico-minera a escala 1: 10.000, que ha permitido la citada selección de zonas, en las que se ha realizado una cartografía de detalle a escala 1:1.000.

Como apoyo a esa cartografía se ha efectuado un desmuestre superficial, complementado en las zonas A y C con una campaña de sondeos, pocillos y calicatas, con su correspondiente toma de muestras. En estas muestras se han realizado análisis químicos y mineralógicos y estudios petrográficos; en algunos casos, y en muestras seleccionadas se han efectuado ensayos semiindustriales.

En cuanto a las características hidrogeológicas de los materiales que constituyen la Loma de Sal y Yeso, puede decirse que son litologicamente impermeables, aunque existe cierta circulación debida a la fracturación y al pequeño carst existente en los yesos. El único aporte de agua es la lluvia, y no se han localizado surgencias, fuentes y manantiales. Este carácter de los materiales origina encharcamientos en épocas de lluvias, que son, generalmente, torrenciales.

Los riesgos geotécnicos que se pueden presentar se reducen a fenómenos de carstificación, riesgos por inundación y asentamientos debidos a la diferente competencia de los materiales. Se han realizado ensayos de resistencia a la compresión, durabilidad, etc.

Se exponen, a continuación, las principales características diferenciales de cada una de las zonas seleccionadas:

Resumen y conclusiones de la Zona A

- La Zona A comprende el área ocupada por la actual explotación minera que opera la Corporación de Empresas Estatales (CORDE), y su entorno inmediato, ocupando una superficie aproximada de 128 Has.
- El acceso a la Zona se realiza por la pista de entrada a las explotaciones de yeso, a partir de la cual se enlaza con multitud de pistas mineras que permiten acceder a, prácticamente, todos los parajes de la Zona.
- En esta Zona se han identificado todos los tipos litológicos existentes en la Fm. Angostura. Todos los materiales de la Loma de Sal y Yeso de interés para este estudio están integrados en esta Formación geológica.
- La estructura del yacimiento está definida por un gran anticlinal (o anticlinorio) cuya dirección coincide sensiblemente con la de la Loma. La dirección del eje anticlinal, dentro de la Zona A, forma un gran arco convexo al Norte, definido por el rumbo N70°E en su parte occidental que, de manera paulatina, va cambiando hasta alcanzar N140°E en su parte oriental.
- Esta estructura muestra frecuentes variaciones locales debidas a pliegues menores y repliegues, y a la influencia de las fallas y grandes fracturas, que la trastocan y dislocan.
- Transversalmente a la Loma, el yacimiento en esta Zona se presenta como una sucesión de pliegues anticlinales y sinclinales, que frecuentemente se muestran truncados por fallas y fracturas paralelas a la dirección de la estructura principal.
- Considerada en su conjunto, a grandes rasgos, la litoestratigrafía de la Zona puede considerarse como una alternancia de diversos tipos de yesos y lutitas, dispuestos en estratos de muy variados espesores (desde milimétricos hasta de decenas de metros), y apenas interrumpida por algunos niveles, frecuentemente lentejonares, de calizas, margas o limolitas.

- La parte Norte de la Zona, en una franja de 150 a 200 metros de anchura (que hemos denominado Sector I en el estudio), se caracteriza por la presencia de niveles de yesos blancos, frecuentemente con tendencia alabastrina, de espesores medios de 3-4 m., que alternan con yesos cremas y crema-verdosos (espesores de 4 a 8 m.) y con capas de lutitas cremas y verdes (espesor máximo de 15 m.).
- El Sector I está constituido por una estructura sinclinal en la que, con cierta frecuencia, se producen cambios laterales de facies, tanto en los niveles de yesos como en los de lutitas.
- El Sector II, situado inmediatamente al Sur del Sector I, presenta importantes niveles de yesos crema y crema-verdosos de 12 a 14 metros de espesor, integrados, de N a S, en una estructura anticlinal-sinclinal con dirección N110°-120°E. Las lutitas, también presentes en este Sector, llegan a alcanzar potencias de hasta 20 metros.
- Los espesores de los niveles, considerados individualmente, son, en el Sector II, mayores en la parte oriental que en la occidental, si bien la proporción yeso/lutita se mantiene en proporción similar.
- Los cambios laterales de facies, tanto en los niveles de yeso como en los de lutitas, son frecuentes en el Sector II. El tránsito de una facies a otra es gradual, en el caso de los yesos, mientras que el paso de yeso a lutita se efectúa a través de interdigitaciones.
- El Sector III está localizado inmediatamente al Sur del Sector II. Está constituido por un sinclinal de 130-150 m. de anchura que sigue la dirección general de la estructura, ya mencionada. La litología que lo forma está compuesta por una alternancia de gruesos niveles de yesos y lutitas, entre los que destaca un nivel de yeso crema/crema-verdoso de 14 -18 m. de espesor.
- Gran parte de la superficie del Sector III está recubierta por materiales removidos en las operaciones mineras, aunque parece evidente la continuidad de los niveles, corroborada por la naturaleza de los escasos afloramientos observables.

- La franja más meridional de la Zona o Sector IV, es un bloque levantado y cabalgante sobre el Sector III, que está constituido por una alternancia de estratos de espesores menores de 3-4 m., en su mayor parte de litologías verdes: yesos verdosos, yesos lutíticos verdes y lutitas verdes con o sin yeso.
- El conjunto de niveles que conforman el Sector IV, que se encuentra fuertemente replegado, constituye el tramo más bajo de la serie litoestratigráfica de la Zona A.
- Los sedimentos cuaternarios existentes en la Zona A presentan, en general, escaso desarrollo, y corresponden a los tipos eluvial (suelos y costras), aluvial (sedimentos de fondo de valle) y coluvial (depósitos de ladera, piedemontes, y colapsos).

Resumen y conclusiones de la Zona B

- La Zona B ocupa una superficie aproximada de 83 Has. En la Loma de Sal y Yeso, al Oeste de la actual mina (o Zona A), y separada de ella por una franja de 300-400 m., que se corresponde con el área de influencia de una falla de cizalla transversal a la estructura.
- El acceso puede realizarse por una pista que parte de la mina de yeso, y que entra en la Zona por el EN, o bien, por el N, a través de otra pista que parte de la antigua mina de sal, en la ladera septentrional de la Loma de Sal y Yeso.
- La naturaleza de los niveles de yesos y lutitas existentes en la Zona B, es análoga a los reconocidos en la Zona A, cosa lógica, ya que una zona es continuación de la otra.
- La estructura observada en la Zona B es clara continuación de la existente en la Zona A, de la que únicamente la separa una falla tansversal de cizalla que ha distorsionado, por arrastre, la dirección de las capas en sus inmediaciones, afectando a ambas zonas.
- El espesor (con sus engrosamientos y adelgazamientos), alternancias, cambios laterales de facies, replegamientos, intercalaciones, y demás características geológicas, son similares en las Zonas A y B.

- La mayor diferencia que existe entre las zonas A y B estriba en la presencia, en el borde Norte de la Zona B, de un cuerpo salino, que afecta, distorsionándolos, a los niveles suprayacentes del Sector I.
- El Sector I, situado en el EN de la Zona, está constituido por lutitas que predominan sobre los yesos lutíticos, yesos blancos y yesos cremas que afloran en el Sector. Este conjunto de materiales muestra los efectos de los empujes ascensionales de la sal infrayacente, que ha dado lugar a basculamientos, fracturaciones, hundimientos, etc.
- El Sector II ocupa el resto de la Zona. Los niveles de yeso que en él afloran son de los tipos crema, verdoso y blanco, siendo los yesos verdosos los más abundantes.
- Los yesos verdosos engloban innumerables intercalaciones de niveles lutíticos de espesores muy variables, desde milimétricas a métricas, y afloran a lo largo de bandas paralelas entre sí, con dirección N90°-110°E en la parte occidental del Sector, y N110°-130°E, en la parte oriental. Hay que insistir que, aunque estos conjuntos de yesos/lutitas se han representado en la cartografía como niveles de yeso, por predominar éstos en el conjunto, no son niveles de yesos puros y limpios, sino que engloban una importante cantidad de niveles lutíticos.
- Aunque menos abundantes que los verdosos, también están representados en la Zona los yesos cremas y blancos. Suelen aflorar en niveles que no superan los 5 m. de espesor, intercalados entre capas de lutitas, con o sin yeso, que no suelen superar los 10 m. de espesor.
- Los cambios de facies más frecuentes se presentan entre los yesos verdosos y los yesos cremas, y entre los alabastrinos con los rosados, rojizos o ambarinos. Estos cambios se basan, fundamentalmente, en variaciones de color, grado de cristalinidad y tamaño de grano, sin modificarse las restantes características de los niveles yesíferos.

- Los niveles de yesos alabastrinos, aunque de poca potencia, entre 1,5 y 3 m., suelen presentar una gran continuidad lateral, llegando, algunos de ellos, a atravesar toda la Zona y continuar fuera de ella en ambos sentidos.
- Muy constante en toda la Zona, aunque de pequeño espesor, es la presencia de una costra yesífera de alteración, que recubre y enmascara gran parte de los afloramientos. Su aspecto más frecuente es el de una roca constituida por una matriz arenosa (de arena de yeso) que engloba clastos de yeso.
- La estructura de la Zona B está definida por un gran anticlinal o anticlinorio, que ocupa toda la Loma de Sal y Yeso, con una dirección N90°-130° E. A una escala menor, en una sección o corte transversal a la Loma, se puede definir como una sucesión de pliegues, anticlinales y sinclinales, unicamente interrumpidos por las fallas y grandes fracturas existentes en la Zona.
- El sistema de fracturación principal existente en la Zona presenta direcciones N50°E y N140°E. También existen fallas y fracturas paralelas a la dirección general de la estructura, que en conjunción con el sistema principal y la erosión diferencial, ha dado lugar a una peculiar morfología de bloques (colinas) más o menos individualizados.
- Los sedimentos cuaternarios existentes en la Zona están representados por débiles suelos eluviales, fundamentalmente lutíticos, aluviales poco importantes de fondo de valle, y coluviales de ladera, de componente eminentemente lutítica.

Resumen y conclusiones de la Zona C

- La Zona C está localizada al Este del cañón excavado por el río Lemba, en el bloque oriental de la Loma de Sal y Yeso, al SE de la población de Las Salinas y al N del poblado de Lemba, ocupando una superficie aproximada de 103 Has.

- El acceso se realiza por alguna de las mal conservadas pistas que, partiendo de la vía de tránsito de los camiones de las actuales minas de yeso y sal, ascienden por las fuertes pendientes de la ladera Norte de la Loma.
- La Loma presenta, en su parte superior, una morfología de meseta suavemente ascendente hacia el Sureste, pasando de una altitud de 200 m. hasta los 256m.
- El Sector I, situado al N y E de la Zona, está constituido por una sucesión de niveles de yesos crema-verdosos, cremas y blancos, algunos de éstos alabastrinos, que alternan con capas de lutitas, fundamentalmente, cremas. La potencia total del tramo se ha estimado en unos 90-100 metros; los espesores individuales de los niveles varía entre 1 y 6 m.
- La estructura plegada de este Sector provoca el afloramiento del mismo nivel en distintos lugares, pudiendo dar la impresión, dados los fuertes buzamientos, de existir más niveles de yeso de los que realmente existen.
- El Sector II, está definido por una secuencia alternante de yesos crema, yesos verdosos y algunos yesos blancos, que incluyen niveles de lutitas con y sin yeso, materiales que se presentan integrados en una estructura plegada formada por un anticlinal orlado por dos sinclinales, con direcciones paralelas que varían de N120° E a N170° E, según nos desplazamos hacia el SE del Sector. Los buzamientos nunca son menores de 55°-60°.
- La potencia de los niveles de yeso blanco con tendencia a alabastrino de este Sector es sensiblemente mayor que las observadas en los niveles similares existentes en el sector I, con una media de unos 5 metros, pudiendo llegar a alcanzar los 13 m.
- En este Sector II de la Zona C, son frecuentes los replegamientos y los cambios de facies.
- El Sector III, situado inmediatamente al Sur del II, se caracteriza por estar constituido por una alternancia de yesos y lutitas que, por razones de escala en la cartografía, hemos dividido en dos unidades: la superior, formada por pequeños niveles de 20-30 cm. que ha sido representada como un todo-uno, con una potencia total de más de 30 metros (puede

llegar cerca de los 70 m. en el extremo SE), y la inferior, con niveles de 2 a 3 metros, que han sido cartografiados de forma individualizada.

2) Estudio Minero

Se ha realizado el cálculo de las reservas en las zonas donde se ha realizado la campaña de sondeos; para ello se ha efectuado la descomposición de las áreas en bloques triangulares delimitados por los sondeos.

En estos bloques se han considerado los niveles como interrelacionados entre sí y solamente en los casos donde el ratio de explotabilidad es igual o inferior a 0,6, que es el valor que se ha tomado, según el estudio de factibilidad como umbral de rentabilidad.

En función de estas premisas se han evaluado tres subzonas: dos en la Zona A y una en la Zona C. Los resultados obtenidos en este capítulo, han sido los que se reflejan en el cuadro adjunto:

El proyecto minero se ha basado en tres pilares básicos :

- Conocimiento geológico
- Diseño de la explotación
- Evaluación económica

Estos tres puntos tienen fuertes nexos de unión y de ellos dependen estrechamente la rentabilidad económica y el éxito del negocio minero a lo largo del tiempo.

El diseño y laboreo de la explotación se ha proyectado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones :

- Explotación racional.
- Altas productividades.
- Buen aprovechamiento de los recursos.
- Seguridad en el trabajo.
- Reducción del impacto ambiental.

Para realizar correctamente todo lo anterior, es necesario, entre otras cosas, lo siguiente :

- Adquisición de maquinaria capaz de afrontar las producciones previstas.
- Extraer todo el volumen de yeso explotable cubicado en el yacimiento.
- Proyectar la explotación de manera que pueda haber distintos bancos o zonas de trabajo simultáneos, lo que posibilitará una cierta elasticidad en la producción.
- Disponer de vacíos permanentes para los estériles situados a una distancia no excesiva de la explotación.
- Procurar una buena formación, acorde con el trabajo a desarrollar, de la plantilla de personal, en especial la del servicio de mantenimiento de la maquinaria.

- Hacer una planificación del trabajo de forma que los relevos permitan un buen mantenimiento preventivo de la maquinaria y hacer las voladuras con la mayor seguridad posible.
- Cumplir con todas las normas de seguridad, lo que redundará en la obtención de buenos rendimientos.
- Mantener la infraestructura, pistas y accesos en buenas condiciones, lo que llevará consigo una mejor conservación de la maquinaria y por tanto una mayor productividad.

Para el diseño de la explotación se ha tenido en cuenta lo indicado en el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (R.G.N.B.S.M.) y en las Instrucciones Técnicas Complementarias (I.T.C.) que lo desarrollan que es el actualmente vigente en la Legislación de Seguridad Minera en España, al no haber legislación sobre la materia en la República Dominicana.

El movimiento de estéril y mineral en el periodo considerado se refleja en el cuadro siguiente:

	Año 1º	Año 2º	Año 3º	Año 4º	Año 5º y sig.
Todo - uno (t)	346.000	415.000	484.000	553.000	625.000
Lutitas (t)	162.000	194.000	227.000	259.000	292.000
Total arranque (t)	508.000	609.000	711.000	812.000	917.000
Tratamiento (t)	294.000	350.000	411.000	470.000	530.000
Estériles planta (t)	44.000	50.000	61.000	70.000	80.000
Movimiento de tierras (t)	552.000	659.000	772.000	882.000	997.000
Mineral vendible (t)	250.000	300.000	350.000	400.000	450.000

Las dimensiones media previstas del frente explotación teniendo en cuenta la geometría del yacimiento, han sido:

L: 300 m

H: 16 – 21 m

Dadas las características de los materiales a explotar, se ha proyectado hacer el arranque del estéril de recubrimiento (lutitas) por ripado y el de mineral de yeso por perforación y voladura.

La maquinaria y equipos necesarios para dar las producciones previstas, teniendo en cuenta los rendimeindos dados por los fabricantes, y el año de adquisición se reflejan en el cuadro siguiente:

	Año 1º	Año 3º
Tractor (Bulldozer)de cadenas CAT D9 R	1	
Carro perforador Atlas Copco ROC 442 PC	1	
Martillo Atlas Copco BBE - 57	1	
Compresor Atlas Copco XAS 405 Md	1	
Explosor ZEB Mod. CU 400 de 1.500 v.	1	
Comprobador de línea	1	
Pala CAT 980 G	1	
Volquetes CAT 769 D (1 en el 3º año)	1	1
Retroexcavadora CAT 330 BL con martillo CAT 140	1	

La plantilla prevista para la operación minera, teniendo en cuenta un absentismo del 20 %, es:

	Año 1º	Año 2º	Año 3º	Año 4º	Año 5º y sig.
Encargado cantera	1	1	1	1	1
Arranque y serv. Aux.	1	1	1	1	1
Perforación y voladura	3	3	3	3	3
Carga y transporte	3	3	3	3	3
Servicios auxiliares	1	1	3	3	3
Total explotación	9	9	11	11	11

La planta de trituración y clasificación se ha diseñado con una capacidad de 350 t/h, para tamaños de 5-50 mm y 0-5 mm.

Suponiendo una disponibilidad mecánica del 80 % y una eficiencia de la operación del 83 % (81 % en el primer año), la capacidad real de la planta es de 261 t/h (256 t/h en el primer año), por lo que las cifras de tratamiento, horas de utilización y los índices de ocupación son los siguientes:

	Año 1º	Año 2º	Año 3º	Año 4º	Año 5º y sig
Tratamiento (t)	294.000	350.000	411.000	470.000	530.000
Horas trabajo/año	1.150	1.341	1.575	1.801	2.031
Índice de ocupación	0,49	0,58	0,68	0,77	0,87

La maquinaria prevista en la planta es la siguiente:

- 1 Alimentador precribador AP de 1.200 x 5.000
- 1 Quebrantadora de mandíbulas de 1.350 x 1.100 mm
- 2 Cribas vibrantes mod. 900 N de dos bandejas
- 1 Alimentador vibrante mod. AV 1.200 x 1.500
- 1 Molino de cilindros dentados mod. BCD 48 x 48
- 1 Báscula de 50 t
- Transportadores, estr. metálic., grupo electr., montaje, etc

La plantilla necesaria para el funcionamiento de la planta, es de 5 personas.

Teniendo en cuenta los servicios auxiliares de talleres, almacén, oficinas, etc., la plantilla total prevista es la siguiente:

	Año 1º	Año 2º	Año 3º	Año 4º	Año 5º y sig.
Dirección del Centro (*)	1	1	1	1	1
Dirección de Explotación	1	1	1	1	1
Mina	9	9	11	11	11
Planta de trituración y clasific.	5	5	5	5	5
Talleres	4	4	4	4	4
Almacén	1	1	1	1	1
Oficinas	4	4	4	4	4
Servicio Comercial (**)	3	3	3	3	3
Total	28	28	30	30	30

3) Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental

El estudio de E.I.A. se ha dirigido a la evaluación de impacto de localizaciones prefijadas o exigidas, dado que la actividad minera, fundamentalmente, y en menor medida la industrial, está condicionada por la localización y existencia de los recursos minerales y su posibilidad de explotación de acuerdo con criterios técnicos y económicos.

De forma concreta, los objetivos que se pretenden alcanzar con la E.I.A. son:

- Evitar y/o disminuir en origen las perturbaciones y contaminaciones que puedan derivarse de los trabajos de investigación puesta en marcha y desarrollo del proyecto minero e industrial.
- Plantear las medidas correctoras oportunas para corregir los efectos negativos que no puedan ser evitados, mediante medidas preventivas.

Para conseguir el objetivo propuesto se han desarrollado los siguientes aspectos:

- Marco legal: se ha tenido en cuenta tanto la legislación de la UE como de la República Dominicana en materia de medio ambiente

- Análisis del Proyecto minero: se han estudiado todas las acciones susceptibles de impacto, huecos de explotación, escombreras y plantas de tratamiento y calcinación.
- Inventario medioambiental: se ha contemplado el estado preoperacional de la zona antes de la realización del proyecto, desarrollándose el correspondiente estudio del medio: climatología, geomorfología, edafología, usos del suelo, hidrología e hidrogeología, vegetación, fauna, paisaje, patrimonio histórico y por último el medio socioeconómico.
- Identificación, caracterización y valoración de los impactos previsibles. En este capítulo se identifican y valoran los impactos; el criterio seguido para llevar a cabo la identificación ha sido el de considerar las posibles relaciones causa/efecto con una visión amplia, sin eliminar previamente aquellas que puedan parecer de bajo riesgo o de dudosa probabilidad.

La valoración del impacto se ha realizado individualmente y guiada siempre por el objetivo de caracterizar el tipo de alteración, su dimensión y probabilidad, haciendo hincapié en la conjunción de factores que favorecerían la realización del impacto. Este sistema de valoración permite aclarar los mecanismos que hacen que se pueda predecir el impacto y establecer así la manera de prevenirlo o corregirlo.

De acuerdo con el cálculo efectuado, el Índice de Impacto Ambiental esperado durante el desarrollo de la operación es de “ grado bajo tendente a medio, es decir, asumible”.

- Estudio y valoración de medidas correctoras, preventivas o compensatorias; que se desarrollarán a partir del correspondiente Plan de Restauración, a llevar a efecto desde el inicio de las labores.

Las medidas preventivas y correctoras propuestas en esta Evaluación de Impacto Ambiental son consecuencia, por una parte del resultado de la evaluación de impacto desarrollada, como consecuencia del proyecto de explotación diseñado y, por otra, del análisis de la situación actual de las explotaciones activas y de la experiencia en otros proyectos similares.

Las labores que deberán llevarse a cabo sobre los terrenos directamente afectados para posibilitar su integración en el entorno, una vez que vayan siendo abandonados por la actividad minera, se han estudiado con el fin de garantizar, los aspectos siguientes:

- La configuración topográfica de las escombreras guardará similitud con su entorno, sobre todo en lo referente a las líneas de horizonte, formas y volúmenes.
- A la superficie afectada se la dotará de la pendiente adecuada para facilitar la evacuación rápida de las aguas de lluvia.
- Se realizarán las labores y trabajos de restauración pertinentes, tales como: drenajes, cubrición de la superficie con un tapiz vegetal estable, etc., que eviten la disgregación paulatina de la escombrera en el tiempo y puedan inducir procesos contaminantes.

Programa de vigilancia ambiental. Por último, se ha establecido un Programa de Vigilancia Ambiental, cuyo objeto fundamental es garantizar el cumplimiento del Plan de Restauración. Este programa tiene carácter de propuesta y por lo tanto puede modificarse de acuerdo con la evolución del proyecto minero.

Este seguimiento y control se realizará de forma tal que también permita la comprobación de los extremos siguientes:

- Controlar la incidencia sobre el medio de aquellas alteraciones cuya actividad a "priori" sólo puede predecirse de forma cualitativa.
- Vigilar la existencia de alteraciones no contempladas en la Evaluación de Impacto Ambiental desarrollada y su consiguiente minimización.
- Contrastar el grado de verificación de los impactos evaluados, de tal modo que se puedan obtener datos que ayuden a mejorar las técnicas de predicción.
- Recopilar información acerca de la calidad y oportunidad de las medidas correctoras adoptadas.

4) Análisis y ensayos

Los análisis efectuados sobre las muestras tomadas, tanto durante las dos fases de cartografía como en la campaña de sondeos y en la realización de las calicatas, han puesto de manifiesto los grandes intervalos de variación que hay en cuanto al contenido en $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en los distintos tipos de yeso que se han diferenciado:

- Yeso blanco alabastrino
- Yeso crema
- Yeso verdoso
- Yeso gris
- Yeso lutítico

así, los yesos blancos presentan índices de pureza que oscilan desde algo más del 70% hasta alcanzar en algunas muestras más del 97%; por su parte el yeso crema presenta valores que se extienden igualmente desde el 70% hasta el 95%; el yeso verdoso tiene un intervalo más amplio, pues en función de la mayor o menor presencia de nivelillos de lutitas pueden llegar a tener un contenido mínimo del orden del 65%, llegando a alcanzar valores máximos superiores al 95%.

Son, sin embargo, los niveles de yeso gris y, fundamentalmente de yeso lutítico, los que presentan mayores abanicos de contenido, pues hay muestras donde el contenido, en el primero de los tipos indicados, es inferior al 60%, en el segundo al 65%, para alcanzar valores superiores al 90% en ambos casos.

Asimismo, hay que señalar que en las muestras analizadas correspondientes al tramo denominado "Alternancia" los valores contenidos en $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ han sido muy variables, oscilando desde el 57% hasta el 98% en algún caso.

Por otra parte los estudios mineralógicos han puesto de manifiesto, corroborando lo obtenido en los análisis químicos, que el mineral principal que aparece en todas las muestras estudiadas es el yeso, existiendo en algunas de las muestras estudiadas porcentajes pequeños de anhidrita.

4) Estudio de mercado

La metodología seguida para llegar a definir las características del mercado del yeso en el que se podría desenvolver la futura explotación del yacimiento de “Las Salinas” ha consistido en resumen, en:

- Descripción de las características, formas comerciales y usos mas característicos del yeso en el mercado a nivel global.
- Análisis del mercado del yeso a nivel mundial con definición de reservas y su distribución, producciones por países, consumo y mercado por zonas y principales empresas a nivel mundial, así como las perspectivas de la demanda (consumo) y precios.

Análisis del mercado del yeso en el área de El Caribe y países próximos, 18 países en total, con el objeto de, a partir de producciones y consumos estimados o cierto según datos documentados, llegar a definir una estimación de las posibilidades de acceso, de la futura explotación de “Las Salinas”, a un mercado de exportación de yeso mineral o sus derivados.

Una vez analizados individualmente los mercados de yeso crudo y sus productos derivados, en cada uno de los países del entorno del Caribe, que pueden ser de interés en el desarrollo a futuro del mercado exterior e interior de la República Dominicana, pueden extraerse las siguientes conclusiones que, a modo de resumen, se incluyen seguidamente:

- Dentro del entorno de países considerados, los hay de características muy distintas desde todos los puntos de vista tales como:
 - * Extensión.
 - * Importancia económica.
 - * Población y nivel de renta.
 - * Desarrollo industrial.
 - * Producción y nivel de consumo de yeso.
 - * Tipo de mercado y características.
 - * Interés futuro para el mercado de yeso y sus derivados.

* etc.

- De los diecisiete países analizados, con datos correspondientes al año 1.996, se puede concluir que se agrupan en:

* Países productores de yeso -----	11
(Todos menos Costa Rica, Panamá, Haití, Peq. Antillas, Puerto Rico y Trinidad y Tobago)	
* Países exportadores -----	3
(Canadá, México y Jamaica)	
* Países importadores -----	13
(Todos menos Canadá, México, Jamaica y Cuba)	
* País autosuficiente y neutro respecto al mercado -----	1
(Cuba)	

- En algunos países es posible que se produzca alguna cantidad de yeso de procedencia química (yeso sintético, FGD, etc) que quede fuera de las estadísticas manejadas para el estudio, la mayor parte de ellas procedentes de la U.S.G.S. (United States Geological Survey).
- Se ha detectado que en los Estados Unidos entraron partidas de yeso, en los los 1.995 y 1.996, procedentes de Bahamas, sin ser estas islas productoras de yeso; es posible que este yeso proceda de otros países que utilizaron Bahamas como país intermediario al objeto de algún beneficio de aranceles, o bien que sea yeso sintético de origen químico producido en estas islas, pero esto resulta menos probable por el alto tonelaje de dichas partidas.
- Los tres países exportadores, Canadá, México y Jamaica tienen los siguientes campos o áreas de exportación fundamental:

* **Canadá:** Ante todo U.S.A., ya que existe una implicación total de las empresas productoras / consumidoras de ambos países. Los principales yacimientos

canadienses están en la costa atlántica (Nova Scotia y New Foulard) desde donde se sirven las necesidades de los estados americanos de la costa Este (Nueva York, Pensilvania, Carolina del Norte, Carolina del Sur, Georgia, Florida, Alabama, etc).

* **México:** Exporta unos 2.600.000 toneladas de yeso de las que unos dos millones aproximadamente lo son al mercado U.S.A.. También exporta a países como Panamá, Colombia y Venezuela, donde tiene intereses en la industria cementera y a países tan lejanos como Japón, en menor cuantía.

México también produce y se prepara para la exportación inmediata de productos derivados tales como paneles, molduras, etc.

* **Jamaica:** Con un nivel de producción anual total de 340.000 toneladas, su nivel de exportación en el año 1.996 rondó las 300.000 toneladas a países como Venezuela, Pequeñas Antillas y otros países del Caribe. La exportación es fundamentalmente de yeso crudo para la fabricación de cemento.

- Estados Unidos es el país dominante en el mercado del yeso, por ser el mayor productor (17.5 Mt), el mayor importador de yeso crudo (8 Mt) y el mayor exportador de productos elaborados (8.5 Mm² de paneles de yeso) a Latinoamérica, Asia y Europa.
- En resumen para el conjunto de países que se ha analizado en este estudio, se estiman unas necesidades de importación de unas 9.545.000 t/año y se producen unas exportaciones de 9.150.000 t/año, o sea podría existir un déficit conjunto de unas 400.000 t/año. que se servirían desde otras áreas productoras, fundamentalmente de España.
- Desde el punto de vista de la República Dominicana, aparte de Estados Unidos, cuyo mercado siempre será el más interesante y también el de mayor dificultad de entrada, por la competencia de países ya introducidos en su mercado con vínculos empresariales muy fuertes, los países que, en principio, aparecen como más interesantes serían, por proximidad y volumen de consumo, los siguientes:

- Colombia.
- Venezuela.
- Costa Rica.
- Nicaragua.
- Panamá.
- Puerto Rico.
- Pequeñas Antillas.
- Trinidad y Tobago.
- Haití.

Un análisis pormenorizado de las capacidades del consumo estimado de yeso crudo para fabricación de cemento y de otros derivados de yeso , en función de datos estadísticos de la producción de yeso y cemento de cada país, sería el siguiente:

País	Producciones (x 10 ³ t)		Consumo estimado (x 10 ³ t)		Déficit estimado (x 10 ³ t)	
	Yeso	Cemento	Yeso crudo	Derivados	Yeso crudo	Derivados
Colombia	450	9.000	450	530	-	530
Venezuela	135	7.000	350	210	215	210
Costa Rica	-	990	49,50	40,50	49,50	40,50
Nicaragua	15	350	17,50	37,50	2,50	37,50
Panamá	-	350	17,50	52,50	17,50	52,50
Puerto Rico	-	1.350	67,50	37,50	67,50	37,50
Haití	-	50	2,50	17,50	2,50	17,50
Pequeñas Antillas	-	550	27,50	-	27,50	-
Trinidad y Tobago	-	617	30	10	30	10
TOTAL	600	20.257	1.012	935,50	412	935,50

Fuente: Elaboración propia (Datos del año 1.996)

Como países abastecedores de este mercado se presentan: México, con intereses en la industria cementera de Panamá, Venezuela y Trinidad - Tobago y Jamaica, ambos con capacidad suficiente para abastecer sobradamente la demanda del mercado de yeso crudo; frente a México, sobre todo, posee la República Dominicana ventajas geográficas evidentes que podrían suponer una posibilidad evidente para acceder a estos mercados.

Respecto a la posible demanda del mercado de yeso calcinado, escayolas y prefabricados de yeso, pueden acudir a estos países las industrias mexicanas y estadounidenses; frente a ambas, podría actuar con ventaja en costes de transporte una industria de este tipo que se estableciera en la zona de Barahona en la República Dominicana.

Conviene recordar que si la industria de la construcción no utiliza o lo hace escasamente prefabricados de yeso en algunos países se debe a la falta de oferta de estos productos en el mercado, ya que hasta ahora, en todos los países donde han aparecido en oferta productos de este tipo (paneles, molduras, tabiques, techos, etc) han sido rápidamente aceptados por el sector constructor con unas tasas de incremento anual de su demanda muy importantes. De hecho, la utilización de estos prefabricados y derivados del yeso es tanto mayor cuanto mayor es el nivel de desarrollo de un país y mejores son las técnicas que se aplican en la construcción de edificios de todo tipo.

- Análisis del mercado actual y a medio plazo del mineral de yeso y sus derivados en la República Dominicana a partir de datos estadísticos y/o obtenidos por entrevistas personales, tanto de la producción como de la demanda o consumo actual o previsibles.

En este análisis ha tenido gran interés la evolución en los últimos años, situación actual y previsiones a medio plazo, de los sectores cementero y de la construcción, principales demandantes de yeso tanto crudo como calcinado y productos prefabricados.

En conclusión, y como posible guía para el futuro aprovechamiento minero del yacimiento de “Las Salinas”, se podrían establecer los siguientes puntos:

A) Con vistas al mercado exterior:

- Se ha definido una posible demanda externa de yeso crudo de 412×10^3 toneladas anuales, con datos de 1.996, para un conjunto de nueve países fácilmente accesibles, por proximidad geográfica, para un productor-exportador situado en la República Dominicana.
- Atendiendo a este punto, la futura explotación del yacimiento de Las Salinas, debería plantearse el acceso a este mercado de exportación con cuotas inicialmente modestas del 12-15 %, para alcanzar sucesivamente cuotas de mayor entidad.
- Suponiendo un crecimiento de la demanda anterior similar a la prevista para el mercado mundial del 3 % anual (punto 4.4.-), las demandas que se podrían establecer para los próximos años, a partir de las citadas 412×10^3 toneladas del año 1.996, y las cuotas que podrían ser cubiertas o satisfechas por el yacimiento de Las Salinas se establecen, de forma aproximativa, en el siguiente cuadro:

<u>Año</u>	<u>1996</u>	<u>1999</u>	<u>2000</u>	<u>2001</u>	<u>2002</u>	<u>2003</u>
Demanda (x10³t)						
Nueve países	412	450	464	477	492	507
Cuota mercado yac.						
Las Salinas (%)	15	20	25	30	35	
Toneladas (x10 ³ t)	67	93	119	148	177	

- Evidentemente, para alcanzar estos objetivos, la futura empresa explotadora deberá actuar en este mercado de exportación con los recursos adecuados, tanto humanos como técnicos, para aprovechar su ventaja geográfica.

B) Con vistas al mercado interior.

- Las cuotas de crecimiento del Sector de la Construcción de los últimos años y las predicciones para los próximos, así como las expectativas del sector cementero, con un aumento de su capacidad productiva conjunta, hacen que las perspectivas de demanda de yeso, en sus distintas presentaciones, ofrezcan cuotas crecientes muy importantes.

- Las cuotas anuales de crecimiento estimado de la demanda de yeso para la fabricación de cemento (8%) y para la fabricación de yeso calcinado (12%), además de la de productos prefabricados, hacen que la estimación de demanda actual (1977) de 147.500 t/año llegue a las 245.000 toneladas previstas como demanda dominicana de yeso crudo para el año 2002.
- Suponiendo que este mercado puede y debe ser abastecido en su totalidad por la producción futura del yacimiento de Las Salinas, se puede establecer que la venta al mercado interior procedente de dicha explotación podría ser la siguiente:

<u>Año</u>	<u>1997</u>	<u>1999</u>	<u>2000</u>	<u>2001</u>	<u>2002</u>	<u>2003</u>
Demanda interior (x10 ³)	147,5	186	210	230	245	270

5) Planta de calcinación

En la actualidad solamente existe una fábrica con tecnología adecuada instalada en la República Dominicana. En base a los resultados obtenidos del “Estudio de Mercado”, se ha previsto la instalación de una nueva planta de tratamiento de yeso, que se ubicaría en las proximidades de la población de Las Salinas, que con una producción inicial de 16.000 t/año, que se irá incrementando hasta alcanzar las 32.000 t/año a partir del quinto año, abastezca el mercado interior tanto para la construcción (pañetes), como para la elaboración de elementos prefabricados.

La plantilla necesaria para el funcionamiento de esta planta se estima en 11 personas, trabajando en tres turnos diarios.

6) Estudio de factibilidad

Para el análisis de la factibilidad económica y una vez definidas las condiciones de explotabilidad técnica, con sus métodos de explotación, necesidades de maquinaria, costes de operación, etc., se han fijado una serie de criterios básicos para el planteamiento del análisis, que son:

- Periodo de análisis de diez años.
- Nivel de producción creciente durante los primeros cinco años, hasta alcanzar una producción de 450.000 t anuales vendibles.
- Plazo de un año para instalar e iniciar la producción.
- Análisis a moneda constante de 1.998 con cambios monetarios de Sep.-98.
- Tipo lineal de amortización del inmovilizado fijo.
- Análisis de rentabilidad sin considerar, en principio, recursos ajenos para la financiación de las inversiones.
- La inversión en capital circulante se financia con recursos propios, que se recuperan íntegramente al final del periodo.
- Se determinan, a partir de un caso base, los índices siguientes: Punto Muerto o Break Point, Periodo de Recuperación, Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN) a distintas tasas.
- Para el caso de la explotación minera, se han analizado asimismo el caso de una posible financiación, con recursos ajenos del 50%, aproximadamente, de las inversiones en inmovilizado.
- La sensibilidad y riesgo de la rentabilidad, se ha determinado mediante el análisis de la variación total y porcentual de la TIR del negocio, al cambio de las condiciones de alguno de los factores más importantes, como: costes, inversiones e ingresos, estimados en el caso básico.

Los resultados obtenidos para los distintos casos analizados han sido:

- Explotación minera sin financiamiento externo

Punto muerto	159.392 t/año vendible.
Periodo de recuperación	4 años y 6 meses
Tasa Interna de Retorno	23,5 % (TIR absoluta)
Valor Actual Neto (TIR =15%)	24.102 x 10 ³ \$RD.

- Explotación minera con financiación externa

Periodo de recuperación	3 años y 2 meses
Tasa Interna de Retorno	39,7 % (TIR ponderada)
Valor Actual Neto (TIR =15%)	34.897 x 10 ³ \$RD.

- Sensibilidad TIR Absoluta

Variación Factor	-20%	-10%	0%	10%	20%
Inversión	29,1	26,1	23,5	21,2	19,3
Costes	29,6	26,6	23,5	20,4	17,1
Ingresos	11,4	17,7	23,5	29,1	34,4

- Planta de tratamiento

Punto muerto	3.264 t/año vendible.
Periodo de recuperación	2 años y 2 meses
Tasa Interna de Retorno	59,3 % (TIR absoluta)
Valor Actual Neto (TIR =15%)	85.677 x 10 ³ \$RD.