“Proyecto de Explotación del Yacimiento San Rafael”

Angélica Becerra[1], Ing. Jorge Velasco[2], Dr. Paúl Carrión[3], Ing. Mauricio Cornejo[4], Dra. Elizabeth Peña[5], Ing. Fernando Morante[6].
[1] Ingeniero de Minas 2003
[2] Director de tesis, Ingeniero de Minas, Universidad Central, 1977, Profesor FICT-ESPOL
[3] Ingeniero en Geología, ESPOL 1991, Master en Tecnología Hidrogeológica, Universidad Politécnica de Madrid 1992, Ingeniero de Minas, Universidad Politécnica de Madrid 1993, Doctor en Ingeniería de Minas, Universidad Politécnica de Madrid 1996, Profesor FICT- ESPOL
[4] Ingeniero de Minas, ESPOL 1999, Profesor FICT- ESPOL
[5] Licenciada en geología, Universidad Estatal 1989, Doctor en Ciencias Geológicas, Universidad Politécnica de Madrid 1995, Profesora FICT- ESPOL.
[6] Ingeniero en Geología, ESPOL 1991, Doctorante Universidad Politécnica de Madrid-ESPOL 1998, Profesor FICT- ESPOL

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el Proyecto de Explotación del Yacimiento “San Rafael” (Península de Santa Elena).
En la primera parte se presenta la caracterización del yacimiento mediante la descripción geológica, geomorfológica, petrográfica y complementada con el estudio de las propiedades mineralógicas, físicas y geomecánicas del material detrítico.
Utilizando el Método de Perfiles o Cortes se calcula las reservas, y con los datos obtenidos se planifican los volúmenes de extracción y producción anual de la mina.
Conociendo las condiciones geométricas, geomecánicas, operativas y ambientales del yacimiento, se realiza el diseño final de la cantera.
Posteriormente con el ajuste de los parámetros de producción minera se efectúa el análisis económico respectivo, tomando como base el valor comercial del producto.
Finalmente se identifican y evalúan los impactos ambientales producidos por la explotación de la gravera, así como se delinea un programa de manejo ambiental que permita realizar una explotación minera con apego a las normas ambientales vigentes.

INTRODUCCIÓN.

En la última década la demanda de materiales para la construcción ha tenido un crecimiento sostenido, tal como se puede observar en la Figura 1.

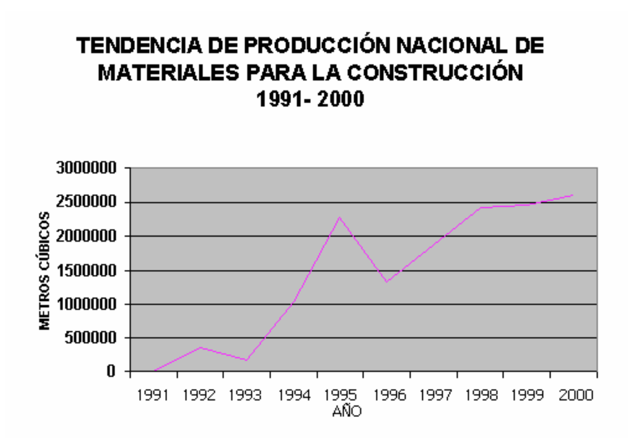

Fig. 1. Tendencia de Producción Nacional de Materiales para la Construcción
(Fuente: Datos del Banco Central del Ecuador)

Esto implica la necesidad de abrir nuevas fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda. Un sector prometedor desde el punto de vista de la minería de materiales de construcción, constituye la Península de Santa Elena que está ubicada en la costa ecuatoriana.

No existe duda que la explotación racional de los recursos mineros, generan riqueza y que ésta mejoraría la calidad de vida de sus habitantes, además de generar fuentes de trabajo y contribuyendo de esta manera a la disminución de la migración de personas autóctonas del sector a las grandes ciudades.

ANTECEDENTES.

San Rafael es una Comuna que se encuentra ubicada en la Península de Santa Elena, en la cual la explotación de la gravera que pertenece a esta comuna constituye una de las fuentes más importantes de ingresos para sus pobladores, ya que gran parte de ellos dependen económicamente de esta explotación.

La explotación de la Gravera de San Rafael se ha realizado durante años sin tomar en cuenta parámetros técnicos ni ambientales, es por ello que la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) a través del Área de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ciencias de la Tierra y con el apoyo del Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena comprendiendo la realidad del sector ha intervenido en esta Comuna brindando asesoría técnica que ayudará a realizar la explotación de la gravera de manera adecuada cumpliendo con las normas ambientales vigentes y buscando desarrollar productos con valor agregado a partir de estas gravas con lo cual se contribuiría de manera importante a la economía de la zona, a la vez que se constituiría en un modelo tipo a ser considerado por las comunas cercanas que se dedican a la explotación minera.

I. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

1.1. GEOLOGÍA LOCAL

La Cuenca Progreso, en la cual se asienta San Rafael, está limitada al Norte por la Cordillera de Chongón-Colonche, al Oeste y al Sur por el Horst de Playas Azúcar y abierta al Este sobre la zona baja del delta del Guayas.

Como parte de esta cuenca, la zona de San Rafael forma parte de una depositación de material detrítico, que se encuentra ubicado sobre la Formación Tablazos, de edad ?. (Según Hoja Geológica Zapotal, Proyecto ORSTOM- ESPOL, Escala 1:50.000, 1987).

La Formación Tablazos, se encuentra tanto en la baja Cuenca del Guayas, como a lo largo de la línea de la costa.

1.2. GEOMORFOLOGÍA.

El relieve, en general, es recortado suavemente con ondulaciones (en formas como olas con una longitud de onda grande) desde 10 m.s.n.m hasta 30 m.s.n.m en altitud, además la mayoría de las colinas son aterrazadas, es decir con forma de mesetas, dentro del área de interés.

Las pendientes dominantes en San Rafael son moderadas, aproximadamente del 10% al 20%.

La Gravera San Rafael, está dentro de una zona de depresión, es decir de cotas bajas, muy factible para la depositación de material sedimentario, que está formando la Cuenca Progreso.

El área de explotación minera es muy difícil de catalogar geomorfológicamente, pues no se tiene una forma definida sino una serie de excavaciones, tal como puede observarse en la figura siguiente.

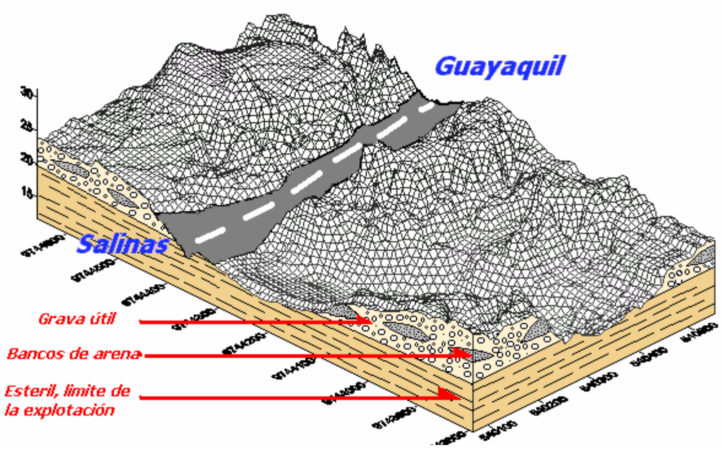

Fig. 2. Representación tridimensional de la topografía de San Rafael.

1.3. ELEMENTOS DE ORIENTACIÓN DEL YACIMIENTO.

Elementos de orientación.
En depósito de San Rafael, es subhorizontal, prácticamente los estratos se encuentran dispuestos de manera horizontal, por lo tanto no se tiene ángulo de buzamiento.
El depósito puede ser observado en las 28 Ha. de la concesión, notándose que éste se extiende hacia el este, el mismo que está compuesto por gravas y arenas con una potencia media de 3.98 m (Tal como se detalla en el epígrafe III), y una cobertura de 80 cm. aproximadamente.

Composición.
El yacimiento está compuesto por arena fina, arena gruesa, gravilla y grava menuda, que comprende una granulometría que va desde D_{80} = 0.12 mm. hasta D_{80}= 32 mm.

Propiedades Físico Mecánicas.
Las gravas y arenas se consideran incompetentes, además poseen una cohesión aproximada de 5 Kg./cm^2, por lo que será necesario mantener un talud con una inclinación que se aproxime al ángulo de reposo (35°).

II. PROPIEDADES DEL MATERIAL DETRÍTICO

2.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Entre las propiedades físicas podemos citar: el tamaño, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza, etc. Entre las propiedades químicas tenemos: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.
La dimensión, forma y redondez son función de los procesos sedimentogenéticos, en el caso de áridos naturales, las otras propiedades dependen de la composición mineralógica.
Entre los ensayos de propiedades físicas y químicas que se ha practicado a las gravas de San Rafael se tienen los siguientes:

- Ensayo de Abrasión de los Ángeles.
- Densidad Aparente.
- Porcentaje de absorción de agua.
- Resistencia de los agregados por medio de sulfatos.

Los resultados de estos ensayos se detallan a continuación:

El Porcentaje de desgaste por medio del Ensayo de Abrasión de los Ángeles fue de 19.58 %.
Densidad de volumen del árido seco   2.59 t/ m^3
Densidad del árido saturado superficialmente   2.61 t/ m^3
Densidad aparente 2.65 t/ m^3
Porcentaje de absorción del agua   0.95 %
Prueba de resistencia de los agregados mediante sulfatos: desgaste 3.27%.

2.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO.

A partir del análisis petrográfico se pudo determinar que los principales constituyentes del material de la gravera son: cuarzo, arenisca, pedernal, fragmentos de conchas, óxidos de hierro y grauwaca, en las proporciones siguientes:

Constituyentes	Porcentajes (%)
Cuarzo	33.6
Arenisca	29.3
Pedernal	22.9
Fragmentos de conchas	7
Óxidos de hierro	4.3
Grauwaca	2.9

Tabla I. Resultados del Análisis Petrográfico.

A continuación se presentan fotografías de microscopía electrónica de algunos de los constituyentes más importantes de las gravas de San Rafael, nótese la redondez y subredondez que presenta el cuarzo, debido al transporte realizado por el antiguo río.

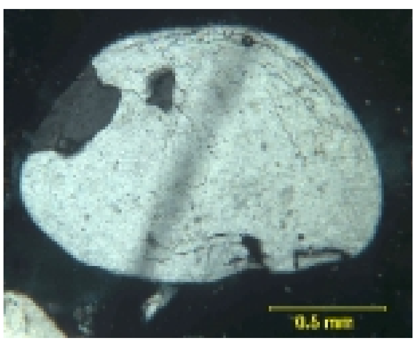

Fig. 3. Cuarzo Monocristalino.

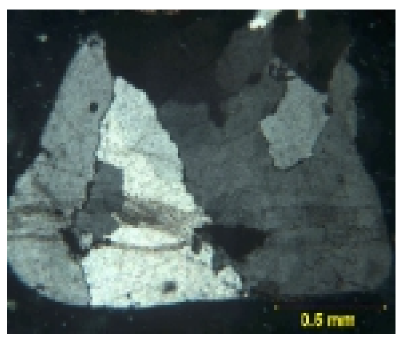

Fig. 4. Cuarzo Policristalino.

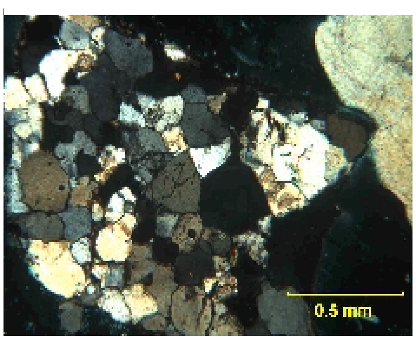

Fig. 5. Arenisca.

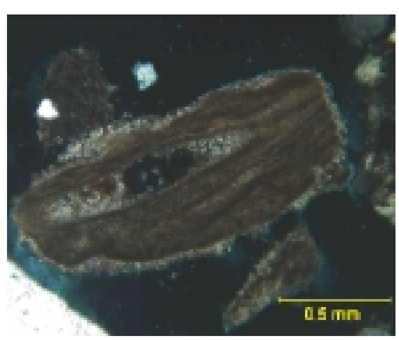

Fig. 6. Fragmento de Concha.

III. MUESTREO Y EVALUACIÓN DE RESERVAS

3.1. MUESTREO.

El objetivo primordial del muestreo realizado en este yacimiento fue obtener la información necesaria respecto a espesores de la cobertura y espesores del material detrítico (gravas y arenas).
Debido a que el proyecto está en fase de explotación, no ha sido necesario realizar perforaciones ni calicatas, ya que encontramos un sinnúmero de excavaciones realizadas que la medida de los espesores antes señalados.
Utilizando una cinta se midieron los espesores de la cobertura y del material detrítico y dichos puntos fueron ubicados mediante GPS, tomando en consideración la densidad de muestreo adecuada para este tipo de yacimiento.

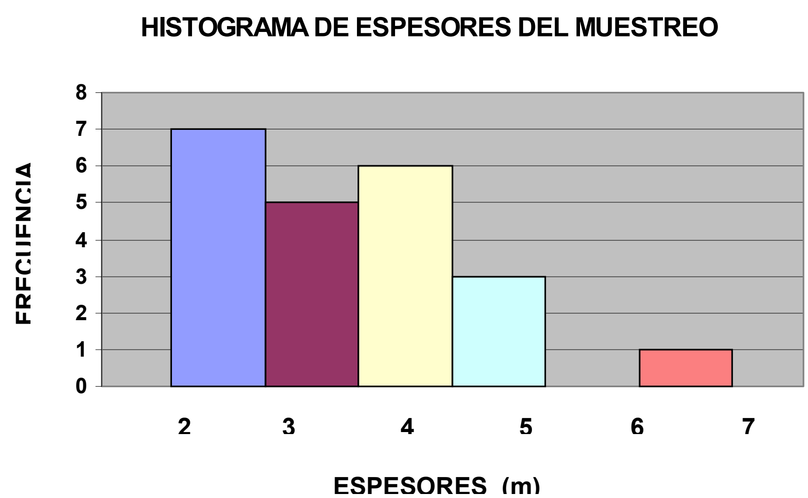

Fig.7. Histograma de frecuencias de los espesores del material detrítico, realizado a partir de los datos del muestreo.

Una vez graficados los datos del muestreo se pudo observar el carácter lognormal del yacimiento, tal como ocurre en la mayoría de yacimientos.

Conociendo que, la distribución del espesor del material detrítico es lognormal, el cálculo del espesor medio (por ajustarse a una distribución lognormal) se realiza utilizando dos parámetros, siendo estos la media y la varianza de la población logarítmica.
Para obtener el verdadero valor del espesor medio utilizamos la fórmula:

$$\mu = e^{(\alpha + \beta^2/2)}$$

donde:

μ= Valor estimado de la media del espesor.
α= Media de la distribución de los logaritmos de los espesores.
β= Desviación estándar de la distribución de los logaritmos de los espesores.
Procesados los datos hemos obtenido los siguientes valores:
α= 1.32
β= 0.35
Reemplazando en la fórmula:

$$\mu = e^{(1.32 + 0.35^2/2)}$$

$$\mu = \mathbf{3.98}$$

Por tanto, el espesor medio calculado para nuestro yacimiento es de 3.98 m.

3.2. CÁLCULO DE RESERVAS.

Luego de haber determinado la naturaleza y distribución del material detrítico, se debe pasar al cálculo de las reservas, es decir conocer el volumen y tonelaje de las reservas existentes.
El método utilizado para calcular las reservas existentes en tres sectores del yacimiento ***(Sector A, Sector B y Sector C)*** (Mapa 1), ha sido el método de perfiles o cortes, que consiste en dibujar seccione geológicas verticales en las que a intervalos regulares se representa la forma del depósito y el área ocupada por el mismo en cada sección. Las reservas se pueden calcular multiplicando el área en cada sección por la equidistancia entre estas y sumando a continuación los volúmenes obtenidos.
Para tal efecto, se realizaron 16 perfiles a 20 m de equidistancia, los datos obtenidos se procesaron mediante los programas Autocad y CivilCad.
A continuación , en la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo de reservas:

TIPO DE RESERVAS	(m^3)	(t)
Probadas	146 570.08	263 826.14
Probables	56 232.35	101 218.23
Posibles	76 772.33	138 190.19
Total	**279574.76**	**503 234.56**

Tabla II. Resultados de la Evaluación de reservas.

Se han considerado como reservas probadas aquellas que han sido calculadas a partir de los datos de muestreo, como reservas probables al 25% del área de influencia de cada sector, y reservas posibles a estimaciones con errores superiores al 50% (Según definiciones de las naciones Unidas).

IV. SECUENCIA ACTUAL Y DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

4.1. SECUENCIA DE EXPLOTACIÓN.

Actualmente, la extracción es realizada sin seguir algún método de explotación, de manera discontinua, el avance no tiene ninguna dirección preferencial, ya que cada miembro de la sociedad minera lo realiza a su criterio.
Todos los procesos de la explotación en la gravera son realizados de forma manual, salvo en ciertos casos en que se contrata retroexcavadora para realizar el destape.
La secuencia de explotación empleada, puede ser observada en la figura 8.

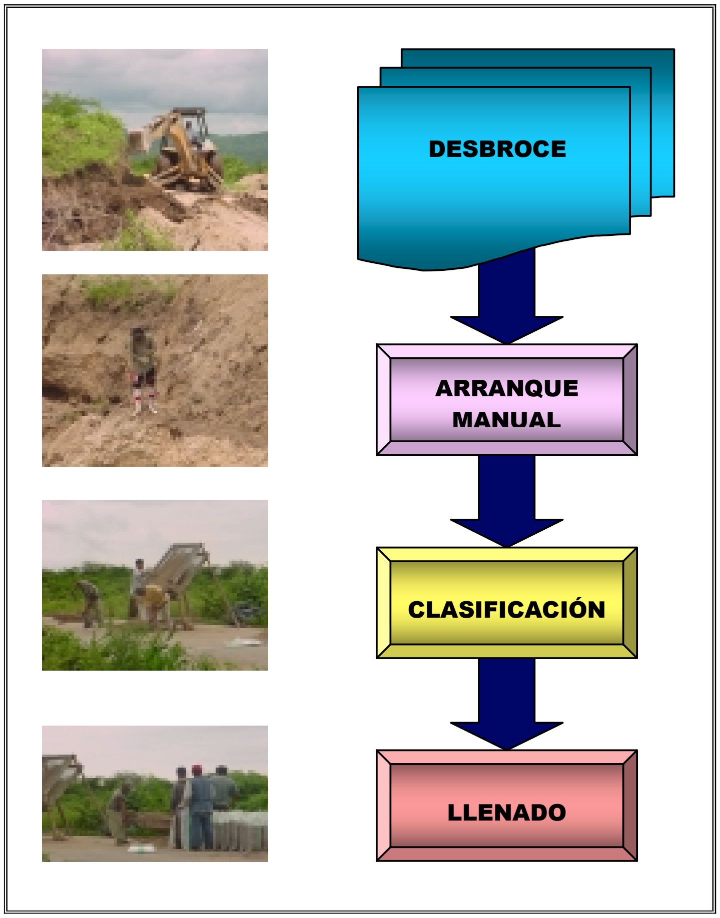

Fig.8. Esquema de la secuencia de explotación empleada en la Gravera San Rafael.

4.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.

Se plantea utilizar un método minero que consistirá en la explotación desde la superficie de unas capas, básicamente horizontales (menos de 10° de buzamiento), mediante la apertura de un hueco inicial para el descubrimiento de la capa o capas y tras la extracción de estas se procederá a rellenar el hueco ya explotado con el estéril que se extraerá de la fase siguiente

Este método permite una rehabilitación del terreno agrícola, forestal o ganadera, que lo ha hecho extraordinariamente popular en la minería moderna

El método de explotación elegido, como ya se ha descrito anteriormente es el de Descubiertas (Strip Mining), aunque con una variación, ya que por sus características este método ha permitido un volumen grande de producción y una automatización muy notable, empleando de esta manera un reducido número de personal.

4.3. CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE LA EXPLOTACIÓN

Para el diseño de explotación se ha considerado el siguiente grupo de parámetros:

- Geométricos.
- Geomecánicos.
- Operativos.
- Ambientales

Cabe señalar, que para la elaboración de dicho plan de explotación se tomaron en cuenta aspectos sociales como es una mayor participación de la fuerza laboral de los miembros de la sociedad minera, mediante la aplicación de un método extractivo que permita conseguir tal objetivo.

4.3.1. CONDICIONES GEOMÉTRICAS.

El yacimiento se encuentra ubicado en el paleocause de un río, cuyas crecientes de agua y avenidas de material arrastrado ha dado origen a un depósito fluvial de tipo lenticular, su geometría es superficial y poco profunda, con potencia media de 3.98 m. y cobertura de 0.80 m. aproximadamente.
A continuación se presenta una columna estratigráfica ubicada en las coordenadas 540476 (X), 9744068 (Y), donde se puede apreciar de manera gráfica lo descrito anteriormente.

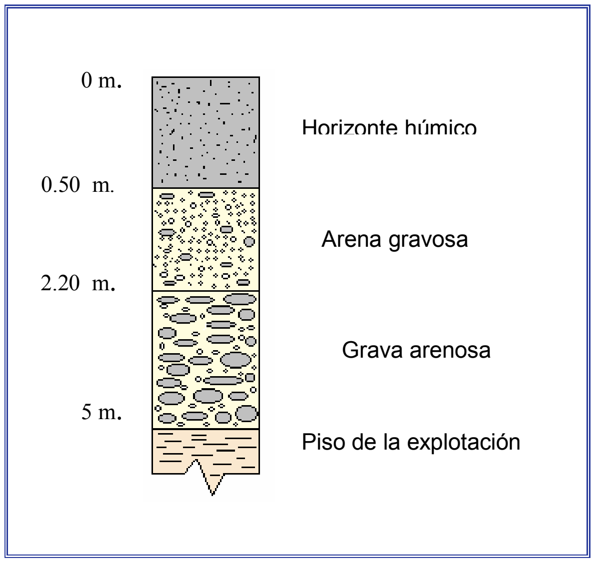

Fig.9. Columna estratigráfica localizada en el Punto 5 del muestreo.

La topografía es propia de los depósitos de valle asentados en terrenos llanos o suavemente ondulados.

4.3.2. CONDICIONES GEOMECÁNICAS.

El material depositado está conformado de:

- Gravas de diferentes tamaños (Gravilla y grava menuda en mayor proporción y, grava media en menor proporción).
- Arena (fina y gruesa).

Este material está compuesto principalmente por cuarzo, arenisca, pedernal, fragmentos de conchas y grauwaca; según resultado de análisis petrográfico.
Las principales propiedades físico-mecánicas de este material que son de interés para el diseño, se presentan a continuación:

- Densidad aparente: 2.65 t/ m^3.
- Angulo de rozamiento interno: 35°.
- Cohesión: Menor a 0.5 Kg./cm^2.
- Resistencia a la compresión simple: 0.2-6 MN/ m^2.

4.3.3. CONDICIONES OPERATIVAS.

Basado en las condiciones de operación necesarias se tendrán las dimensiones requeridas para un trabajo eficiente y seguro.

Altura de Banco.
Considerando la poca potencia de la cobertura como de la capa detrítica esta altura se va a regir por la distancia entre la superficie y el piso o muro del yacimiento:
Potencia de la cobertura: 0.80 m.
Potencia de la capa detrítica: 3.98 m.
Altura del banco: 4.78m.

Anchura del Tajo.
Es la distancia mínima necesaria para realizar todas las operaciones unitarias simultáneamente:
Espacio para carguío: 1.5 m
Espacio para clasificación: 2.5 m
Espacio para transporte: 3 m
Espacio de seguridad: 1 m
Anchura de tajo: 8 m

Angulo de Cara de banco.
En vista de los sedimentos poco cohesionados se mantendrá un talud poco inclinado, buscando aproximarse siempre al ángulo de reposo:
Angulo de reposo: 35°
Angulo de trabajo: < 40°

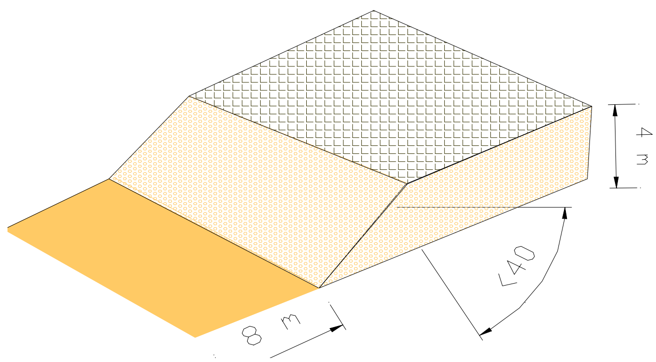

Fig.10. Representación gráfica de los principales parámetros operativos .

4.3.4.CONDICIONES AMBIENTALES.

El método de explotación seleccionado utiliza el estéril o cobertura del próximo avance como relleno del hueco anterior, y nos permite ir reforestando a medida que se va avanzando en la explotación.
Dentro de los impactos más importantes tenemos el paisajístico, debido a que la Gravera de San Rafael está ubicada a escasos metros de la vía que conduce a un importante balneario de la costa.
Por esta razón se tiene planificado, antes de comenzar a ejecutar el método de explotación, colocar pantallas visuales con la vegetación propia del sector, e ir avanzando desde la vía hacia adentro, con el fin de ir reforestando sucesivamente el área que ya ha sido explotada.

4.4. PROCESO DE TRATAMIENTO.

El material que se comercializa es grava y arena natural, que no reviste ningún tipo de tratamiento, después que el material es clasificado; muchas veces éste se encuentra recubierto de pátinas de caolín, arcillas y óxidos de hierro.
En las fotografías que se muestran a continuación se puede observar la superficie limpia de la grava conocida como piedra 3 y piedra 5, luego de ser sometidas a un proceso de lavado ácido por 24 horas, notándose el mejoramiento en la calidad del producto.

Fig.11. Material de la Gravera San Rafael después de lavado ácido.

4.5. PLAN CALENDARIO DE EXPLOTACIÓN.

Se ha divido los tres sectores donde se han evaluado las reservas probadas en 51 bloques de 900 m^2 aproximadamente, debido a que en la actualidad son 38 los miembros de la sociedad minera, pero este número puede incrementar.
Luego se ha calculado el volumen de material útil a ser explotado cada año y en base a los ratios se ha estimado el volumen de estéril a ser removido anualmente.
Con los resultados obtenidos en estos cálculos se ha realizado el plan calendario de explotación para la gravera "San Rafael" tomando en cuenta las reservas probadas, tal como puede ser observado en la Fig. 12.

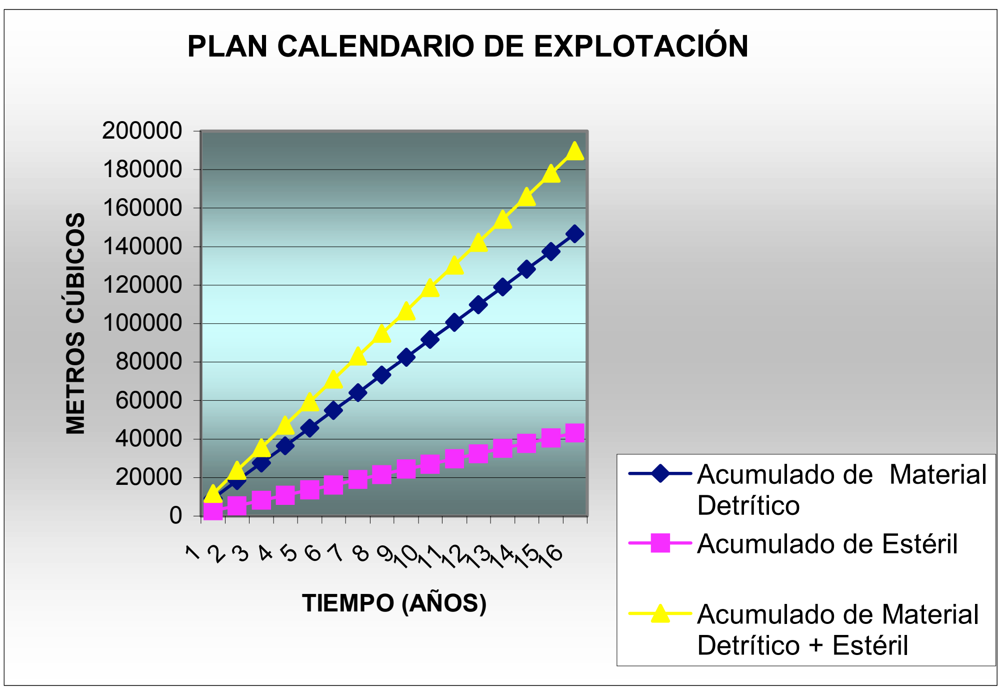

Fig.12. Plan Calendario de Explotación.

V. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

El análisis de sensibilidad nos muestra el grado de impacto al cambio de una variable sobre la rentabilidad, es decir, este análisis nos permite identificar aquellas variables que tienen un mayor impacto sobre el resultado frente a distintos grados de error en su estimación, ayudando a decidir sobre la conveniencia de realizar estudios más profundos de esas variables críticas.

Generalmente la magnitud en que se altera cada variable suele mantenerse constante a lo largo de la vida del proyecto, pero es posible ajustar los coeficientes de variación a los niveles de confianza de las estimaciones, ya que estos serán mayores en los primeros años de operación del proyecto y menores en los últimos períodos de explotación. La relación entre los porcentajes de cambio del criterio de evaluación y de las variables investigadas medirán la sensibilidad de cada una de ellas.

Para nuestro caso, las variables que se van a analizar son:

- Precio de venta
- Costes de Operación
- Reservas Explotables

El análisis se ha efectuado con variaciones de: +5%, +10%, +20%,-5%,-10% y -20% para cada una de las variables.

En la figura 13 se presenta de manera gráfica el resultado del análisis de sensibilidad para el VAN mediante un gráfico araña; y en las figuras 14, 15 Y 16 los análisis de sensibilidad para la TIR.

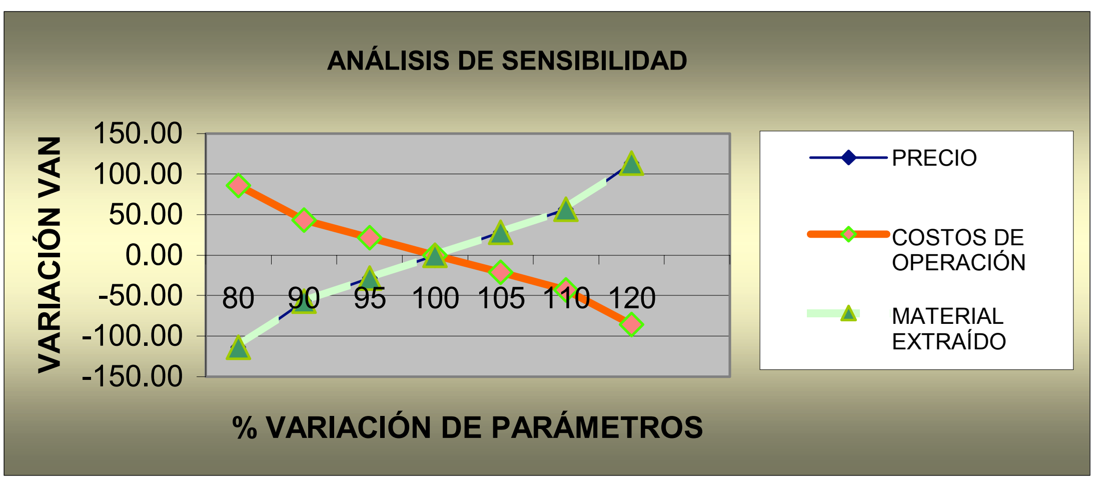

Fig. 13.   Análisis Sensibilidad del VAN.

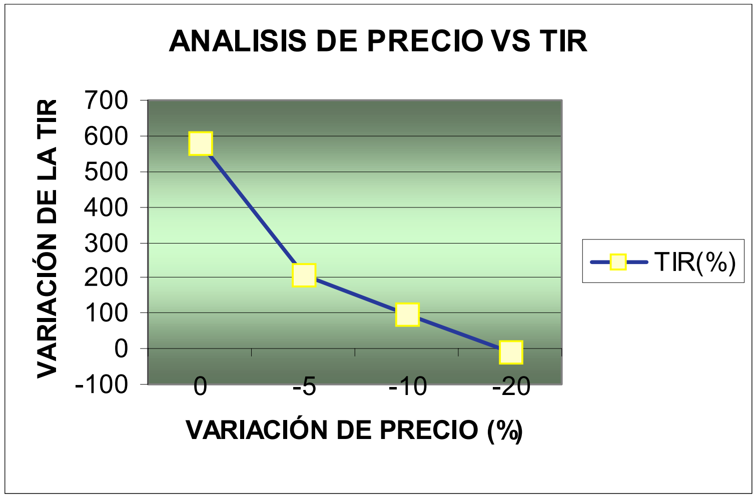

Fig. 14.   Análisis de Precio vs. TIR.

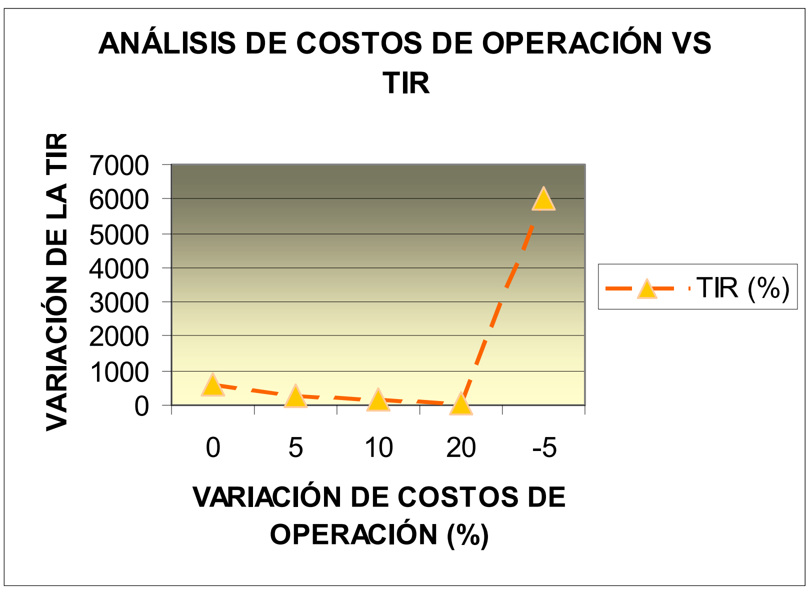

Fig. 15.   Análisis de Costo de Operación vs. TIR.

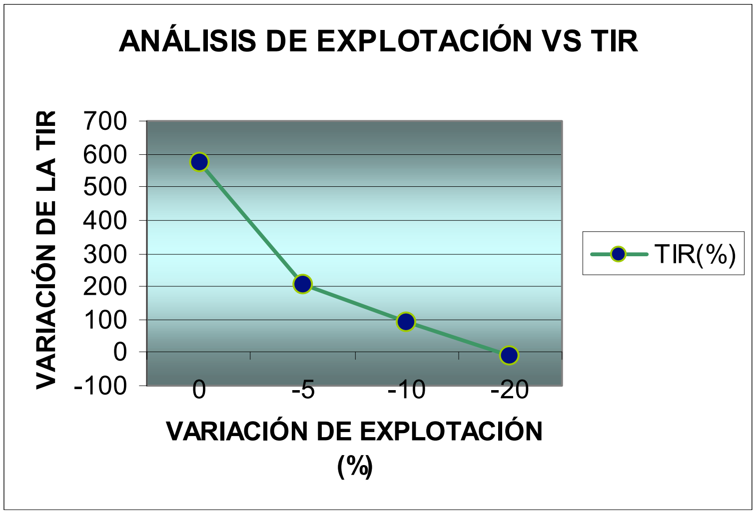

Fig. 16. Análisis de Variación de Explotación vs. TIR.

VI. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Con el fin de realizar un Plan de Manejo Ambiental Sustentable, el *Área de Ingeniería de Minas de La Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) realizó el 12 de octubre del 2001 el I Seminario Taller: " Técnicas en la Explotación de Áridos y sus consideraciones Ambientales " como contribución al desarrollo y capacitación de sus miembros beneficiando de ésta manera a sus familias y a la Comuna en general.*
Este taller instructivo-participativo estuvo dirigido para receptar sugerencias, concertar al diálogo en vías de llegar a un consenso en cuanto a seguridad minera, método de explotación, medio ambiente y posibles aplicaciones del producto.
Posteriormente con las sugerencias recogidas de la Comuna en general, se realizó el Plan de Manejo Ambiental de la Gravera San Rafael, el mismo que será implementado a partir del año en curso y que ha servido para cumplir con los requisitos legales para seguir manteniendo la concesión por parte de los mineros artesanales de San Rafael.

CONCLUSIONES

Datos estadísticos muestran que la demanda de materiales para la construcción en nuestro país ha crecido significativamente en la última década, por lo cual se recomienda incorporar nuevas fuentes de abastecimiento y ayudar a un mejor desarrollo de las ya existentes.

En la Península de Santa Elena existen varias comunas que cuentan con recursos mineros, cuya explotación racional sería una fuente generadora de ingresos para sus habitantes. Hoy en día, el estado ha quitado todo tipo de apoyo técnico hacia la minería artesanal, es por ello que se hace necesario la ayuda oportuna de las universidades hacia este sector por medio de convenios que resultan favorables para ambas partes, tal como se lo está realizando entre la ESPOL- Comuna San Rafael.

Los resultados de los análisis de resistencia muestran que el material de San Rafael es de buena calidad, por lo que los mineros de San Rafael tienen proyectado a corto plazo, fabricar adoquines con el material de lña Gravera.

BIBLIOGRAFÍA

VARIOS AUTORES, Guía de restauración de Graveras, I.T.G.E., 1996.

VARIOS AUTORES, Manual de Prospección, explotación y aplicaciones, López Jimeno, 1994.

CARRIÓN, CORNEJO, BECERRA, GRIJALVA, RECALDE, ROMERO, Folleto I Seminario Taller " Técnicas de explotación de áridos y sus consideraciones ambientales", ESPOL, 2001.

CARRIÓN, ALBARRÁN, Los sedimentos fluviales del SW de Guayaquil (ECUADOR):Posible uso como áridos,CYTED, 2001.

Carloz Lopez Jimeno, Angel camara Rascon, Luis Fernández, Jose Montes, Francisco Roman, Rogelio de la Vega, Enrique Azcarte, Manual de Evaluación Técnico-Económica de Proyectos Mineros de Inversión, ITGE, 1997

Francois Dugas , Cuarto Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos,Colegio de Ingenieros de Geología, Minas y Petróleos, 1986

Francois Dugas Y Msc. Eugenio Núñez del Arco, Guía Geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana ESPOL- ORSTOM, 1987

Carlos Lopez Jimeno, Guía de Restauración de Graveras, ITGE, 1996