



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

**" GESTION DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS Y APROVECHAMIENTO
DE LAS ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN EL
PARQUE TECNOLÓGICO DEL CAMPUS-ESPOL"**

TESIS DE GRADO.

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS.

Presentada por:

JANIO ADHEMAR NAZARENO COLOMA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2002

AGRADECIMIENTO.

- Al Dr. José Luis Santos, Director CICYT.
- Al Ing. Fernando Morante Director Proyecto Geo-minero de Zeolitas Naturales en el Campus Gustavo Galindo Velasco-ESPOL.
- Al Ing. Julio Cesar Romero Director del Proyecto Sustratos Ecológicos a base de Zeolitas Naturales.
- Al Ing. Oswaldo Valle, Director del Instituto de Ciencias Químicas.
- A la Ing(a). Katthy López, Estudiante de Postgrado de la Universidad del Río de la Plata-Argentina.
- A la Dra. Elizabeth Peña Carpio, Director de Tesis.
- Al Ing. Javier Calderón.
- Al Ing. Hugo Egüez.
- A todas las personas que de manera directa o indirecta aportaron su apoyo certero y seguro para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA.

A MIS PADRES
A MIS HERMANOS.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.

ING. RICARDO GALLEGOS

DECANO DE LA FICT

DRA. ELIZABETH PEÑA CARPIO

DIRECTOR DE TESIS

ING. FERNANDO MORANTE

VOCAL

ING. JULIO CESAR ROMERO

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA.

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Janio Adhemar Nazareno Coloma

RESUMEN

Las perspectivas de desarrollo de zeolitas naturales a nivel nacional esta relacionada considerablemente con los problemas de su obtención a partir de materia prima zeolítica con el fin comercial, que satisfaga los requisitos para aplicaciones en agricultura, acuicultura, industria, descontaminación ambiental, materiales de construcción y otros.

Este estudio pretende proporcionar criterios básicos para el mejor aprovechamiento de este recurso, considerando que la ESPOL posee terrenos, donde se encuentran rocas zeolitizadas, y que por motivos de construcción de un Parque Tecnológico con características Técnico-Científicas y Turísticas, gran parte de este material será removido. Por lo tanto el objetivo de este trabajo es plantear una explotación racional de este recurso y proponer un sistema adecuado y óptimo para la extracción y aprovechamiento de las zeolitas naturales considerando criterios mineros, y paralelamente se efectuara una caracterización e investigación de este mineral, a fin de establecer los tipos de zeolitas y las posibles aplicaciones de sus productos finales.

Para las labores de preparación, desarrollo y extracción de las zeolitas naturales, se tiene como base la topografía de superficie, ubicada en el área de construcción del Parque Tecnológico Campus-ESPOL, en el cantón Guayaquil, provincia del Guayas.

Se efectuó el levantamiento geológico a detalle del sector, complementando con la investigación de campo que consiste en la toma de muestras de rocas, análisis, caracterización y valoración de las mismas. Cuyos resultados servirán de guía para el diseño de afloramiento, elaboración de mapas, identificación de los sitios con mayores contenidos de rocas zeolíticas, tablas de resultados, cálculo de reservas. Así como también la aplicación de los parámetros, geométricos, geomecánicos, operativos y ambientales para la elección del método de extracción y la selección de la maquinaria.

Se realizó la planificación de las labores de extracción de zeolitas naturales, continuando con un análisis económico que describe la inversión fija, costos de producción, costos totales, y el análisis de sensibilidad. Las conclusiones y recomendaciones más importantes tienen que ver con la mineralogía y caracterización de zeolitas naturales, el diseño del movimiento de tierras para la extracción de zeolitas naturales y la factibilidad tanto técnica, económica y ambiental.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
RESUMEN	III
INDICE GENERAL	VIII
ABREVIATURAS	XVI
SIMBOLOGÍA	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABLAS	XXI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XXIII
CAPITULO 1 GENERALIDADES	
1.1. Antecedentes	2
1.2. Introducción	5
1.3. Usos y aplicaciones industriales de las zeolitas	9
1.3.1. Como Absorbentes	10
1.3.1.1. Tratamiento de residuos nucleares	10
1.3.1.2. Tratamiento de residuos metalúrgicos y mineros	11
1.3.1.3. Nutrición animal	11
1.3.1.4. Adsorción de gases	12
1.3.2. Como intercambiadores iónicos	12
1.3.2.1. Acuicultura	13
1.3.2.2. Control de malos olores	13
1.3.2.3. Tratamiento de suelo	13
1.3.3. Adsorción/ desorción de agua	14
1.3.4. Otras aplicaciones	14

1.3.4.1. Como catalizadores o soporte de catalizadores	14
1.3.4.2. Cementos	15
1.3.4.3. Residuales industriales	15
1.4. Localización	17
1.5. Metodología de Trabajo	20

CAPITULO 2 MARCO GEOLÓGICO

2.1 Descripción Geológica Regional	24
2.1.1 Formación Piñón	24
2.1.2. Grupo Chongón	24
2.1.2.1. Formación Calentura	25
2.1.2.2. Formación Cayo Sensu Stricto (S:S)	25
2.1.2.3. Formación Guayaquil	26
2.1.3. Formación San Eduardo	28
2.1.4. Formación Las Masas	28
2.2. Geología y Ocurrencias de las Zeolitas	31
2.2.1. Zeolitas en lagos salinos – alcalinos (Sistema cerrado)	33
2.2.2. Zeolitas en suelos y en superficies terrestres	33
2.2.3. Zeolitas en sedimentos marinos profundos	34
2.2.4. Zeolitas en sistemas abiertos	35
2.5.5. Zeolitas Hidrotermales	35
2.2.6. Zeolitas Metamórficas	36
2.3. Geología Local	37
2.3.1. Geomorfología	37
2.3.2. Aspectos Litológicos	38
2.3.2.1. Descripción de los Aglomerados	38

2.3.2.2. Descripción de Areniscas	39
2.3.2.3. Descripción de Lutitas	39
2.3.2.4. Descripción Tobas	41
2.3.2.5. Depósitos aluviales y coluviales	42
2.3.3. Estructuras	42
2.3.4. Mineralogía	44
2.4. Caracterización Geomecánica	53
2.4.1. Parámetros geomecánicos principales	53
2.4.1.1. Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple	53
2.4.1.2. Índice de calidad de la roca (RQD)	55
2.4.1.3. Discontinuidades	55
2.4.1.3.1. Orientación	55
2.4.1.3.2. Separación entre las juntas	57
2.4.1.3.3. Estado entre juntas	57
2.4.1.3.4. Presencia de agua dentro del macizo rocoso	58
2.4.2. Caracterización del macizo rocoso	60
2.5. Estimación de la reserva	63
2.5.1. Determinación de los volúmenes de mineral útil	66

CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES

3.1. Mineralogía	70
3.1.1. Conceptos Generales	70
3.2. Propiedades químicas de las zeolitas naturales	73
3.2.1. Conceptos generales	73
3.2.2. Propiedades de adsorción	82
3.2.2.1 Isotermas de adsorción	84

3.2.2.2. Deshidratación - Rehidratación	86
3.2.3. Tamiz molecular	86
3.2.4. Actividad Catalítica	88
3.2.5. Actividad Biológica	89
3.3. Análisis Químicos de Laboratorio	90
3.3.1. Medida de Temperatura de Hidratación	90
3.3.2. Metodología para realizar calor de inmersión	92
3.3.3. Metodología para realizar la determinación de la capacidad de intercambio catiónico total	97
3.4. Identificación de las Zeolitas Naturales Existentes en el Parque Tecnológico del Campus Gustavo Galindo Velasco - ESPOL	102
3.4.1. Difractometría de Rayos X	103
3.4.2. Microscopía electrónica	124
3.4.3 Fluorescencia de Rayos X	

CAPITULO 4 MOVIMIENTO DE TIERRA

4.1. Descripción de Método para la Extracción de Zeolitas Naturales en el Movimiento de Tierra	132
4.2. Condiciones de los Criterios Mineros para la Extracción de las Zeolitas Naturales en el Movimiento de Tierras	136
4.2.1. Criterios Económicos	136
4.2.2. Criterios Operativos	141
4.2.2.1. Diseño de Perforación y Voladura (Arranque Indirecto)	141
4.2.2.2. Diseño del Arranque Directo, Carga y Transporte	147
4.2.2.2.1. Selección de la Maquinaria de Arranque Directo	147
4.2.2.2.2. Descripción de las Operaciones de Extracción del Estéril	149

4.2.2.2.3. Descripción de las Operaciones de Extracción de Mineral Útil (Rocas Zeolíticas)	149
4.2.2.2.4. Carga y Transporte	150
4.2.2.3. Altura de Banco	152
4.2.2.4. Anchura de Tajo	153
4.2.2.5. Ángulo de Cara de Banco	153
4.2.2.6. Pista y Accesibilidad	154
4.3. Planificación del Movimiento de Tierras para el Aprovechamiento de Zeolitas	155
4.3.1. Determinación de la Vida Optimo de Explotación	156
4.3.2. Plan de las Actividades del Movimiento de Tierras para el Aprovechamiento de las Zeolitas Naturales	158
4.3.2.1. Preparación del Área para Actividades	158
4.3.2.2. Trabajos Básicos de Destape, Desarrollo y Extracción	158
4.4. Plan de Manejo Ambiental	160
4.4.1. Introducción	160
4.4.2. Objetivos	160
4.4.3. Identificación de los Impactos	160
4.4.3.1. Impactos sobre la atmósfera	160
4.4.3.2. Impacto sobre el agua	162
4.4.3.3. Impactos sobre el suelo	162
4.4.3.4. Impacto sobre la morfología y el paisaje	163
4.4.3.5. Impacto sobre la flora	164
4.4.3.6. Impacto sobre la fauna	164
4.4.3.7. Alteraciones en los procesos geofísicos	164
4.4.4. Plan de Mitigación	165
4.4.5. Medidas Ambientales a ser Aplicadas	166

4.4.6. Plan de Manejo de la Producción	168
4.4.7. Plan de Revegetación	168
4.4.8. Plan de manejo de suelos	168
4.4.9. Plan de manejo de escorrentía	169
4.4.10. Plan de rehabilitación paisajístico	169
4.4.11. Plan de monitoreo y seguimiento	169
4.4.12. Plan de contingencia	170
4.4.13. Plan de educación ambiental	170
4.4.14. Plan de manejo de escombreras	171
4.4.14.1. Lugar de Emplazamiento	172
4.4.15. Plan de abandono	174

CAPITULO 5 PREPARACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES

5.1. Introducción	176
5.2. Características básicas de las zeolitas naturales para su fragmentación	177
5.3. Ensayos de caracterización de zeolitas naturales	179
5.3.1. Granulométrica	179
5.3.1.1. Análisis Granulométricos	179
5.3.2. Ensayo de desgastes	183
5.3.3. Trituración y/o Molienda	186
5.3.4. Pruebas de trituración	189
5.4. Clasificación	192
5.5. Productos finales	194
5.6. Perspectiva de las zeolitas naturales	196

CAPITULO 6	PRESUPUESTO	
6.1.	Introducción	198
6.2.	Datos básicos de las actividades de movimiento de tierras para el aprovechamiento de las zeolitas naturales	198
6.3.	Presupuesto de gasto por actividades	199
6.3.1.	Inversión fija	199
6.3.2.	Costos de maquinaria para el movimiento de tierras	200
6.3.3.	Costos de administración técnica	200
6.3.4.	Costos de perforación y voladura	201
6.3.5.	Costos anuales de control de medio ambiente	202
6.3.6.	Costo de mano de obra indirecta	202
6.3.7.	Costos de operación	203
6.4.	Flujo de Caja	204
6.4.1.	Determinación de la tasa mínima aceptable de actualización	204
6.4.2.	Criterios de evaluación	206
6.4.2.1.	Periodo de retorno	206
6.4.2.2.	Tasa de rentabilidad interna (TRI)	207
6.4.2.3.	Valor actualizado neto (VAN)	207
6.5.	Análisis de Sensibilidad	207
6.6.	Resultados	212
CAPITULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	214
CAPITULO 8	ANEXOS	220
8.1	Mapas	221

8.2 Caracterización del Macizo Rocoso	227
8.3 Preparación de Reactivos Químicos	234
8.4 Difractometría de Rayos X	236
8.5 Microscopía Electrónica	272
8.6 Preparación de Muestras para Análisis Laboratorio	284
8.7 Análisis de Sensibilidad	286
BIBLIOGRAFÍA	297

ABREVIATURAS

Å	Amstrong
bar	Presión en bares
dB (A)	Presión acústica en decibeles
cal/g	Calorías por gramo.
cm	Centímetros
CICT	Capacidad de intercambio catiónico
CO ₂	Dióxido de carbono.
° C	Grados Celsius
Fm.	Formación geológica
g	Gramos
Gpo.	Grupo geológico
g/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
Fig.	Figura
h	Horas
ha	hectáreas
IL	Índice de lajosidad
IE	Índice de elongación
Int (%)	Intensidad por ciento
I _{ex}	Índice de excavabilidad
Kg.	Kilogramo
Km.	Kilómetros
Kgf.	Kilogramo fuerza
Kg / mm ²	Kilogramo por milímetro cuadrado
L	Longitud
m	Metros
m ²	Metros Cuadrados

m^3	Metros cúbicos
meq/100 g	Miliequivalentes por cien gramos
ml	Militros
mm	Milímetros
m^2	Metros cuadrados
mg/l	Miligramos por litro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
m.	metros
m^2/g	Metros cuadrados por gramo
mmol/g	Milimol por gramo
MPa	Megapascales
mmol/g	Milimol por gramo
m^3/min	metros cúbicos por minuto
p. Ej.	Por ejemplo
psi	Libras por pulgada cuadrada
RMR	Índice de calidad de la roca
RMA	Rentabilidad mínima aceptable
RME	Ratio Medio Económico
RMG	Ratio Medio Geométrico
rpm	Revoluciones por minuto
SMR	Índice de clasificación de taludes
t_1	Temperatura del agua.
t_2	Temperatura del agua más la muestra.
TIR	Tasa Interna de retorno
Tm.	Toneladas métricas
VAN	Valor actual neto
%Z	Porcentaje de zeolitas

SIMBOLOGIA

Pb	Plomo
Cu	Cobre
Zn	Zinc
Cr	Cromo
Cs	Cesio
NO _x	Oxido nitroso
H ₂ S	Ácido sulfhídrico
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
NH ₄	Amonio
Se	Selenio
Si	Silicio
K	Potasio
Na	Sodio
Ba	Bario
Sr	Estroncio
KCl	Cloruro de potasio
ΔT	Diferencia de temperatura

Figura 3.15	Difractometría de Rayos X muestra JN015	108
Figura 3.16	Difractometría de Rayos X muestra JN017	109
Figura 3.17	Difractometría de Rayos X muestra JN020	110
Figura 3.18	Difractometría de Rayos X muestra JN021	111
Figura 3.19	Difractometría de Rayos X muestra JN022	112
Figura 3.20	Difractometría de Rayos X muestra JN027	113
Figura 3.21	Difractometría de Rayos X muestra JN029	114
Figura 3.22	Difractometría de Rayos X muestra MJMF33	115
Figura 3.23	Difractometría de Rayos X muestra MJMF35	116
Figura 3.24	Difractometría de Rayos X muestra MF16	117
Figura 3.25	Difractometría de Rayos X muestra MF22	118
Figura 3.26	Difractometría de una lutita Tobácea de la formación Cayo	122
Figura 4.1	Método del movimiento de tierras	135
Figura 4.2	Secuencia de las etapas en el diseño del movimiento de tierras	140
Figura 4.3	Esquema de voladura en banco	144
Figura 4.4	Anchura de tajo	154
Figura 4.5	Forma de construcción de una Escombrera	173
Figura 5.1	Maquina de los Ángeles	185
Figura 6.1	Periodo de retorno	206
Figura 6.2	Análisis del VAN	210
Figura 6.3	Análisis del VAN	211

ÍNDICE DE FOTOGRAFIA

	Pagina
CAPITULO 2	
Fotografía 1 Calicata donde se aprecian los aglomerados	38
Fotografía 2 Afloramientos de Arenisca con intercalaciones de lutita ubicadas en la vía perimetral	39
Fotografía 3 Afloramiento de lutitas, muy diaclasado	40
Fotografía 4 Lutita Tobácea	40
Fotografía 5 Afloramiento de tobas en el sector norte del parque Tecnológico ESPOL	41
Fotografía 6 Diaclasamiento típico del sector	44
CAPITULO 3	
Fotografía 1 Muestra MF22	125
Fotografía 2 Muestra JN041	126
Fotografía 3 Muestra JN027	126

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1.1 Países Consumidores de Zeolitas	7
Tabla 1.2 Aplicaciones Industriales de Zeolitas	16
Tabla 1.3 Distribución del Área de la ESPOL	17
Tabla 1.4 Distribución del Área del Parque Tecnológico	18
Tabla 2.1 Descripción Macroscópica de las Rocas Y Resultados de Laboratorio	45
Tabla 2.2 Resistencia a la Compresión Simple	54
Tabla 2.3 Cálculo de Índice de Calidad de la Roca	56
Tabla 2.4 Características del Macizo Rocoso	59
Tabla 2.5 Clasificación de los Macizos Rocosos	62
Tabla 2.6 Sectores de Movimiento de Tierras	65
Tabla 2.7 Cálculo Reservas	68
Tabla 3.1 Características Principales de Minerales Zeolíticos	71
Tabla 3.2 Composición y Estructura Química de las Zeolitas	72
Tabla 3.3 Clasificación de las Zeolitas Respecto al Tamaño de los Poros	76
Tabla 3.4 Características Generales de las Zeolitas	78
Tabla 3.5 Temperaturas de Zeolitas Naturales, Minerales Asociados y Zeolitas Sintéticas	90
Tabla 3.6 Características de Temperaturas de Zeolitas Naturales	91
Tabla 3.7 Parámetros de Temperatura para un Nuevo Yacimiento	92
Tabla 3.8 Resultados de ΔT	94
Tabla 3.9 Datos del Espectrofotómetro de Cationes Intercambiables	100
Tabla 3.10 Valores de Amonio Total en las Muestras	101
Tabla 3.11 Resultados de Análisis de Difractometría de Rayos X	119

Tabla 3.12	Datos DRX. Comparación con patrones de referencia	123
Tabla 3.13	Resultados de Microsonda Electrónica	127
Tabla 3.14	Resultados de Análisis de Fluorescencia de Rayos X Muestra MF 22	128
Tabla 3.15	Resultados de Análisis de Fluorescencia de Rayos X Muestra JN028	128
Tabla 3.16	Resultados de Análisis de Fluorescencia de Rayos X Muestra JN029	129
Tabla 4.1	Resumen de las Características Geológica-Minera de los Sectores a Ejecutarse el Movimiento de Tierra	133
Tabla 4.2	Parámetros para la Ejecución del Movimiento de Tierras	134
Tabla 4.3	Ratios Geométricos de los Sectores	138
Tabla 4.4	Equipos y Accesorio de Perforación y Voladura	146
Tabla 4.5	Sistema de Ponderación de Acuerdo a las Propiedades del Macizo Rocoso	147
Tabla 4.6	Clasificación de Macizos Rocosos Según su Excavabilidad	148
Tabla 4.7	Factores de Carga	151
Tabla 4.8	Resultados de la Estimación de Camiones de Carga	152
Tabla 4.9	Maquinaria Minera	152
Tabla 4.10	Reservas del Sector J	155
Tabla 4.11	Parámetros de Producción de Cantera	156
Tabla 4.12	Cronograma de Plan de Producción Anual	157
Tabla 4.13	Cronograma de Actividades Minera	159
Tabla 4.14	Medidas de Prevención	167
Tabla 4.15	Plan de Educación Ambiental	171
Tabla 5.1	Características de los Tipos de Roca	178
Tabla 5.2	Parámetros de las Zeolitas Naturales	179

Tabla 5.3 Resultados de la Granulometría	181
Tabla 5.4 Cargas Abrasivas	184
Tabla 5.5 Granulometría de las Muestras	185
Tabla 5.6 Resultados de los Ensayos	186
Tabla 5.7 Índices Energéticos (W_i)	187
Tabla 5.8 Índice de Lajosidad	190
Tabla 5.9 índice de Elongación	191
Tabla 5.10 Aplicaciones de las Zeolitas Naturales según la Granulometría	193
Tabla 5.11 Clasificación Tecnológica de las Zeolitas Naturales	194
Tabla 5.12 Comparación de Propiedades Químicas de las Zeolitas Naturales ESPOL con las Empleadas en Construcciones Antiguas y Países Iberoamericanos	195
Tabla 6.1 Inversión Fija	199
Tabla 6.2 Costo de Alquiler de Maquinaria	200
Tabla 6.3 Costo de Administración Técnica	200
Tabla 6.4 Costo de Perforación y Voladura	201
Tabla 6.5 Costo de Control de Medio Ambiente	202
Tabla 6.6 Costo de Obra Indirecta	202
Tabla 6.7 Costo Total de Operaciones Anuales	203
Tabla 6.8 Flujo de Caja Neto	205
Tabla 6.9 Análisis de TIR y VAN	209

CAPITULO 1
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

De acuerdo a informes geológicos presentados a la ESPOL, se ha detectado la presencia de rocas zeolíticas de interés industrial, para aplicaciones en la agricultura, material de construcción y otras aplicaciones. Según el informe técnico "Sustratos Ecológicos a base de Zeolitas Naturales", han detectado afloramientos importantes de zeolitas con un contenido superior al 70%, con lo que se abre a la ESPOL un campo innovador para el aprovechamiento de este mineral.

El estudio de las zeolitas naturales en nuestra sociedad, ha despertado un notable interés en la comunidad científica, debido a sus diversas aplicaciones y por ser el único mineral en la naturaleza que posee dentro de si mismo una gama de extraordinarias propiedades como son. Adsorción, intercambio iónico, tamiz molecular, hidratación-deshidratación reversible, actividad catalítica, reactividad biológica unidas a su estabilidad térmica, a la acción y ataque de ácidos y bases moderadas, a la acción de los radioisótopos, así como a su resistencia mecánica. Estas excepcionales características lo convierten en un mineral, que tiene que ver con todas las actividades del ser humano y su medio ambiente.

Desde 1954, las zeolitas han producido tal fascinación en el mundo científico-tecnológico, y económico por sus excepcionales y diversas aplicaciones que en tan corto espacio de tiempo, se han producido más de 20000 artículos y 2000 patentes, describiéndose su síntesis, propiedades, estructuras y aplicaciones. Es por este motivo que tienes varias denominaciones a nivel mundial: “Mineral del Siglo”, “Mineral Inteligente”, “Roca Mágica” y “Mineral Milagroso”. Esto a impulsado a desarrollar proyectos de investigación en la ESPOL, donde se han obtenidos resultados positivos en la aplicación agrícola, es decir, que se están realizando experimentos para descubrir la óptima aplicación de las zeolitas naturales encontradas en el Campus de la ESPOL.

Actualmente debido a los trabajos que se están efectuando para la construcción del Parque Tecnológico de la ESPOL, se han detectado índices de zeolitas naturales de formaciones vulcano-sedimentarias que están presentes en estas áreas, las cuales deben ser en lo posible, adecuadamente evaluadas y explotadas para que generen utilidad a la institución y que no se convierta en simples desechos. Toda esta información, estudios, investigaciones acompañadas de la existencia del mineral en las áreas de la politécnica nos han motivado a llevar a cabo la realización de este proyecto de tesis para poder determinar la mejor utilización que se le pueda dar a las zeolitas naturales, que se encuentran localizadas justamente donde se están ejecutando las obras de construcción del Parque Tecnológico de la ESPOL para no desaprovechar la oportunidad de darle un uso óptimo a las tierras removidas.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral en cumplimiento con los objetivos fijados en el plan estratégico 1998-2002 se encuentra promoviendo la investigación técnico-científica.

El CICYT patrocinó el tema de tesis de grado "GESTIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS Y APROVECHAMIENTO DE LAS ZEOLITAS NATURALES EXISTENTE EN EL PARQUE TECNOLÓGICO DEL CAMPUS-ESPOL". Que tiene como objetivos principales.

- Estudiar y determinar el aprovechamiento del movimiento de tierras que se ejecutará por construcción del Parque Tecnológico en el Campus Gustavo Galindo Velasco-ESPOL, con el fin de proponer la extracción de forma racional de las zeolitas naturales que ocurren en este sitio.

- Investigar parámetros técnicos concernientes a la especificación y valoración de las zeolitas naturales, para así lograr una óptima caracterización de las zeolitas y recomendar la preparación de los productos finales.

La presente tesis esta orientada para dar criterios para el mejor aprovechamiento de la remoción de tierras que se efectuara en el área destinada a construir el parque tecnológico de la ESPOL. Se planificará un sistema de explotación adecuado y óptimo, y a la vez investigar la preparación

de zeolitas naturales existente en el área para obtener valor agregado y rentabilidad en las labores de explotación.

Este estudio aportará los elementos primarios para el desarrollo de una posible industrialización de zeolitas naturales en el Ecuador. Tener una mejor apreciación en la aplicación de zeolitas naturales; ya que países como Argentina, Bulgaria, Cuba, Francia, Japón, Italia y China aprovechan este recurso a nivel industrial. En vista de la necesidad que tiene el país de contar con procesamiento racional de zeolitas con características competitivas en el mercado nacional e internacional, utilizando tecnología apropiada, se propondrá, el diseño de explotación y preparación de productos zeolíticos, que contribuirá para el mejor aprovechamiento de las zeolitas en los diversos campos de la aplicación. El estudio de este proyecto contribuirá a desarrollar una nueva fuente para la inversión privada en nuestro país; basado en el aprovechamiento racional de los recursos minerales existentes, ya que se cuenta con zeolitas de buena calidad, para su industrialización.

1.2 Introducción¹

El término "zeolita" fue utilizado inicialmente para designar a una familia de minerales naturales que presentaban como propiedades particulares el intercambio de iones y la desorción reversible de agua. Estos minerales fueron descubiertos en 1756 por un científico sueco llamado Crönsted que las denominó zeolitas por las raíces griegas, que significa zeo-hervir y lithos-piedra,

es decir: "La piedra que hierve", pues al calentarla observó que estas hervían desprendiendo gases de sus poros. Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos y conforman un grupo de alúmino-silicatos hidratados de metales alcalinos y alcalino-térreos, principalmente sodio, potasio, magnesio y calcio, dispuestos en redes cristalinas tridimensionales, que se pueden obtener a partir de depósitos naturales o manufacturados sintéticamente por diferentes procesos.

Actualmente se conocen más de 40 especies de zeolitas naturales y más de 100 zeolitas sintéticas. Si bien la mayor utilización de zeolitas naturales corresponde hasta ahora sólo a algunos tipos, tales como clinoptilolita, chabazita, mordenita, heulandita, phillipsita y erionita. La estructura regula las propiedades de las zeolitas y su comportamiento en cuanto a diversos usos.

Las estadísticas mundiales de producción de zeolitas naturales, no se presentan completas, como consecuencia de que algunos países no publican sus volúmenes de producción de zeolitas. No obstante, y de acuerdo a la información disponible, en 1997, la producción mundial ascendió a 3,625 millones de toneladas, y la misma estuvo liderada por China (70%), seguida por Cuba (15%), Alemania (4%), Japón (4%), Corea del Sur (3%) y el restante 4% se reparte en mas de 8 países con volúmenes que no superan las 100 toneladas anuales. Cabe señalar, que existen considerables variaciones en la calidad y el valor de las zeolitas producidas.

Por ejemplo, gran parte de la zeolita producida en China, Alemania y Japón tienen como destino aplicaciones de bajo valor, tal como cemento puzzolánico y bloques. Al contrario, en Estados Unidos, algunas zeolitas producidas tal como la chabasita de Arizona y la phillipsita de Utah, son productos de relativamente alto valor, con producciones de baja escala.

Respecto al consumo y usos, las zeolitas naturales, en muchas de sus aplicaciones compiten con varios minerales, incluso las zeolitas sintéticas. La tabla 1.1 muestra los principales usos finales. Los principales países consumidores coinciden con los países productores.

TABLA 1.1

PAISES CONSUMIDORES DE ZEOLITAS

País	Usos y Aplicaciones
China	Construcción
Alemania	Construcción
Japón	Agricultura y Construcción
Rusia	Tratamiento de líquidos reactivos
Estados Unidos	Catalizadores

Fuente: www.visionminera.com

Con relación al intercambio comercial, el mismo se estima que es poco significativo entre países, dada la falta de información y la dificultad que implica recabarla.

Esto es producto, de que en muchos casos, dichos datos están agregados a otros productos y la discriminación a posteriori resulta complicada. No obstante, podemos agregar que Estados Unidos, en 1997, exportó aproximadamente entre 350 y 450 toneladas, mientras que las exportaciones cubanas ascendieron a 100 mil toneladas y los principales destinos fueron Francia, Italia, España, Colombia, Brasil, Ecuador y México. El tema de precios, implica considerar un extenso rango, dada la diversidad de calidades y valores dependiendo del uso final. En el caso de la zeolita natural, el precio de venta bordea los US\$ 200 por tonelada.

En conclusión, la zeolita natural, sigue el mismo patrón que el resto de los minerales industriales, en el sentido de ser un “commoditie”. Sería interesante, estudiar el tema de productos de mayor valor, como la zeolita sintética, producto que no se trata en este estudio, dado que en muchos casos, compite directamente con la zeolita natural, pero su rango de precios es muy superior a esta última. Según la información disponible, el precio promedio de la zeolita sintética es de USD \$ 1.000 por tonelada, aunque seguramente los requerimientos por producto final deben ser menores que en el caso de la zeolita natural. No obstante, no hay que perder de vista a la natural, en cuanto a la diversidad de aplicaciones que posee como uso final. La inquietud queda planteada.

¹ www.visionminera.com

1.3 Usos y aplicaciones industriales de las zeolitas²

Hay que considerar que la condición superficial de los yacimientos de zeolitas naturales sedimentarias, hace que su extracción sea comparativamente fácil y en consecuencia tenga un bajo costo, lo que ha permitido que el campo de la investigación sobre sus características, propiedades y aplicaciones sea ilimitado, considerándolo así, un recurso natural que puede ayudar a la economía de nuestro país con alto grado de sustentabilidad, además, es necesario hacer notar que la preocupación debido al deterioro ambiental: agua, aire, suelo; causado por la actividad humana, nos lleva a buscar alternativas, o soluciones para estos problemas.

Las zeolitas podrían ayudar a generar una Industria Limpia y resolver algunos problemas de contaminación. Es indudable que las zeolitas tienen una gran perspectiva para su uso práctico, además de fácil manejo para estudiar sus propiedades, esto hace necesario crear políticas de investigación y cooperación a fin de que todo este conocimiento sea de beneficio para nuestro país. El valor principal de las zeolita naturales se determina por sus propiedades que se pueden agrupar en tres categorías fundamentales.

- Capacidad de adsorción
- Capacidad de intercambio catiónico
- Adsorción / Desorción de agua

Los usos derivados de dicha propiedades se resumen a continuación.

1.3.1 Como Adsorbentes

Puesto que la capacidad de adsorción de las zeolitas depende del volumen de poros y del diámetro de los poros (de allí el nombre de **tamices moleculares**) esto permite que ellas sean utilizadas como adsorbentes tanto en procesos de purificación como en procesos de separación.

1.3.1.1 Tratamiento de residuos nucleares

Las zeolitas naturales adsorben de manera selectiva Cesio 134, Cesio137 y Estroncio 90 cuando se pasan fluidos radioactivos por columnas de filtrado constituidas por dichos minerales.



Fig. 1.1 Las zeolitas naturales se aplicaron en el desastre de CHERNOVIL

1.3.1.2 Tratamientos de residuos metalúrgicos y mineros

Las zeolitas han demostrado una gran aptitud para el tratamiento de los efluentes de plantas de tratamientos de metales férricos y básicos, fundiciones y refinерías. Existen diversas técnicas para recuperar metales valiosos una vez que estos han sido adsorbidos por las zeolitas, como resultado del tratamiento de los efluentes antes mencionados. Una posibilidad es añadir la zeolita cargada al concentrado que entra a la fundición, la otra es utilizar técnicas hidrometalúrgicas (elusión de una cama de zeolita con una disolución de cloruro sódico de elevado pH seguido de recuperación electrolítica). Esta técnica también se puede utilizar para el tratamiento de los efluentes y estériles ácidos de la minería de sulfuros.

1.3.1.3 Nutrición animal

La adición de zeolitas a los piensos de alimentación animal mejora la eficiencia alimenticia del pienso, mejorando así la calidad de la carne y la cantidad de leche o huevos producida..



Fig. 1.2 Se aplica las zeolitas naturales para la Nutrición de ganado vacuno.

En el caso de rumiantes, la adición de zeolitas permite la absorción del amoníaco que se forma al contener el pienso compuesto con elevado contenido de nitrógeno, que es posiblemente liberado lentamente durante la fase de fermentación, lo que contribuye a su fácil alimentación. Una adición de un 5% de clinoptilonita al paso mejora el apetito de los animales con lo que se obtiene un mayor peso que con la dicha norma y a un menor coste. La adición de zeolitas ha demostrado también que disminuye la mortalidad y mejora la resistencia a las enfermedades de los animales.

1.3.1.4 Adsorción de gases

Se ha demostrado la aptitud de ciertas zeolitas en la purificación de gas natural (eliminación de dióxido de carbono, H_2S , y agua), y del metano procedente de vertederos. Las zeolitas se podrían utilizar también en la purificación de las emisiones de fundiciones y térmicas de Carbón.

1.3.2 Como intercambiadores iónicos

Silicoaluminatos muy ricos en aluminio tales como las zeolitas A y X son usados como intercambiadores iónicos para disminuir la dureza de aguas domésticas e industriales y para la purificación de aguas servidas. Esta capacidad de intercambio en los últimos tiempos se ha aprovechado para utilizar a ciertas zeolitas como soporte de fertilizantes, drogas medicinales y desechos radioactivos.

1.3.2.1 Acuicultura

Se ha demostrado que las zeolitas y en especial la clinoptilonita y la mordenita pueden eliminar entre 97 y un 99% del amoníaco en aguas con contenidos de amoníaco de tan solo 0.3 mg/l. Esta propiedad es especialmente útil en las piscifactorías donde el hinchamiento de peces pueden provocar contenidos excesivos de amoníaco en el agua.

1.3.2.2 Control de Malos Olores

En este campo, los usos de las zeolitas pueden abarcar desde los camas de gatos hasta las plantillas para zapatos. La excelente capacidad de intercambio iónico y selectividad por el amoníaco, hace que las zeolitas sean especialmente aptas para estos usos

1.3.2.3 Tratamientos de suelo

Las zeolitas también han resultado beneficiosas en el tratamiento de suelo, debido a sus propiedades de intercambio iónico y retención de agua.

La elevada selectividad frente al amoníaco de la clinoptilolita da como resultado que este sea despreciado lentamente, al mismo tiempo que mejora la capacidad de retención de nitrógeno del suelo al aumentar la capacidad de intercambio iónico del conjunto.



Fig. 1.3 Zeolitas naturales mejora el rendimiento de la agricultura.

1.3.3 Adsorción/ desorción de agua

La elevada afinidad por el agua de las zeolitas ha demostrado su utilidad en el control de los niveles de humedad allí donde otros desecantes son menos eficaces. También se ha utilizado zeolitas en intercambiadores de calor y en unidades de refrigeración.

1.3.4 Otras aplicaciones

1.3.4.1 Como catalizadores o soporte de catalizadores

Numerosos procesos industriales de refinación, petroquímica y química fina utilizan catalizadores a base de zeolitas. El reemplazo de catalizadores convencionales por zeolitas en numerosos procesos es debido a mejoras en la actividad y en la selectividad. Estas mejoras están relacionadas a una mayor acidez y a estructura cristalinas que por el tamaño de sus poros ejercen una

selectividad geométrica o de forma tanto en los reactivos y productos como a los estados de transición

1.3.4.2 Cementos

Se han utilizado zeolitas en la formación de cementos y hormigones ligeros, en sustitución de perlitas. Si se calcina clinoptilolita a alrededor de 1200-1400 °C, se produce un material expandido de densidad 1.8 g/cm³, y una porosidad de hasta el 65%. El mayor coste de fabricación que representa la temperatura de calcinación frente a la de la perlita (760°C) se recompensa por una mayor resistencia mecánica y a la abrasión de los productos con zeolitas.

1.3.4.3 Residuales industriales

Varias aplicaciones se han desarrollado para el tratamiento de efluentes contaminantes por la industria, basados en la propiedad de canje catiónico. Para la eliminación de metales pesados como el Pb, Cu, Zn y Cr, para lo cual se han aplicado procesos no regenerativos, utilizando las zeolitas una vez saturadas, como rellenos en la industria del plástico, pinturas o gomas. Residuales acuíferos contaminados con Cs y Sr durante la catástrofe de Chernobil, fueron tratados en fosos alrededor de la instalación con vistas a proteger en parte el manto freático de la zona.

La Tabla 1.2 resume algunos ejemplos de procesos industriales en los cuales se utilizan zeolitas naturales:

² Fuente: Innovación y Avances en el Sector de las Rocas y Minerales Industriales

TABLA 1.2
APLICACIONES INDUSTRIALES DE ZEOLITAS

Adsorción	
Purificación	Separación
<ul style="list-style-type: none"> Endulzamiento de gases (remoción de azufre del gas natural) 	<ul style="list-style-type: none"> Parafinas lineales de ramificadas Xilenos
<ul style="list-style-type: none"> Purificación de gases industriales (adsorción de CO₂ y agua) 	<ul style="list-style-type: none"> Olefinas
<ul style="list-style-type: none"> Anticontaminantes ambientales (adsorción de NO_x y SO_x provenientes de la combustión de gasolinas) 	
Intercambios Iónico:	
<ul style="list-style-type: none"> Ablandamiento de aguas industriales y domésticas (remoción de Ca⁺² y Mg⁺²) Eliminación de iones NH₄⁺ de aguas servidas Soporte de fertilizantes y drogas medicinales Almacenamiento de desechos radioactivos (Cs⁺ y Se⁺²) 	
Catalizadores y Soportes de Catalizadores	
<ul style="list-style-type: none"> Craqueo catalítico Hidrocraqueo Hidroisomerización Transformación de metanol en gasolina 	<ul style="list-style-type: none"> Alquilación Isomerización de aromáticos C₈ Polimerización Síntesis orgánica Química inorgánica

1.4 Localización³

El campus "Gustavo Galindo" de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) se encuentra localizado en el Km. 30.5 vía perimetral de Guayaquil, en el sector conocido como La Prosperina, comprende 720.37 hectáreas de terreno, dentro del cual se ha construido obras que se han distribuido en unas 100 hectáreas. El territorio de la ESPOL constituye un cuerpo alargado en sentido noreste-suroeste que limita al norte con terrenos particulares y asentamientos poblacionales por invasión; al sur con la cima del cerro azul, y con terrenos particulares y el colegio Blue Hill; al este con la vía perimetral y el asentamiento urbano denominado Lomas de la Prosperina y finalmente al oeste con elevaciones de Cerro Azul, que alcanza los 450 m.s.n.m. Se ha establecido que el área de la ESPOL, esta distribuida actualmente de la siguiente manera:

TABLA 1.3

DISTRIBUCIÓN ACTUAL DEL AREA DE LA ESPOL

Bosques naturales y a reforestar	229.71 ha
Matorrales, Gramíneas, muy pocos árboles	392.73 ha
Espacios verdes adicionales	3.00 ha
Área utilizada en embalse	8.50 ha
Edificaciones e infraestructuras	53.32 ha
Vías, poliducto, perimetral	33.11 ha
Área Total	720.37 ha

Fuente: Departamento de Planificación-ESPOL

La ubicación del estudio con posibilidades de encontrar zeolitas naturales es en el Campus Prosperina de la ESPOL, en el área destinada a la construcción del Parque Tecnológico de la ESPOL, que cuenta con una extensión de 784.105,00 m², (Información dada por el departamento de planificación de la ESPOL) que consiste en:

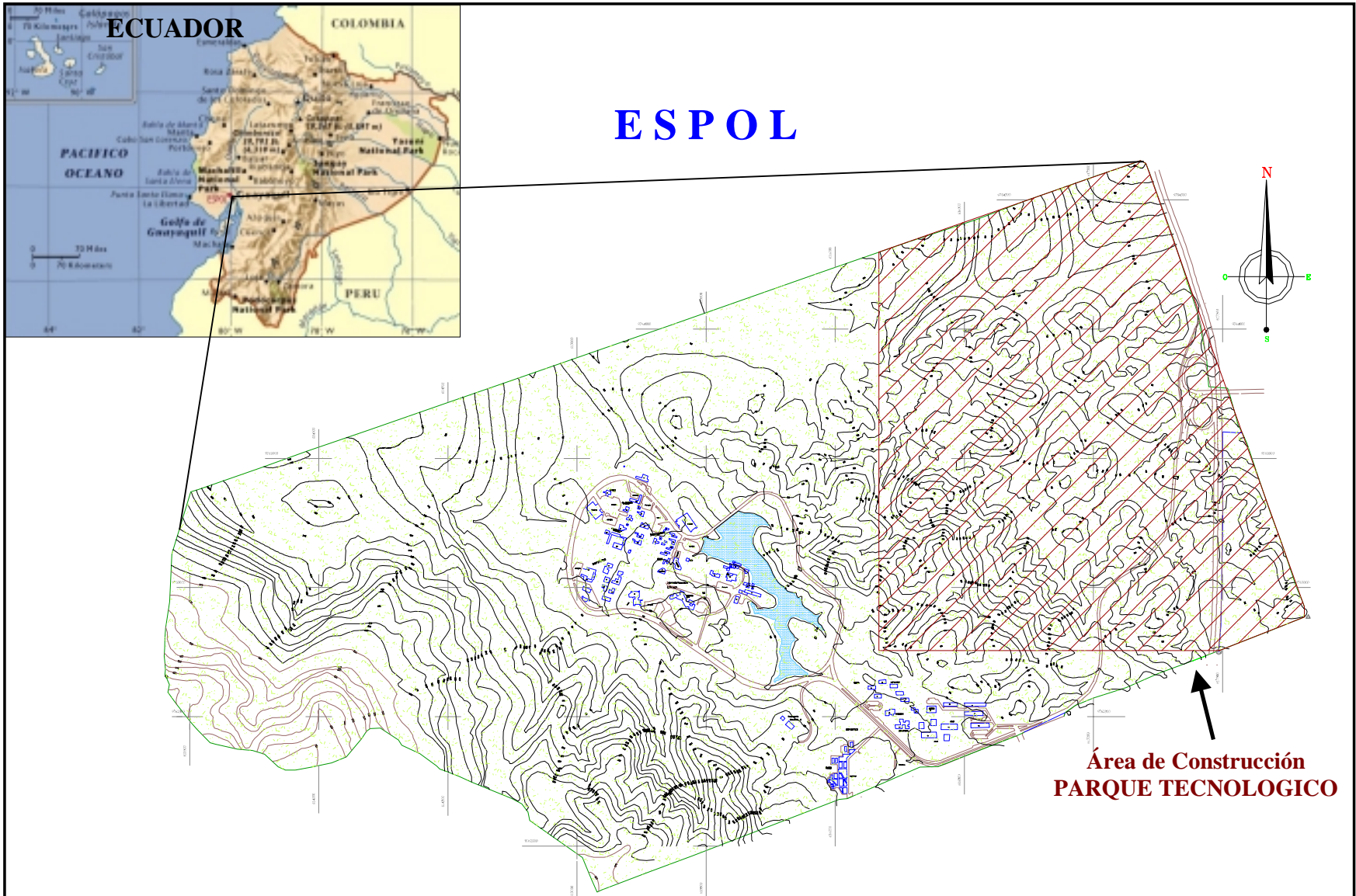
TABLA 1.4
DISTIBUCION DEL AREA DEL PARQUE TECNOLOGICO

DESCRIPCION	AREA DISPONIBLE (m ²)
Zona comercial	122.100,00
Servicios Generales	123.900,00
Cancha de Golf	67.000,00
Negocios Internacionales	150.000,00
Sector de Infraestructura	304.000,00
Infraestructura Administrativa	17.000,00
Área del Parque Tecnológico	784.105,00

Fuente: Departamento Planificación-ESPOL

Además se estudió lugares contiguos dando un **Total de 256** hectáreas en total del área de estudio. Por motivos de los diseños de construcción del Parque Tecnológico-ESPOL, se ubicaron los lugares donde se ejecutaran labores de movimiento de tierras y al mismo tiempo se identificaron los lugares con posibilidad de extraer zeolitas naturales.

³Aprovechamiento Integral de los Terrenos del Campus Gustavo Galindo Velasco



ESPOL

**Área de Construcción
PARQUE TECNOLÓGICO**

FIG. 1.4 Mapa de ubicacion del área de estudio

1.5 Metodología de Trabajo

Las fases de investigación comprende

- (**)Recopilar la información existente en el área de estudio.
- (*) Efectuar el levantamiento geológico de los afloramientos encontrados en el Parque Tecnológico-ESPOL. (Vía Perimetral, vías de acceso, calicatas, trincheras, quebradas, etc).
- (*) El levantamiento geológico, ubicación de muestras y afloramientos se efectuó usando brújula y cinta, y en otras ocasiones GPS .
- (**) Elaborar el diseño en detalle de la geología del Parque Tecnológico-ESPOL en base a los datos de campo (unidades litológicas, características litológicas, estructurales, y petrográficas de visu de las rocas estudiadas).
- (***)Identificar las rocas volcánicas que presenten mayores concentraciones de zeolitas.
- (***) Análisis químico de laboratorio:
 - Ensayos de calor de inmersión en donde se determinó el la variación de temperatura(ΔT y el porcentaje semicuantitativo de zeolita)
 - Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT en meq/100g).
- (*****) Métodos Instrumentales de Análisis.
 - Difractometría de rayos X
 - Microsonda electrónica.
- (*) y (***)Caracterizar el macizo rocoso para el movimiento de tierras.
- (*****) Análisis de laboratorio de rocas.

- Resistencia a la compresión simple.
- Porosidad
- Densidad aparente
- Abrasividad
- (**) Estimar las reservas aprovechadas en el movimiento de tierras.
 - Se elaboro perfiles cada 50 m.
 - Determinó volúmenes de rocas zeolitizadas.
- (*) y (**)Movimiento de Tierra.
 - Descripción del método de movimiento de tierra.
 - Selección de maquinaria arranque carga y transporte.
 - Criterios económicos y Criterios operativos
 - Diseño de explotación
- (*****) Preparación de Muestras
 - Molienda
 - Clasificación
 - Productos finales

(*)Trabajo de campo

(**) Trabajo de oficina

(***) Trabajo de Laboratorio de química

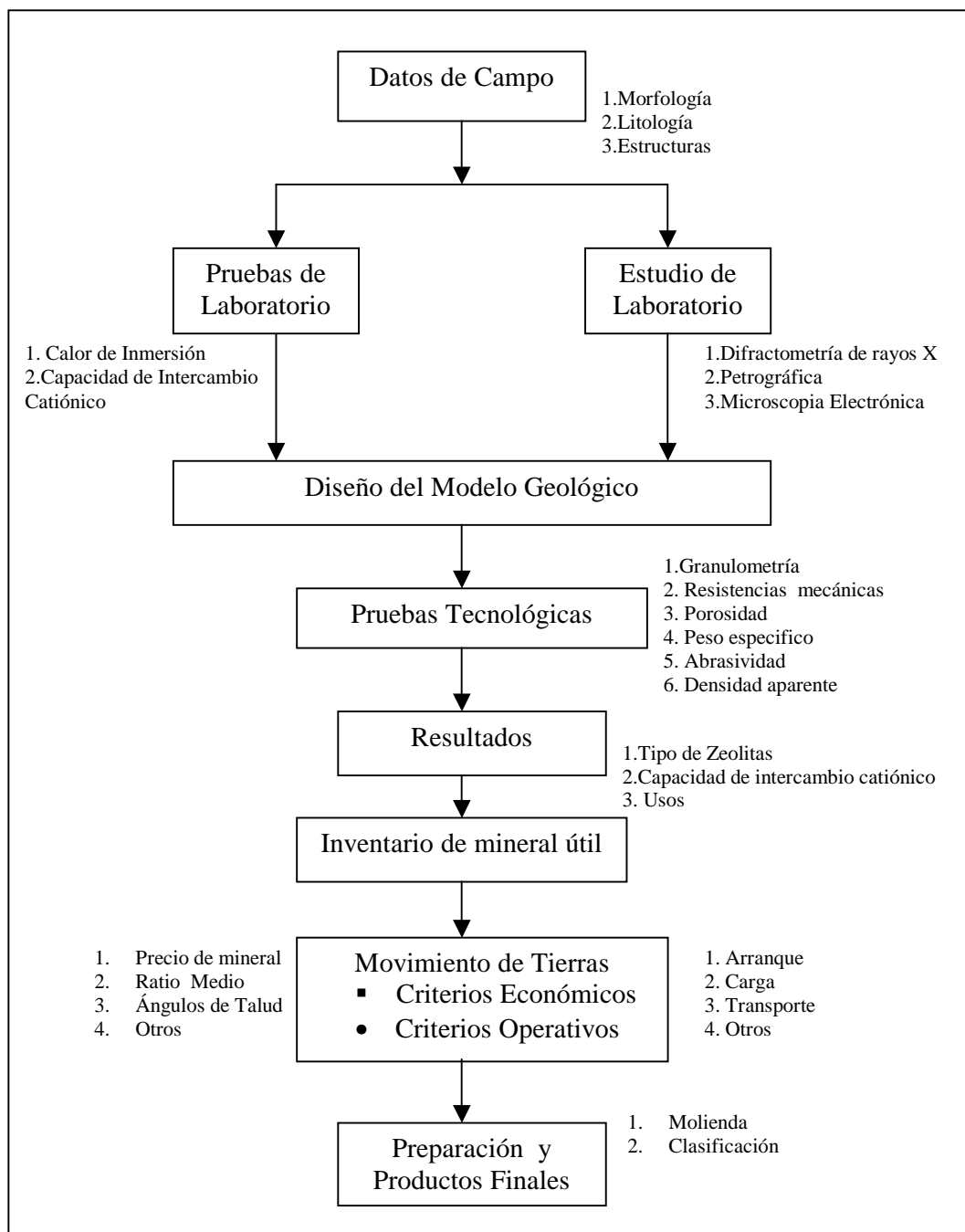
(****) Trabajo de Laboratorio de mecánica de suelos

(*****) Trabajo de Laboratorio de mineralurgia

(*****) Trabajo de Instrumentación en la Universidad Politécnica de Madrid y

Universidad de la Plata.

La metodología sistemática utilizada se presenta en el siguiente cuadro.



Cuadro 1. Metodología de Trabajo

CAPITULO 2
MARCO GEOLÓGICO

2.1 Geología Regional⁴

2.1.1 Formación Piñón

La unidad PIÑÓN comprende el basamento de la corteza continental en la costa del Ecuador, aparece ampliamente representada en el flanco norte de la Cordillera Chongón Colonche, con una dirección WNW-ESE, regionalmente se considera como un complejo ígneo básico compuesto por diabasa, basalto, andesita, doleritas y tobas, y en menor proporción aglomerados y rocas sedimentarias, de fino espesor como lutitas tobáceas, limolitas y areniscas. En la región de Guayaquil son frecuentes las intrusiones de gabros, dioritas y granodioritas, puntualmente han sido descritas intercalaciones de lutitas silíceas. La edad es Aptiense superior – Albiense (Goosens 1973 y Kennerley, 1980). Estas rocas han sufrido un metamorfismo de tipo zeolítico (Kennerly, 1980). En los sedimentos aparecen nanofósiles datados con una edad Campaniense (Benítez, 1995). Se considera a esta Formación formada por toleitas de arco insular (Lebrat, 1985). Se considera que se superpone en aparente concordancia y conformidad al Grupo Chongón.

2.1.2 Grupo Chongón

El Grupo Chongón aparece expuesta ampliamente en el flanco norte a lo largo de toda la Cordillera Chongón Colonche, consiste de una gran secuencia de sedimentos marinos y rocas volcano-sedimentarias, descansando con una aparente concordancia sobre la Formación Piñón. Presenta una dirección principal de N110E y un buzamiento máximo que fluctúa entre 12 a 25° hacia el

SW (lo cual coincide con la estructura general de la cordillera Chongón Colonche). El Grupo de Chongón se formula reemplazar la Serie de Chongón (Bristow y Hoffstetter (1977) previamente definido por geólogos de I.E.P.C. (Landes, 1944). Este grupo incluye las Formaciones Calentura, Cayo y Guayaquil.

2.1.2.1 Formación Calentura

La Formación Calentura constituida por una alternancia irregular de calizas micriticas, areniscas, grauwaca, lutitas silíceas y calcáreas y tobas blancas con algunas capas de calizas arenosas. La fauna que aparece en estos materiales ha sido datada como Cenomaniense en su parte inferior (Thalman, 1946), y Conicianense (coniaciense) en su parte superior (Bristow y Hoffstetter, 1977). Se le asigna un espesor de 150 metros.

2.1.2.2 Formación Cayo Sensu Stricto (S.S.)

La Formación Cayo SS aparece fallada y fracturada de un modo apreciable, la estratificación puede variar de centímetros a pocos metros, pero por lo general no suele superar la decena de metros, la dirección de las capas en la mayoría de los casos coincide con el rumbo predominante de la cordillera, esto es, N110° E y con buzamientos que van de los 10 a 26°. Constituye una alternancia de brechas finas volcánicas-sedimentarias con fragmentos de andesitas en la base, pizarras arcillosas y tobáceas muy silicificadas con intercalaciones de areniscas gruesas y finas, hasta conglomeráticas, e intercalaciones de lutitas en la sección intermedia, y hacia el techo grauvacas que alternan con lutitas finas, algo

silicificadas que pasan gradualmente a la Formación Guayaquil. Se observan en esta Formación ciclos de sedimentación asociados con periodos de actividad volcánica submarina o de islas de tipo arco volcánico, dichos ciclos presentan una doble gradación de tamaño, tanto a nivel de estrato como a nivel de toda la secuencia (Benítez, 1995). Se reconocen estructuras de tipo flysch (turbiditas), que se depositaron en una depresión en lo que comprende la actual Cordillera Chongón Colonche, alcanzado una potencia que varia entre los 1800 a 2000 mts. La edad que se ha considerado para esta Formación va del Conicianense a la base del Maastrichtiense (Bristow y Hoffstetter, 1977).

2.1.2.3 Formación Guayaquil

Constituida por dos miembros, el inferior corresponde a una alternancia de materiales pelíticos, y limolitas tobáceas, con nódulos de sílex; presenta estratificaciones de espesores centimétricos a decimétricos, en total se le asigna un espesor de 85 m. (Benítez, 1995). El miembro superior se ha identificado como una toba calcárea, que va desde bancos centimétricos a métricos. La edad para esta Formación va desde el Maestrichtiense basal al Daniense (Benítez, 1990), con un espesor de aproximadamente 450 m. El espesor de las capas pueden en algunos casos alcanzar el metro para las lutitas silíceas y disminuir hasta los pocos centímetros para las tobas volcánicas. La Formación San Eduardo aparece en concordancia con el Grupo Azúcar y en disconformidad sobre la Formación Guayaquil.

Cretaceous Stratigraphy

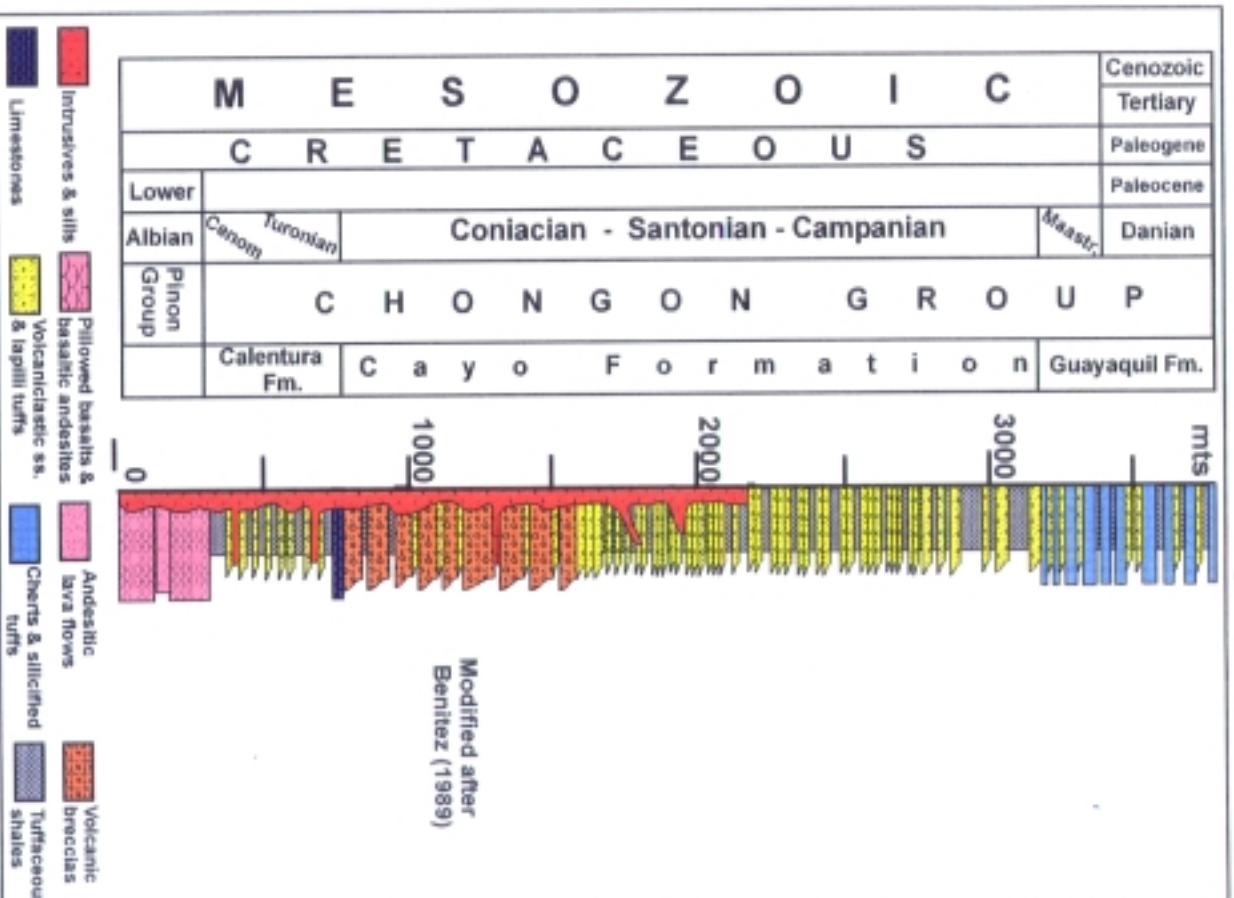


Fig. 2.1 Columna Estratigráfica

2.1.3 Formación San Eduardo

Aflora de modo continuo al oeste de Guayaquil, en el flanco sur de la Cordillera Chongón Colonche. Se compone de calcarenita y calcilita turbidíticas, bien estratificadas, que contienen gran cantidad de detritos arrecifales, angulares o redondeados, existiendo calcilitas con nódulos de *chert*. La edad que se le ha asignado a esta formación es Eoceno inferior al medio. Aparece medianamente fallado y fracturado, la dirección principal de todo el conjunto es de N110°E, y con buzamientos que varían de los 15° a los 80° SW, siendo un valor medio el de unos 30° hacia el SW. La Formación San Eduardo se encuentra en aparente concordancia con la Formación Cayo o ligeramente discordante en algunos puntos, y subyace de modo concordante con la Formación Las Masas. El espesor que se le asigna a esta formación es de 80 m. (La Cemento Nacional, Com. Int.)

2.1.4 Formación las Masas

Es suprayacente con contacto normal a la Formación San Eduardo y discordante con la Formación Cayo, al igual que esta aflora a lo largo del flanco sur de la Cordillera Chongón Colonche. Se trata de limolitas arcillosas calcáreas en la base y lutitas tobáceas calcáreas al tope. La edad sólo ha podido ser determinada por métodos estratigráficos, y se determina como Lutetiense (Benítez, 1995). La potencia medida es de aproximadamente 200 m.

⁴Síntesis:

Medina G, (1982), Estudio Geológico de Campus ESPOL, Tesis de Grado de Ing. Geología
Núñez del arco, Francois Douglas (1987) Guía Geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana
Aleman A. (Mayo 2000) Geological and Geophysics evaluation of the Progreso Basin South Western Ecuador. Informe no publicado. Latin American Exploration INC.

2.2 Geología y ocurrencia de las zeolitas⁵

Los minerales de zeolita ocurren en una variedad de marcos geológicos y pueden formarse de una variedad de materiales salientes bajo extensos rangos de condiciones físico-químicos. Esto ocurre en rocas depositadas en diversos marcos geológicos y etapas.

Los vidrios volcánicos de composición ácido intermedio, son los materiales más comunes para la formación de minerales de zeolitas. Otros minerales comunes incluyen las arcillas montmorilloníticas, arcillas cristalinas y materiales amorfos. El cuarzo cristalino, y feldespato son precursores de zeolitas. Casi todos los depósitos minables de zeolitas en el mundo ocurren como alteraciones vítricas de rocas volcánicas.

La formación particular de un mineral de zeolita depende de la interpelación de los factores físicos y químicos. La presión, la temperatura y el tiempo son las tres consideraciones físicas que fuertemente afectan la alteración zeolítica. Muchas zeolitas en rocas sedimentarias son formadas por cenizas volcánicas u otros materiales piroclásticos por reacciones de silicatos amorfos con otros originados por la alteración de feldespatos preexistentes, feldespatoideos, sílice biogénica, o minerales de arcilla pobremente cristalizados. Las zeolitas son rocas sedimentarias formadas probablemente por medio de reacciones de disolución – precipitación.

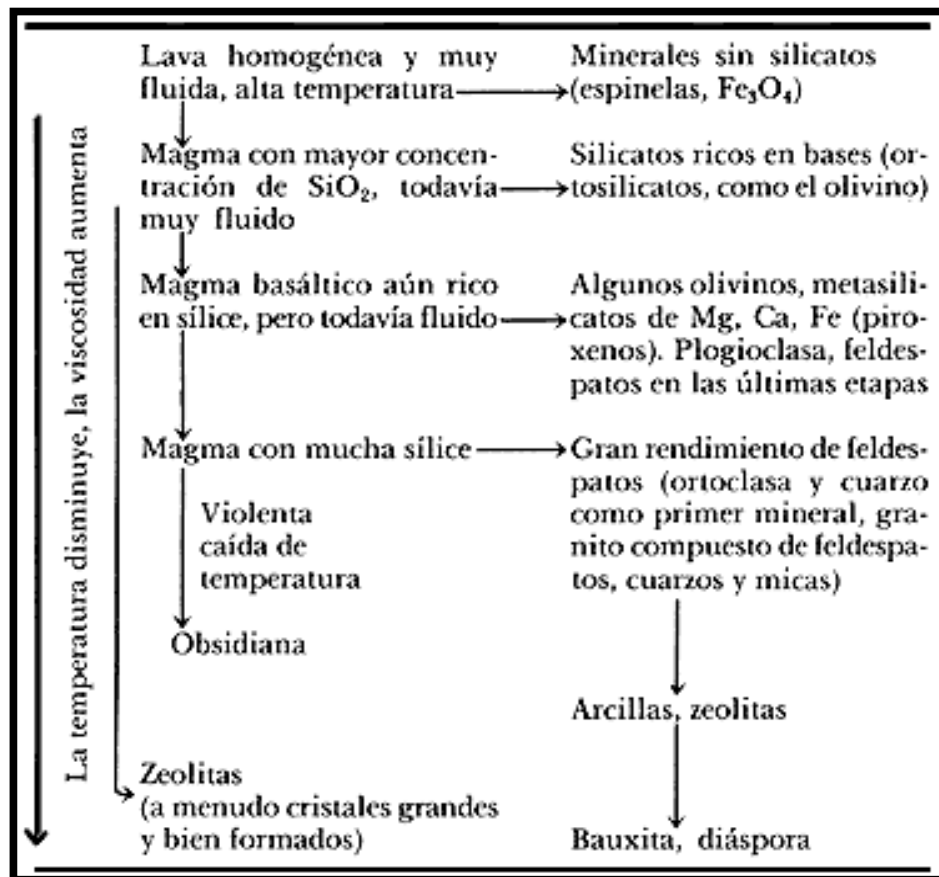


Fig. 2.4 Formación de zeolitas en la naturaleza

Basándose en el marco geológico de las zeolitas, mineralogía y génesis, los depósitos de zeolitas han sido clasificados según Sand Mumpton (1973) en los siguientes tipos.

- Tipo 1: Yacimientos lacustre del tipo Lagos salinos, alcalinos.
- Tipo 2: Suelos y superficies pantanosas salinas y alcalinas.
- Tipo 3: Yacimientos en Sedimentos del piso oceánico.
- Tipo 4: Aguas percolantes en un sistema hidrológico abierto.
- Tipo 5 Yacimientos Metamórficos
- Tipo 6: Yacimientos de Alteración hidrotermal.

2.2.1 Zeolitas en lagos salinos - alcalinos. (Sistema cerrado)

Los yacimientos de este tipo son muy nombrados en el oeste de Estados Unidos y en África del Este (zona del rift), ellos son en general poco gruesos (algunos centímetros a metros). Las zeolitas son minerales muy difundidos en depósitos de lago salinos y alcalinos, de tobas vítricas pueden alterarse a depósitos de feldespatos. Las zeolitas más comunes formadas por vidrio silíceo en este ambiente son: la phyllipsita, clinoptilolita, y erionita.

Capas monominerálicas de phyllipsita, clinoptilolita, y erionita son formadas por tobas riolíticas que son muy difundidas en el Pliopleistoceno, en depósitos de lagos, al oeste de los Estados Unidos (Sheppard, 1971). Las zeolitas anteriormente mencionadas se alteran a analcima en agua con moderadas cantidades de salinidad. Todas las zeolitas se alteran principalmente en feldespatos.

En otras palabras, el vidrio se altera a zeolita como a phyllipsita, el cual puede ser alterado a analcima y este ser reemplazado por feldespato.

2.2.2 Zeolitas en suelos y en superficies terrestres.

Zeolitas son formadas fácilmente por materiales de suelo donde el pH es elevado debido a la concentración de carbonato y bicarbonato sódico por evapotranspiración. Suelos salinos, alcalinos se funden en regiones semiáridas. La extensa variedad de zeolitas se forma en la superficie del suelo en sedimentos tobáceos y no tobáceos.

2.2.3 Zeolitas en sedimentos marinos profundo

Los yacimientos de este tipo son frecuentes en Japón, Italia, Yugoslavia, Bulgaria, y son en general relativamente gruesos (algunos metros a varios centenares de metros).

Las zeolitas ocurren en una amplia variedad de sedimentos marinos y rocas sedimentarias que son relativamente comunes en algunos estratos. Algunas zeolitas son formadas en poca profundidad y bajas temperaturas, pero otras se forman en respuesta a un incremento sustancial de temperatura.

La Phillipsita y Clinoptilolita son las zeolitas dominantes en depósitos de fondo marino. Analcima es la siguiente en abundancia, erionita y mordenita ocurren raramente. Minerales antigénicos asociados comúnmente con zeolitas son palygorskita, smectita, sepiolita, cristobalita y cuarzo.

Las zeolitas son particularmente abundantes en sedimentos vulcanoclásticos, especialmente en ceniza vítrea, y este forma como mucho un 80 % de los depósitos de ceniza alterada. Phillipsita es comúnmente asociada con roca silícea, generalmente basáltica, ceniza, y clinoptilolita con ceniza silícea. Phillipsita puede ser la principal o solo parte de las tobas silíceas. Veintidós especies de zeolitas han sido descubiertas en depósitos marinos cuaternarios a través del Devónico. Aguas dulces, no marinas contienen las mismas especies.

2.2.4 Zeolitas en sistemas abiertos

Son depósitos formados en sistemas hidrológicamente abiertos, como lagos de agua dulce.

Secuencias de cenizas muestran comúnmente mayor o menor zonación de zeolitas y otros silicatos autógenos que reflejan el cambio químico en aguas meteóricas moviéndose a través del sistema.

La disolución e hidrólisis de la ceniza vítrea por agua subterránea en la parte superior del sistema incrementan el pH y disuelve sólidos hasta el punto donde el vidrio se altera rápidamente y las zeolitas son precipitadas.

2.2.5 Zeolitas hidrotermales

Estos yacimientos son considerados como frecuentes y comunes , las zeolitas hidrotermales aparecen en área de alteración hidrotermal y alcanzan a presentar un patrón zonación, como consecuencia de las alteraciones del vidrio de las rocas vitrificadas en el contacto de estas, con los fluidos calientes de las hidrotermas.

Secuencias de cenizas muestran comúnmente mayor o menor zonación de zeolitas y otros silicatos autógenos que reflejan el cambio químico en aguas meteóricas moviéndose a través del sistema.

La disolución e hidrólisis de la ceniza vítrea por agua subterránea en la parte superior del sistema incrementan el pH y disuelve sólidos hasta el punto donde el vidrio se altera rápidamente y las zeolitas son precipitadas.

La zonación mineralógica constituye primariamente una deshidratación progresiva con el incremento de la temperatura. Las zeolitas ocurrentes en estos tipos de yacimientos en zonas de menor temperatura y poca profundidad son: la clinoptilolita y mordenita, manifestándose paulatinamente a zonas mas profundas contenidos importantes de analcima, heulandita, Laumontita y wairakita.

2.5.6 Zeolitas metamórficas

Los yacimientos de este tipo se descubrieron en las formaciones piroclásticas gruesas, localizadas en las zonas de fuerte gradiente térmico (USA, Nueva Zelanda, Japón...). Son generalmente consideradas como de mala calidad. La analcima, la clinoptilolita, y la heulandita son comunes en las zonas superficiales, donde la laumonita y los feldespatos predominan en profundidad.

^bProyecto Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales

2.3 Geología local

La geología del Parque Tecnológico de la ESPOL en forma general se ubica dentro de la Formación Cayo que consiste en una secuencia de depositación de sedimentos marinos y vulcanoclásticos.

Los principales afloramientos estudiados demuestran una litología sencilla, en la que se presentan intercalaciones de estratos de lutitas tobaceas, aglomerados, areniscas de grano fino a medio y tobas. Siendo las lutitas y las tobas las que presentan mayores contenidos de zeolitas.

Cabe señalar que un factor importante en esta área de estudio son los depósitos de suelos coluviales muy heterogéneos y aluviales muy arcillosos.

Ver anexo 1 (Mapa Geológico del Parque Tecnológico-ESPOL)

2.3.1 Geomorfología

Geomorfológicamente, el área del Parque Tecnológico del Campus-ESPOL comprende una extensión de 100 ha, existen varias colinas, algunas de ellas adyacentes y cuya altura máxima es de 90 m.s.n.m., el relieve es suave, con vertientes de baja pendiente y se aprecia un buen desarrollo de terrazas muy planas. El drenaje de las aguas es predominantemente hacia el norte.

Ver anexo 1 (Ver Mapa Geológico del Parque Tecnológico-ESPOL).

2.3.2 Aspectos litológicos

2.3.2.1 Descripción de los aglomerados

Son los que predominan en el área de investigación, su aspecto es masivo sin estratificación aparente con intercalaciones concordantes, con lutitas que ocasionalmente forman estratos de espesores decimétricos, con areniscas y tobas, formando capas de dimensiones métricas. En su mayoría el color varía de café amarillento a verde claro muy intenso.

Estos aglomerados en algunos sectores es compacto, y en otros se presenta con una matriz arcillosa clorítica. Los clastos presentes son fragmentos angulosos de material volcánico: tobas, basaltos, vidrio volcánico, minerales de cuarzo, glauconita, feldespatos, calcita en relleno de fracturas y cericita.



Fotografía 1. Calicata donde se aprecian aglomerados

2.3.2.2 Descripción de areniscas

Se presentan entre los contactos de lutitas y aglomerados, de composición variable: calcárea, clorítica y tobácea. Son generalmente de color verde oscuro a amarillento. Su textura varia de grano muy fino a grueso, masivo sin estratificación aparente con una granulometría gradual de tal manera que en algunos sectores se confunden con los aglomerados.



Fotografía 2 Afloramiento de Arenisca con intercalaciones de lutita ubicadas en la vía perimetral

2.3.2.3 Descripción de lutitas

Las lutitas en este lugar particularmente son tobáceas, se presentan en estratos potentes o en laminaciones intercaladas entre los paquetes de aglomerados, en la que se aprecia un fuerte diaclasamiento.

Su textura varia de grano fino a medio y su color es variable va desde crema a café oscuro y verde. Con presencia de lustre metálico (hierro y manganeso) en las fracturas existentes en la roca. En este tipo de rocas se encuentran minerales de zeolitas como parte integrante de la misma y su coloración varía de verde claro a verde oscuro y de café claro a café oscuro.



Fotografía 3. Afloramiento de lutitas, muy diaclasadas



Fotografía 4. Lutitas Tobáceas

2.3.2.4 Descripción tobas.

Se encuentran varios tipos de tobas con granulometría y composición variable, las coloraciones varían desde verde agua hasta verde oscuro, café claro, rojizo y gris. En estas rocas es en donde se encuentran las mayores concentraciones de minerales zeolíticos.



Fotografía 5 Afloramiento de tobas en el sector norte del Parque tecnológico-ESPOL

2.3.2.5 Depósitos aluviales y coluviales.

Los suelos coluviales aparecen en varios lugares, preferentemente se concentran al pie de las pendientes más pronunciadas, como producto de la erosión de las rocas, que se han transportado por gravedad y por acción mecánica de las corrientes de agua en época de invierno. Los materiales que constituyen estos suelos son muy heterogéneos y se encuentran irregularmente acumulados.

Los suelos aluviales se distribuyen en las depresiones y quebradas en las cuales se aprecian materiales con granulometría tales como: grava, arena, limo y arcilla perfectamente diferenciadas y en varios lugares mezclas de todos estos materiales ocupando preferentemente grandes extensiones en las llanuras de inundación.

Los clastos que constituyen estos depósitos son de las rocas del sector y son muy heterogéneos (lutitas, tobas, aglomerados, basaltos y otros).

2.3.3 Estructuras

La estructura geológica del Parque Tecnológico Campus-ESPOL constituye un homoclinal. Los estratos tienen un rumbo predominante Norte 110° (azimut). El buzamiento, inclinación perpendicular al rumbo, está dirigido hacia el Sur con una inclinación variable entre 12° y 20° . La estratificación es en general contraria a la pendiente del terreno.

El diaclasamiento que se manifiesta en este sector es de origen tectónico y se presenta con intensidad variable y en diferentes direcciones, siendo las de preferencia: N, N-NO, N-NE, con un buzamiento entre 70° y 90° hacia el Este y el Oeste. Las rocas que muestran mayor diaclasamiento visible son las lutitas, mientras que las areniscas y aglomerados no presentaron diaclasamiento visible debido a su conducta plástica y al fuerte grado de meteorización existente en estas rocas.

De acuerdo a las características estructurales de las diaclasas se encuentran generalmente cerradas y ocultas, continuas y de superficie plana y lisas en las lutitas, mientras que en los aglomerados se presentan de poca continuidad a discontinuas, de superficie rugosa-ondulada, y generalmente rellenas de material arcilloso, y en las areniscas planas, continuas, lisas a rugosas.

La apertura de las diaclasas es muy diversa y se manifiestan cerradas en las tobas, lutitas y areniscas a abiertas (3 a 4 cm) en los aglomerados.

La separación entre diaclasas visibles se determinó en las rocas lutitas, tobas y areniscas, y se manifiestan de: menor a 10 cm - 3 m. Con una frecuencia de 20-25/m . En los aglomerados la separación es mayor a 1 metro.

En el área de estudio no se observó un evento tectónico considerablemente fuerte. Existe tres familias de diaclasas:

- F1: NS/90°
- F2: N/ 75° E/85° - 90°
- F3: N 60° W/90°



Fotografía 6. Se observa el diaclasamiento típico del sector

2.3.4 Mineralogía

La alteración zeolítica se presenta en todas las diferentes litología del Parque Tecnológico ESPOL, pero las especies mineralogica varían de acuerdo al tipo de roca.

Las rocas que presentan mayores concentraciones de minerales zeolíticos son las tobas y las lutitas tobáceas, las areniscas y aglomerados presentan menor zeolitización.

En la tabla 2.1 se muestra las descripciones macroscópicas de las muestra de rocas tomadas en el campo con su respectiva ubicación y valores de análisis termo-químico (calor de inmersión), calculándose el porcentaje aproximado de zeolita basados en muestras patrones.

TABLA 2.1
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS
ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

MUESTRA	UBICACION		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO	
	Coordenadas X	Coordenadas Y		ΔT	%Z
JN001	617065	9762721	Lutita de grano fino, de coloración que va desde verde claro a café claro, de fractura concoidea, y muy fracturada.	9.8	61
JN002	616997	9762822	Lutita de grano fino color café oscuro con lustre metálico de manganeso, muy diaclasada.	9.6	60
JN003	616997	97622822	Aglomerado, con clastos de todo tipo color café oscuro, con matriz arcillosa con clastos de lutitas.	6	38
JN004	616377	9763495	Arenisca de grano medio, de color café oscuro muy compacta y dura.	4	25
JN005	616375	9763499	Lutita Tobácea de grano medio, color café claro con lustre metálico.	6	38
JN006	616364	9763515	Lutita Tobácea de grano medio a fino, muy diaclasada, de coloración verdosa con patinas de manganeso, y presenta intercalaciones centimétricas de arenisca fina.	5	31
JN007	616357	9763531	Lutita café verdosa de grano fino, muy diaclasada.	4	25
JN008	616345	9763538	Lutita Tobácea de grano medio, de color café oscuro, presenta vidrio volcánico.	9.7	61
JN009	616570	9764000	Lutita Tobácea de grano medio, de color café claro, con presencia de vidrio volcánico.	5	31

JN010	616560	9763980	Aglomerados medio, con matriz arcillosa, muy meteorizado, de matriz arcillosa muy dezlenable.	5	31
JN011	616563	9763967	Lutita Tobácea de grano medio, de color café claro a verdosa, es liviana, y se presenta en estratos milimétricos.	6	38
JN012	616568	9763955	Arenisca de color café, de grano medio.	4.8	30
JN013	616988	9764527	Lutita Tobácea de color verde, muy meteorizada, y diaclasada.	7.6	48
JN014	616920	9764192	Lutita de grano muy fino de coloración café clara, algo verdosa y diaclasada.	8.8	55
JN015	616810	9764055	Lutita café clara verdosa oscura, granos finos a medios.	8	50
JN016	616803	9763894	Lutita fina con intercalaciones de arenisca de grano medio.	7	44
JN017	616800	9763880	Lutita de grano grueso a fino de color café oscuro.	8	50
JN018	616795	9763872	Aglomerados de color café oscuro con fragmentos de lutitas ,tobas y observa matriz arcillosa, pero se manifiesta compacta.	4	25
JN019	616840	9763868	Areniscas de grano medio, se observa la roca muy compacta, con meteorización esferoidal.	5	31
JN020	616916	9763804	Lutita gris oscura muy compacta, se aprecia muy silicificada, de borde anguloso y filoso.	4	25
JN021	617045	9763651	Lutita de fino color café rojizo muy fracturada.	9.5	59
JN022	617238	9764556	Lutita de grano medio a fino de color verde agua, diaclasada.	9.6	60
JNO23	617189	9764645	Lutita de grano medio a fino de coloración gris oscura	8.1	51

JN024	616781	9763627	Lutita de grano fino de color café clara a verdosa, con patinas de manganeso y se aprecia muy fracturada	4	25
JN025	616873	9763449	Aglomerado con clastos redondeados y también angulosos de generalmente de coloraciones verdes a café azulado.	5	31
JN026	616873	9763449	Lutita silíceea de coloración café claro a crema verdosa, muy diaclasada.	3	19
JN027	616827	9763437	Lutita de grano muy fino de coloración café oscura con intercalaciones de arenisca de color oscuro	11.2	70
JN028	616765	9763457	Arenisca de grano fina a grueso, clastos medianos roca muy dura, intercalada con lutita café clara.	5	31
JN029	616611	9763190	Lutita de grano medio de coloración café clara verdosa a rojiza, se presenta liviana con bordes ángulos y filoso.	16.5	100
JN030	616674	97633148	Aglomerado de clastos gruesos con matriz algo arcillosa, de coloración amarillo rojizo con fragmentos verdosos.	5	31
JN031	617443	9763148	Tobas de grano fino medio con intercalaciones de lutitas, se observa de coloración café grisáceo rojizo, muy fracturada.	7	44
JN032	617460	9763984	Lutita Tobácea de grano fino coloración café rojiza oscura, muy fracturada.	6	38
JN033	617441	9763831	Tobas de grano fino a medio , se observa de coloración café grisáceo, muy fracturada.	9.4	59
JN034	617457	9763696	Aglomerado de clastos lutitas y tobas, matriz arcillosa de coloración café grisáceo oscura	8.9	56

JN035	617447	9763787	Toba de grano fino a medio, de coloración café grisáceo, muy compacta, pero fracturada	5.4	34
JN036	617469	9763923	Lutita Tobácea de grano fino coloración café rojiza oscura, muy fracturada	9	56
JNC1	617353	9763486	Lutita de grano fino a medio de coloración café oscura , se aprecia muy diaclasada.	7.7	48
JNC2	616920	9763230	Lutita de grano fino de coloración grisáceo muy fracturada	9.6	60
JNC3	616920	9763230	Aglomerado con presencia de clastos angulosos de color café verdoso, matriz arcillosa meteorizado.	5.8	36
MF8	617212	9764669	Toba de coloración verde cremoso de grano muy fino y diaclasado.	4	25
MF9	617217	9764650	Aglomerado de clastos muy finos con intercalaciones de lutitas y tobas.	3	19
MF10	617237	9764616	Toba intercalada con lutitas grano fino. La toba presenta coloración café oscuro mientras que la lutita es de color café verdoso claro. Se aprecia muy diaclasada y con lustre metálico.	3	19
MF11	617237	9764581	Aglomerado con clastos verdosos de tobas se aprecia con contenido de glauconita. Presenta la matriz muy alterada.	5	31
MF12	617241	9764568	Lutita de grano fino de color rojizo. Presenta lustre metálico se presume que son óxidos de hierro.	3	19
MF13	617388	9763990	Aglomerado de color café oscuro se presenta masivo, se aprecia clastos angulosos de fragmentos muy pequeños.	3	19

MF14	617383	9763975	Lutita de grano fino color café claro y gris, fuerte diaclasamiento.	4	25
MF15	617378	9763964	Aglomerado con intercalaciones de areniscas de color amarillo claro.	4	25
MF16	617371	9763947	Lutita de grano fino de coloración café claro con presencia de patinas de manganeso.	9.5	59
MF17	617460	9762991	Aglomerado con matriz arcillosa se aprecian clastos de lutita centimétricos.	7	44
MF18	617459	9762960	Lutita de grano fino a medio de coloración café oscura amarillenta, se aprecia muy diaclasada.	2	13
MF19	617458	9762931	Lutita de grano fino a medio de coloración café amarillento, con patinas de manganeso, fuertemente diaclasada.	4	25
MF20	617455	9762896	Lutita de grano fino a medio de color café oscura con patinas de manganeso muy fracturada.	4	25
MF21	617449	9762844	Aglomerado de color café claro con se aprecian fragmentos de feldespatos.	4	25
MF22	617500	9762881	Lutita de grano fino en contacto con areniscas de color café oscuro.	8.1	51
MF23	617502	9762829	Aglomerado de color café claro y verde oscuro con se aprecia pequeños fragmentos de glauconita.	4	25
MF24	617493	9762783	Lutita de grano fino de coloración café oscuro se observa muy fracturada.	8.7	54
MF27	617269	9762655	Lutita de grano fino de coloración café claro	8	50
MF27A	617245	9762668	Aglomerado muy meteorizado de color café claro a oscuro	6	38

MF28	617298	9762669	Aglomerado con presencia de clastos de lutita	4	25
MF29	617340	9762759	Lutita de grano fino de color café oscuro, rojiza , se presenta formando laminaciones muy fracturada.	4	25
MF30	617349	9762787	Lutita de grano fino a medio de coloración café oscura rojiza, muy fracturada y con patinas de manganeso.	8.6	54
MF31	617349	9762889	Lutita de grano fino a medio café oscura rojiza, muy fracturada donde se aprecia patinas de manganeso.	10	63
MJMF32	616516	9763088	Aglomerado de color verde con clastos de varios tamaños, muy compacto y se aprecia muy masivo.	4	25
MJMF33	616516	9763088	Lutita Tobácea de coloración café amarillento en la superficie meteorizada se aprecia vidrio volcánico.	8	50
MJMF34	616318	9763252	Aglomerado de color café verdoso intenso muy meteorizado, con clastos angulosos y presencia de hierro, manganeso	4	25
MJMF35	616318	9763525	Lutita Tobácea de grano fino de color café oscuro, se aprecia muy fracturada.	12.7	79
MJMF 36	616374	9763330	Lutita Tobácea de grano muy fino de colora café oscuro, muy fracturada.	8.9	56

En el área de estudio se encontraron minerales zeolíticos determinados por difracción de rayos X tales como. Clinoptilolita, Estilbita, principalmente y minerales accesorios tales como el cuarzo, feldespatos, smectita, (saponita), calcita y mormorillonita. De acuerdo a los análisis químicos de laboratorio (calor de inmersión) se observa que las proporciones aproximadas de zeolitas en las rocas zeolitizadas va desde 25% al 98%, considerando las de mayor interés las que superan proporciones del 60%. La génesis de las zeolitas se presume asociada a un ambiente de depositación vulcano-sedimentario en donde han sufrido un proceso de alteración zeolítica por precolación meteórica o hidrotermalismo, asociado con un metamorfismo de bajo grado. En el capítulo siguiente se describe la identificación de los minerales zeolíticos. De acuerdo a esto las zeolitas presentan una cristalización variable con lo cual su distribución es errática en toda la zona de estudio. Con los datos obtenidos se procesó la información en programas computacionales, mostrando que las mayores concentraciones de zeolitas están al oeste y al sur-este del Parque Tecnológico Campus-ESPOL. Cabe señalar que se ha determinado el sector J para proyectar una ejecución de las primeras labores de movimientos de tierras, dado que se encuentra dentro de esta área. A continuación se muestra un mapa de anomalías, en donde los colores celestes claros estiman los sectores de las mayores concentraciones de zeolitas (según el método de calor de inmersión).

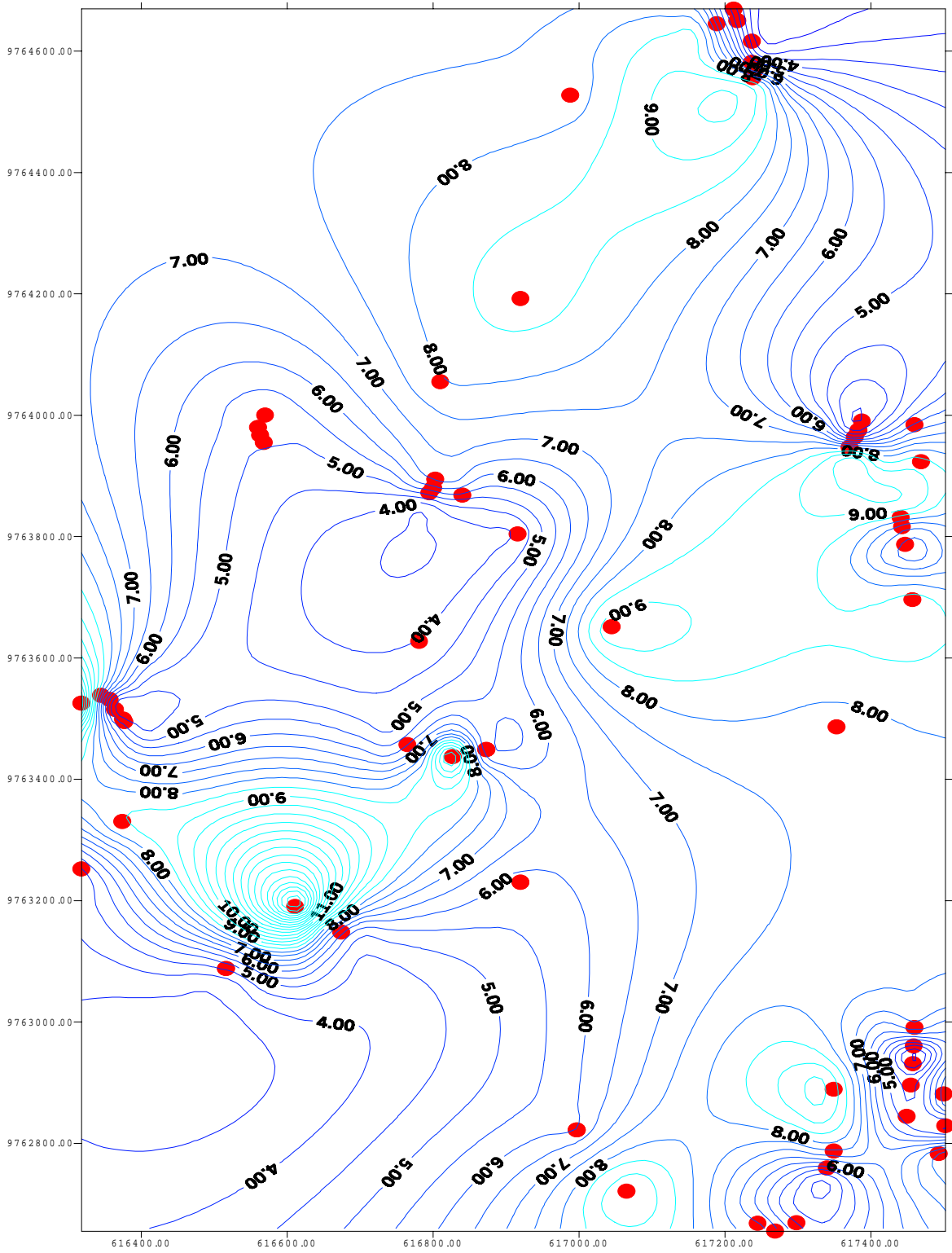


Fig 2.5 Mapa de anomalías de temperaturas (método calor de inmersión)

2.4 Caracterización geomecánica

Las características geomecánicas se las considera para el diseño de toda explotación minera. Todos los rasgos particulares del macizo rocoso son de importancia con vistas a desarrollar el sistema de arranque, carga y transporte de materiales. El macizo rocoso estudiado esta compuesto por rocas: lutitas, tobas, aglomerados, areniscas y depósitos aluviales.

Para el análisis de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso es importante considerar cualquier estructura geológica que puede inferir sobre las propiedades del mismo. Siendo el estudio de las discontinuidades (fallas, diaclasas, planos de estratificación) las de mayor importancia en este caso.

2.4.1 Parámetros geomecánicos principales

2.4.1.1 Resistencia de la matriz rocosa a la compresión simple

Para determinar la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso se realizaron ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos de la FICT. Estos ensayos consistieron en: elaborar probetas cilíndricas con unas dimensiones tales que la relación longitud diámetro sea superior o igual a dos; determinando la presión uniaxial a la que se produce la rotura. Para nuestro análisis las dimensiones son de 2 pulg. de diámetro, por 4 pulg. de longitud. Con estas dimensiones se ejecutaron las pruebas de laboratorio y los resultados se muestran en la tabla 2.2. Cabe señalar que se determinara a la resistencia a la compresión simple de las rocas predominantes en el lugar de estudio. Ver tabla 2.2

TABLA 2.2
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

CORDENADAS		LUTITAS						
(X)	(Y)	MUESTRA	DIAMETRO(cm)	LONGITUD(mm)	RESULTADO(Kgf)	AREA(cm2)	RESISTENCIA	RESISTENCIA (MPa)
616873	9763431	JN1RCL	4.4	90	8850	15.21	582.0322118	57.07757089
616838	9762857	JN2RCL	4.4	90	6350	15.21	417.6163328	40.95396329
617226	9764578	JN3RCL	4.4	90	7258	15.21	477.3321801	46.81005757
617460	9762974	JN4RCL	4.4	95	8400	15.21	552.4373536	54.17532152
617500	9762894	JN5RCL	4.4	73	8250	15.21	542.5724009	53.20790506
616326	9763294	JN6RCL	4.4	78	6250	15.21	411.0396976	40.30901899
616893	9763815	JN7RCL	4.4	87	8500	15.21	559.0139888	54.82026582
617099	9763610	JN8RCL	4.4	86	7500	15.21	493.2476371	48.37082278
616852	9764219	JN9RCL	4.4	88	8350	15.21	549.149036	53.85284937
617456	9762914	JN10RCL	4.4	89	8600	15.21	565.5906239	55.46521013
							Promedio	50.50429854
		AGLOMERADOS						
616357	9763522	JN1RCA	4.4	89	6150	15.21	404.4630625	39.66407468
616817	9763949	JN2RCA	4.4	90	5900	15.21	388.0214746	38.05171392
617006	9764523	JN3RCA	4.4	88	6250	15.21	411.0396976	40.30901899
616662	9763140	JN4RCA	4.4	89	4500	15.21	295.9485823	29.02249367
		JN5RCA	4.4	89	5900	15.21	388.0214746	38.05171392
							Promedio	37.01980304

CORDENADAS X Y		MUESTRA	FAMILIA DE DIACLASA	RUMBO	BUZAMIENTO	SEPARACION	APERTURA	SUPERFICIE	PRESENCIA DE AGUA	RQD Palmstrom
616873	9763431	JN1RCL	1	N70W	89	30	CERRADAS	RUGOSA	SECO	47
			2	N40E	90	45	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
			3	N60W	85-S	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
616838	9762857	JN2RCL	1	N 5W	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	38
			2	N80E	85-S	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
			3	N60W	85-S	15	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
617226	9764578	JN3RCL	1	N10W	85	10	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	11
			2	N65W	90	10	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	
			3	N50W	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
617460	9762974	JN4RCL	1	N30W	85-S	40	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	44
			2	N79W	89	25	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
			3	N57W	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
617500	9762894	JN5RCL	1	N25w	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	33
			2	N80E	86 S	10	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	
			3	N60W	82 S	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
616562	9763970	JN6RCL	1	N15W	85	15	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	36
			2	N80E	90	10	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
			3	N55W	80-S	45	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
616326	9763294	JN7RCL	1	N30W	85-S	15	CERRADAS	Rugosa	SECO	33
			2	N85E	90	15	CERRADAS	Rugosa	SECO	
			3	N55W	89	15	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	
616893	9763815	JN8RCL	1	N10W	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	27
			2	N85E	90	15	CERRADAS	Rugosa	SECO	
			3	N60W	85-S	10	CERRADAS	0 - 1 mm	SECO	
617099	9763610	JN9RCL	1	N80W	87	40	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	42
			2	N10E	90	35	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	
			3	N60W	80	10	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	
616852	9764219	JN10RCL	1	N10W	90	20	CERRADAS	Rugosa - Lisa	SECO	16
			2	N80E	90	10	CERRADAS	Plana - Rugosa	SECO	
			3	N70W	90	10	CERRADAS	Lisa - Plana	SECO	
617456	9762914	JN1RCA	No hay diaclasas visibles							
616357	9763522	JN2RCA	1	N15W	85-S	Unica diaclasa visible	4mm	RUGOSA-ONDULADA	SECO	50
616817	9763949	JN3RCA	No hay diaclasas visibles							
617006	9764523	JN4RCA	No hay diaclasas visibles							
616662	9763140	JN5RCA	1	N10W	90	Unica diaclasa visible	2 mm	RUGOSA-ONDULADA	SECO	50

CORDENADAS X	CORDENADAS Y	MUESTRA	FAMILIA	RMR	SMR	CLASE	DESCRIPCION	ESTABILIDAD	ROTURAS	TRATAMIENTO	METODO EXCAVACION
616873	9763431	JN1RCL	1	70	70	III	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	75	75	III	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	70	70	III	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616838	9762857	JN2RCL	1	67	67	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	67	67	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	67	67	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
617226	9764578	JN3RCL	1	60	60	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunos juntas o muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
			2	60	60	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunos juntas o muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
			3	62	62	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
617460	9762974	JN4RCL	1	70	70	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	70	70	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	65	65	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
617500	9762894	JN5RCL	1	63	63	II	Buena	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	63	63	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	70	70	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616562	9763970	JN6RCL	1	60	60	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
			2	60	60	III	Normal	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
			3	62	62	II	Buena	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
616326	9763294	JN7RCL	1	68	68	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	65	65	II	Buena	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
			3	68	68	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616893	9763815	JN8RCL	1	67	67	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	65	65	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	65	65	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
617099	9763610	JN9RCL	1	70	70	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	70	70	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	68	68	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616852	9764219	JN10RCL	1	65	65	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			2	63	63	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
			3	63	63	II	Buena	Parcialmente Estable	Algunas juntas y muchas cuñas	Sistematico	Voladuras suaves o maquinaria
617456	9762914	JN1RCA		72	72	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616357	9763522	JN2RCA		72	72	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616817	9763949	JN3RCA		72	72	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
617006	9764523	JN4RCA		72	72	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria
616662	9763140	JN5RCA		72	72	II	Buena	Estable	Algunos bloques	Ocasional	Voladuras suaves o maquinaria

2.4.1.2 Índice de calidad de la roca (RQD)

El índice de calidad de la roca es el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de longitud de 100 mm o mayor, del largo total del barreno. Por lo tanto:

$$RQD(\%) = \frac{\text{Longitud de los nucleos mayores de 100mm}}{\text{largo del barreno}} * 100$$

Para este estudio se aplico un método de campo, con el cual se puede calcular el RQD; que es el propuesto por PALMSTROM (1975) con la siguiente formula empírica.

$$RQD = 115 - 3.3 * J_v$$

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i}$$

J_v (índice volumétrico): n° de juntas por metro cúbico.

S_i : espaciamiento medio entre juntas.

Ver tabla 2.3

2.4.1.3 Discontinuidades

2.4.1.3.1 Orientación

De acuerdo al mapeo geológico la orientación de los estratos en el macizo rocoso tienen un rumbo preferencial N 110° Az, con un buzamiento variable entre 12° y 18°. Los aglomerados y brechas volcánicas son de aspecto masivo

TABLA 2.3
CALCULO DE INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA

sin estratificación visible. Cabe señalar que las lutitas y areniscas presentan estratificación centimétrica a decimétrica.

En las observaciones de campo no se detecto la presencia de ninguna falla en el área, generalmente los estratos se encuentran fuertemente diaclasados, predominando tres familias de diaclasas con las siguientes orientaciones:

- F1: NS/90°,
- F2: N/ 75° E/85° - 90°,
- F3: N 60° W/90°

2.4.1.3.2 Separación entre las juntas

Se define como la distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes. Normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades. Ver tabla 2.4

2.4.1.3.3 Estado entre las juntas

Se refiere a la continuidad es decir; a la extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano imaginario que la contenga observando características principales tales como:

- La rugosidad que interviene en estas observaciones es decir se determinan el conjunto de irregularidades de diferentes ordenes de magnitud (asperezas ondulaciones) que comprenden la superficies de las paredes de una discontinuidad.

- La apertura también interviene en estas observaciones es decir; distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad.
- También el relleno participa en estas observaciones; es decir el material que separa las paredes de una discontinuidad, normalmente mas débil que la roca matriz.

Las peculiaridades de las discontinuidades vistas en el campo se resumen en la tabla 2.4

2.4.1.4 Presencia de agua dentro del macizo rocoso

Para hablar del flujo de agua y la humedad libre visible en las discontinuidades del macizo rocoso, hay que considerar relativamente la circulación superficial de las aguas. Se debe señalar que la circulación superficial de agua es intermitente y solo ocurre en la estación invernal, entre los meses de enero a abril.

En los sectores donde se realizó el estudio el macizo rocoso, este no presenta ningún flujo de agua visible en las discontinuidades donde se va ejecutar el movimiento de tierra.

Cabe mencionar que las descargas de agua se producen por las quebradas en las que si hay gran cantidad de agua. Ver tabla 2.4

TABLA 2.4
CARACTERÍSTICA DEL MACIZO ROCOSO

2.4.2 Caracterización del macizo rocoso

Las características geomecánicas permitirán clasificar al macizo rocoso, de acuerdo a la clasificación geomecánica de BIENIAWSKI, obteniéndose índices de calidad denominado << Rock Mass Rating>> (RMR), que depende de los siguientes parámetros:

- Resistencia de la matriz rocosa a compresión simple.
- Índice de calidad de la roca RQD.
- Separación entre las juntas.
- Estado entre las juntas.
- Presencia de agua dentro del macizo rocoso.

Para la caracterización del macizo rocoso en las áreas donde se va a ejecutar el movimiento de tierra se utilizará el programa computacional Taludmin, al cual se le ingresaran los parámetros geomecánicos tomados del estudio de campo y del análisis de laboratorio.

Esto permite la utilización de formulas empíricas que estiman las características de estabilidad del macizo rocoso.

La clasificación realizada por BIENIAWSKI (1967) permite obtener el índice de calidad RMR (*Rock Mass Rating*), precisamente con los parámetros antes

señalados de suelos y rocas que depende de la resistencia de la roca matriz, las condiciones de diaclasado, la posición relativa del agrietamiento respecto a la excavación y el efecto del agua, dando los siguientes resultados. Ver tabla 2.5.

En la tabla 2.5 se observa que la calidad del macizo se comporta de buena a normal, según los índices RMR y SMR, considerando el intenso agrietamiento de las rocas lutitas que provocan una estructura en bloque de pequeños tamaños; y a la particularidades de la matriz en los aglomerados.

En términos generales, la disposición de los estratos favorece la estabilidad de los taludes, pudiendo constituir un macizo rocoso de baja permeabilidad si la dirección del flujo de agua es en sentido opuesto a la dirección del buzamiento.

Con lo cual el método de explotación será en sentido contrario a la disposición de los estratos en el macizo rocoso.

En el anexo 2 se muestra algunos resultados del programa de evaluación del macizo rocoso TALUDMIN.

TABLA 2.5
CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO

2.5 Estimación de la reserva

El material útil para estimar reservas probadas de zeolitas, van a ser las lutitas tobáceas y las tobas, por presentar un grado de zeolitización aceptable entre el 60 a 95 % (Método Calor de Inmersión). Los aglomerados y las areniscas por tener bajo grado de zeolitizacion se las considerara como el material estéril.

Cabe señalar que una vez que efectué el levantamiento geológico y elabore el diseño de afloramiento, aplicando correlaciones de entre los afloramientos de acuerdo a los lineamientos estructurales y empleando la regla de las “ V “ se logro la identificación de los sectores donde se encuentra el material útil.

Posteriormente procedí a la estimación y evaluación de los sectores donde se va ha ejecutar el movimiento de tierras y para esto se identificaron todas las terrazas donde se va a realizar la remoción de tierras de acuerdo a la datos proporcionados por el Departamento de Planificación-ESPOL. Pero para aplicar criterios mineros se procedió a designar sectores de movimiento de tierras, y en cada sector se encontraran las terrazas, con lo cual se consideraron las cotas mínimas y las cotas máximas de las terrazas; de tal manera de designar sectores y tener una evaluación global en cada sector, con el fin de tener una estimación de reservas y aplicar criterios mineros de explotación. Los parámetros de movimiento de tierras mínimos y máximos para la construcción del Parque Tecnológico, son lo que van prevalecer, pero lo que se quiere lograr

es el aprovechamiento racional de este recurso y para lo cual se tiene que conocer con que cantidad de material zeolítico se cuenta.

Una vez determinado los volúmenes totales de material zeolítico útil se planificara su extracción, considerando los niveles mínimos y máximos de los sectores, y de esta forma, de aprovechar las zeolitas naturales existentes para la investigación y/o comercialización.

Los espesores del material útil zeolítico (lutitas tobáceas y tobas) varían desde 10cm a 15 m. Mientras que el mineral estéril presenta espesores de hasta 50 metros.

Para el cálculo de reservas se ha considerado los niveles de movimiento de tierras mínimos y máximos, de acuerdo a los sectores donde se tiene planificado la construcción del Parque Tecnológico y también se ha considerado criterios mineros para el aprovechamiento de las zeolitas naturales, las cuales se distribuyen de la siguiente manera. Ver tabla 2.6.

De acuerdo a los mejores resultados de Calor de Inmersión, capacidad de intercambio catiónico y difracción de rayos X, se ha podido considerar el sector J, el que se puede proyectar para ejecutar labores de movimiento de tierras para la extracción de zeolitas naturales considerando criterios mineros, en vista de que, en este sector se ha podido detectar ocurrencias y características interesantes de la valoración de las rocas zeolitizadas.

Cabe aclarar que la importancia de este estudio radica en plantear el aprovechamiento racional de las zeolitas naturales localizadas en el Parque Tecnológico-ESPOL, considerando los parámetros de construcción y las normas dictadas por la ley del medio ambiente, ya que la ESPOL por encontrarse en zona protegida no puede realizar explotación minera a gran escala.

TABLA 2.6
SECTORES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Terrazas	Sectores	Perfiles de Evaluación	Cota mínima de Movimiento de Tierra	Cota máxima Movimiento de Tierra
Terraza 1	Sector H	Perfiles H	45	50
Terraza 2	Sector A	Perfiles A	45	60
Terraza 2 Terraza 3 Terraza 4 Terraza 5	Sector J	Perfiles J	50	90
Terraza 6 Terraza 7 Terraza 8 Terraza 9	Sector D	Perfiles D	45	60
Terraza 10	Sector E	Perfiles E	65	75
Terraza 11	Sector C	Perfiles C	45	55
Terraza 12	Sector G	Perfiles G	55	75
Triangulo	Sector F	Perfiles F	60	75

Con la información de campo obtenida de los afloramientos son suficientes para realizar una estimación de reservas probadas, mas no una estimación de reservas explotables, con lo que se hace necesario un estudio mas detallado en el momento de ejecutar las labores de movimiento de tierras (extracción de las zeolitas naturales) , con el fin de aprovechar racionalmente las zeolitas naturales ubicadas en este sitio.

2.8.1 Determinación de los volúmenes de mineral útil y valoración de las zeolitas

Para el cálculo de los volúmenes de reservas probables y la valoración de las zeolitas existente se utilizó el método de perfiles de la siguiente manera:

- a) Se hicieron perfiles a cada 50 metros en los sectores de remoción de tierras, perpendiculares al rumbo de las capas para de esta manera trabajar con los buzamientos reales de los estratos.
- b) Se realizó el cálculo del área de las secciones de los perfiles tanto para el material útil como para el estéril. Ver Mapa de perfiles.
- c) Se determinó los volúmenes de material útil de cada sector así como también para el estéril, definidos por medio de la relación:

$$V = \frac{A_i + A(i+1)}{2} * D$$

Vi: Volumen establecidos entre las secciones Ai y A(i+1)

Ai: Área de la sección i

Ai+1 : Área de la sección i+1

D: Distancia entre secciones (50 metros)

VS: Volumen de material útil de cada Sector

VE: Volumen de estéril de cada sección.

d) Estimación de las reservas probables

Las reservas del material útil esta dada por la siguiente relación:

$$TS = VS * d$$

TS: Toneladas de material útil por sector

VS: Volumen de material útil de cada sector

d: Densidad aparente (1.7 Ton/m³)

e) Determinación de las reservas totales

$$R_t = TSA + TSJ + TSC + TSD + TSE + TSF + TSG$$

Rt: Reservas probadas totales

TSA: Toneladas de material útil del sector A

TSJ: Toneladas de material útil del sector J

TSC: Toneladas de material útil del sector C

TSD: Toneladas de material útil del sector D

TSE: Toneladas de material útil del sector E

TSF: Toneladas de material útil del sector F

TSG: Toneladas de mineral útil del sector G

TSH: Toneladas de mineral útil del sector H

Ver tabla 2.7 y anexo de mapas (ubicación de sectores y plano de perfiles).

TABLA 2.7
CALCULO DE RESERVAS

CAPITULO 3

CARACTERIZACION DE LAS ZEOLITAS NATURALES

3.1 Mineralogía

3.1.1 Conceptos generales

Las zeolitas ocurren en una variedad de marcos geológicos, en su mayor parte como alteraciones de minerales antigénicos, bajo temperatura y presión. También como minerales en sistemas metamórficos, y minerales secundarios en zonas erosionadas por la intemperie.

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados de Na, K y Ca (\pm Ba, \pm Sr y \pm Mg) con casi 40 especies diferentes, entre las cuales destacan la clinoptilolita, erionita, chabasita, phillipsita y mordenita, que son las más utilizadas por sus aplicaciones.

Megascópicamente son incoloras a blancas, con densidad de 2.0 a 2.3 g/cm³ (aunque algunas tienen densidad mayor debido a la presencia de Ba y Sr) y dureza 3.5-5.5.

Las zeolitas comerciales están actualmente limitadas por marcos autigénicos y finalmente en alteraciones de rocas sedimentarias cristalinas. Comúnmente las zeolitas que ocurren en rocas sedimentarias son: Analcima, Chabazita, Clinoptilolita, Erionita, Ferrierita, Huelandita, Laumontita, Mordenita, phillipsita. La analcima, la clinoptolonita son las más abundantes.

Como se muestra en la tabla 3.1, las zeolitas muestran un considerable rango de contenido de cationes y una relación radio Si:Al mayor a 1.

TABLA 3.1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE
MINERALES ZEOLITICOS

Nombre	Si/Al + Fe	Catión Dominante	Moléculas de H ₂ O por átomo de Al	Porosidad (%)	Canales Principales (*)
Clinoptilolita	4.0 - 5.1	k > Na	3.0 - 3.5	39	2.6
Mordenita	4.3 - 5.3	Na > K	3.2 - 3.5	28	6.7-7
Heulandita	2.9 - 4.0	Ca, Na	2.5 - 3.0	39	4.2-4.4
Erionita	2.9 - 3.7	Na, K	3.0 - 3.4	35	3.6-5.2
Chabazita	1.7 - 3.8	Ca, Na	2.7 - 4.1	47	3.5-7.1
Phillipsita	1.3 - 3.4	K, Na, Ca	1.7 - 3.3	34	-
Analcima	1.7 - 2.9	Na	1.0 - 1.3	18	3.6-3.7
Laumontita	2	Ca	2	-	-
Wairakita	2	Ca	1	-	-
Natrolita	1.5	Na	1	-	-

(*) Diámetro en Angstroms

Se puede observar en esta tabla que las zeolitas con mayor contenido de sílice son también las más hidratadas. El radio Si/Al + Fe³⁺ varía en diversas zeolitas ricas en álcali tal como la phillipsita y chabazita.

La mayor variedad silíceas de las zeolitas contienen principalmente Na⁺ y K⁺, mientras que las variedades más pequeñas contienen Calcio principalmente. La composición química de cada una de los minerales de zeolitas se muestran en la tabla 3.2

TABLA 3.2
COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA QUÍMICA DE LAS ZEOLITAS

Grupo de zeolitas Naturales		
Fórmula General (Na₂,K₂,Ca,Ba)[Al,Si]O₂ n. x H₂O		
Nombre	Fórmula	Sistema
Natrolita	Na ₁₆ [Al ₁₆ Si ₂₄ O ₈₀]*16 H ₂ O	Ortorrómbico
Thomsonita	Na ₄ Ca ₈ [Al ₂₀ Si ₂₀ O ₈₀]*24H ₂ O	Ortorrómbico
Mesolita	Na ₂ Ca ₂ [Al ₆ Si ₉ O ₃₀].8H ₂ O	Ortorrómbico
Phillipsita	K ₂ (Ca _{0.5} ,Na) ₄ [Al ₆ Si ₀₀ 32]*12H ₂ O	Monoclínico
Harmotoma	Ba ₂ [Al ₄ Si ₁₂ O ₃₂].12H ₂ O	Monoclínico
Gismondina	Ca [Al ₂ Si ₂ O ₈].4H ₂ O	Monoclínico
Chabasita	Ca ₂ [Al ₄ Si ₈ O ₂₄].12H ₂ O	Trigonal
Erionita	NaK ₂ MgCa _{1.5} [Al ₈ Si ₂₈ O ₇₂].28H ₂ O	Hexagonal
Gmelinita	(Na ₂ ,Ca)[Al ₂ Si ₄ O ₁₂].6H ₂ O	Hexagonal
Heulandita	(Ca,Na ₂ ,K ₂) ₄ [Al ₈ Si ₂₈ O ₇₂].24H ₂ O	Monoclínico
Clinoptilolita	(Na,K) ₆ [Al ₆ Si ₃₀ O ₇₂].24H ₂ O	Monoclínico
Estilbita	NaCa ₂ [Al ₅ Si ₁₃ O ₃₆].14H ₂ O	Monoclínico
Mordenita	Na ₃ KCa ₂ [Al ₈ Si ₄₀ O ₉₆].28H ₂ O	Ortorrómbico
Laumontita	Ca ₄ [Al ₈ Si ₁₆ O ₄₈].16H ₂ O	Monoclínico
Analcima	Na ₁₆ (Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆) 16H ₂ O	Tetragonal
Leucita	K ₁₆ (Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆)	Tetragonal
WairaKita	Ca ₈ (Al ₁₆ Si ₃₂ O ₉₆). 16H ₂ O	Tetragonal
Ferrierita	Na _{1.5} Mg ₂ (Al _{5.5} Si _{30.5} O ₇₂) 18H ₂ O	Ortorrómbico
Garronita	NaCa _{2.5} (Al ₆ Si ₁₀ O ₃₂) 14H ₂ O	Monoclínico
Edingtonita	Ba ₂ (Al ₄ Si ₆ O ₂₀) 6H ₂ O	Ortorrómbico

3.2 Propiedades químicas de las zeolitas naturales

3.2.1 Conceptos generales

Las zeolitas naturales son los único mineral en la naturaleza que posee cinco propiedades, estas son:

- Intercambio catiónico
- Adsorción
- Tamiz molecular
- Actividad catalítica
- Estimulación biológica.

Actualmente, el término zeolitas engloba a un gran número de minerales naturales que presentan características estructurales comunes. Ellos constan de un esqueleto cristalino formado por la combinación tridimensional de tetraedros TO_4 (T = Si, Al, B, Ga, Ge, Fe, P, Co). unidos entre sí a través de átomos de oxígeno comunes.

La estructura presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares en los cuales se encuentran los eventuales cationes de compensación, moléculas de agua u otros adsorbatos y sales.

Sus poros están relacionados por canales de diámetro muy pequeño (2-7.5 Å), orientados en dos o tres direcciones (Figura 3.1), por lo que son utilizadas como tamiz molecular. También se utilizan por el hecho de su capacidad de intercambiar cationes situados en sus poros o canales .

Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. La microporosidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio que lo rodea.

Esta transferencia es limitada por el diámetro de los poros de la zeolita ya que sólo podrán ingresar o salir del espacio intracristalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual varía de una zeolita a otra.

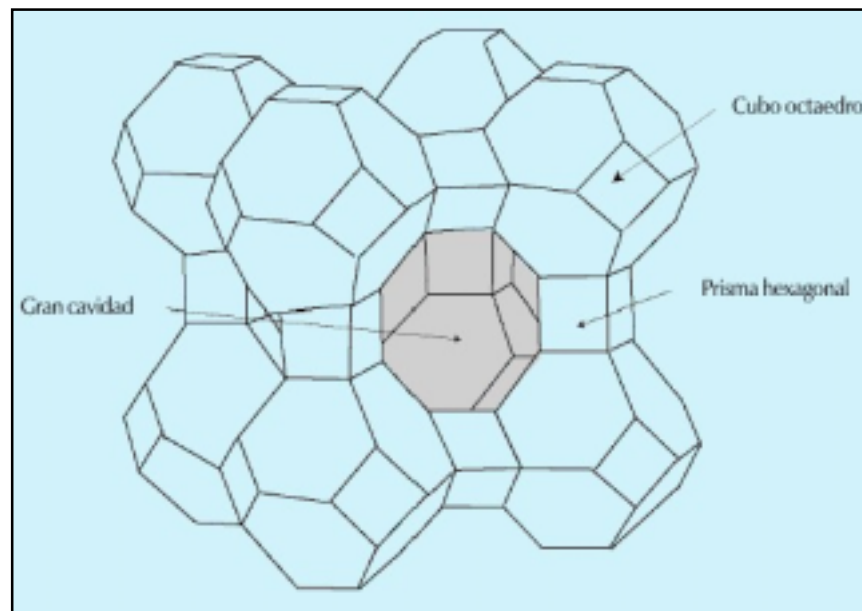


Fig. 3.1 Estructura Cristalina típica de una Zeolita

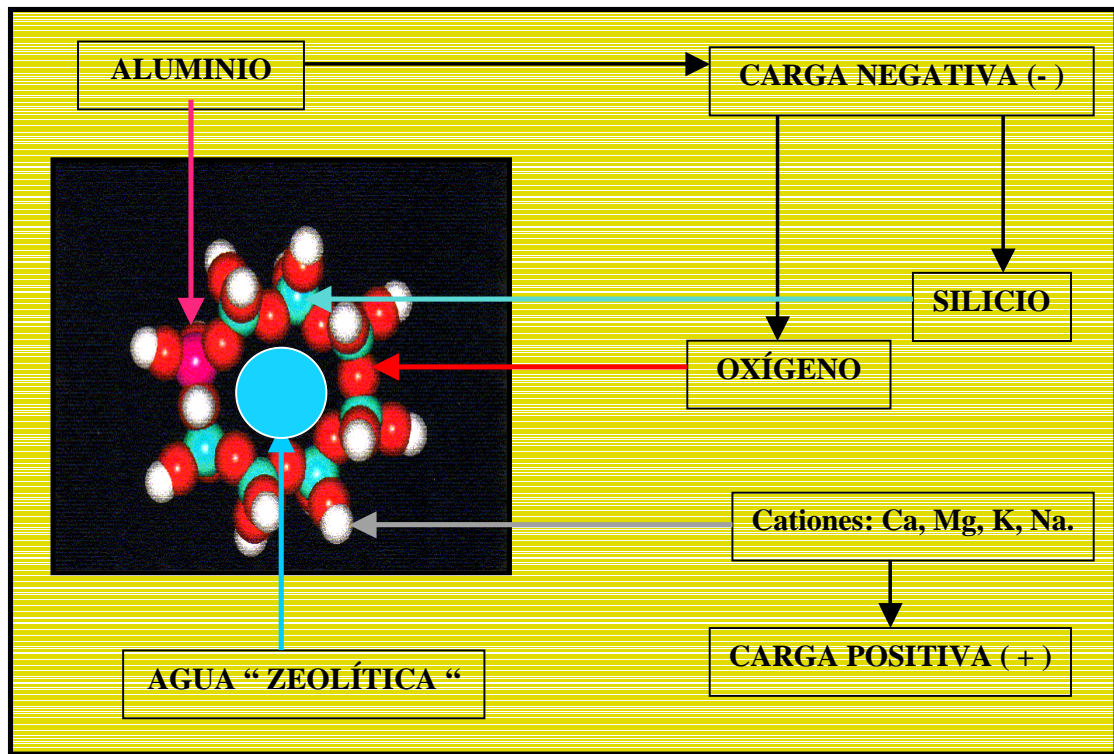
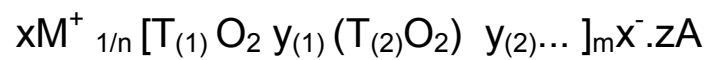


Fig 3.2 Estructura Básica de una zeolita

La fórmula química de la celda unitaria puede escribirse:



siendo:

M: un catión de valencia n ($x > 0$)

T : $T_{(1)}$, $T_{(2)}$, ...: elementos del esqueleto cristalino

A: agua, moléculas diversas, pares iónicos ($z > 0$)

Si se considera el número de átomos de oxígeno que forman los anillos o poros por los cuales se penetra al espacio intracrystalino, las zeolitas pueden clasificarse en zeolitas de poro extragrande ($\theta > 9 \text{ \AA}$), zeolitas de poro grande ($6 \text{ \AA} < \theta < 9 \text{ \AA}$), zeolitas de poro mediano ($5 \text{ \AA} < \theta < 6 \text{ \AA}$), y zeolitas de poro pequeño ($3 \text{ \AA} < \theta < 5 \text{ \AA}$) dependiendo de que el acceso al interior de los mismos se realice a través de anillos de 18, 12, 10 u 8 átomos de oxígeno (Tabla 1).

TABLA 3.3
CLASIFICACIÓN DE LAS ZEOLITAS
RESPECTO AL TAMAÑO DE LOS POROS

Zeolitas	Átomos de O que forma la abertura	Diámetro de Poro (\AA)	Ejemplo
Poro extragrande	18	$9 < \theta$	MCM - 9, VIP - 5
Poro grande	12	$6 < \theta < 9$	Y, β , Ω
Poro mediano	10	$5 < \theta < 6$	ZSM-5, ZSM-11
Poro pequeño	8	$3 < \theta < 5$	Erionita, A

La zeolita es el único mineral que tiene los poros uniformes y estables en sus dimensiones moleculares, al contrario de otros minerales porosos como la silica gel y el carbón activado que tienen una distribución en el tamaño de los poros.

Fig3.3.

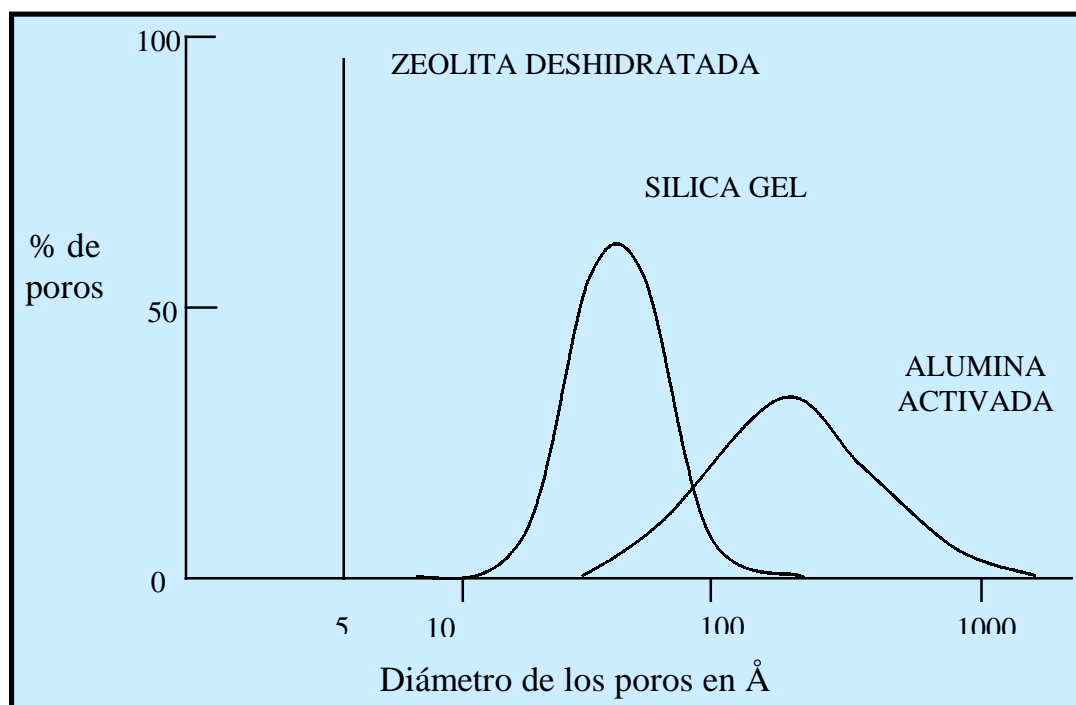


Fig 3.3 Distribución típica del tamaño de los poros

El hecho de presentar diámetros moleculares le proporciona a las zeolitas una propiedad muy particular, de gran uso industrial, conocida como selectividad geométrica o de forma. En las zeolitas más comunes, T representa a los elementos de silicio y aluminio. Siendo el aluminio trivalente, los tetraedros AlO_4 inducen cargas negativas en la estructura las cuales son neutralizadas por cationes de compensación intercambiables.

Estos cationes junto con las moléculas de agua se encuentran ocupando el espacio intracristalino de estos silicoaluminatos. La tabla 3.4 resume las características generales de las zeolitas.

Las mismas dependen básicamente de la estructura y de la composición química de cada sólido.

Tabla 3.4
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ZEOLITAS

- Diámetro de poro: 2 a 12 Å
- Diámetro de cavidades: 6 a 12
- Superficie interna: varios cientos de m^2/g
- Capacidad de intercambio catiónico: 0 a 650 meq/100 g
- Capacidad de adsorción: $< 0.35 \text{ cm}^3/\text{g}$
- Estabilidad térmica: desde 200° hasta más de 1000°C

Las aplicaciones de las zeolitas naturales hacen uso de uno o más de sus propiedades químicas, que generalmente incluye el intercambio de iones, adsorción o deshidratación y rehidratación.

Estas propiedades están en función de la estructura del cristal de cada especie, y su estructura y composición catiónica. Mumpton describe las siguientes propiedades de la siguiente manera:

3.2.1 Propiedad de intercambio de cationes

La capacidad de Intercambio Catiónico es la medida del número de cationes intercambiables presentes por unidad de peso o volúmen de la zeolita y representa el número de cationes disponibles para el canje. También se dice, que por procedimientos clásicos de intercambio catiónico de una zeolita se puede describir, como la sustitución de los iones sodio de las zeolitas (faujasitas) por cationes de otros tamaños y otra carga. Esta es una de las características esenciales de las zeolitas. En efecto, así se consigue modificar considerablemente las propiedades y ajustar la zeolita a los usos más diversos.

Las unidades se expresan en miliequivalentes por 100 gramos de zeolita (meq/100 g) o por gramo de zeolita (meq/g). El intercambio catiónico se puede efectuar de varios modos:

1. Intercambio en contacto con una solución salina acuosa (intercambio hidrotérmico) o con un solvente no acuoso;
2. Intercambio en contacto con una sal fundida. Por ejemplo, una zeolita A, originalmente con Ca, se pone en contacto con nitratos de litio, potasio o rubidio fundidos hacia 350°C;
3. Intercambio en contacto con un compuesto gaseoso. Por ejemplo, una zeolita faujasita Y, originalmente en su forma Na, se pone en contacto con HCl anhidro o NH₃, hacia 250°C.

El intercambio de iones en una zeolita depende de:

1. La naturaleza de las especies cationicas, o sea, del catión, de su carga, etc.
2. La temperatura.
3. La concentración de las especies catiónicas en solución.
4. Las especies aniónicas asociadas al catión en solución.
5. El solvente (la mayor parte de los intercambios se lleva a cabo en solución acuosa, aunque también algo se hace con solventes orgánicos) y,
6. Las características estructurales de la zeolita en particular.

La capacidad de intercambio cationico total (CICT) es difícil de medir, debido a que ciertos cationes no son fáciles de remover o reemplazar en la estructura de la zeolita. Los métodos que más se acercan a los valores verdaderos de la capacidad total de canje son aquellos que:

- Utilizan fracciones muy finas del mineral (0,045 mm).
- Alta concentración de la solución extractora de los cationes: 2,3,4 N.
- Solución con cationes selectivos: Cs, NH₄, K.
- Alta relación, solución extractora: zeolita (>50)
- Tiempo de contacto prolongado (> 1 día).
- Alta temperatura de la solución (ebullición)

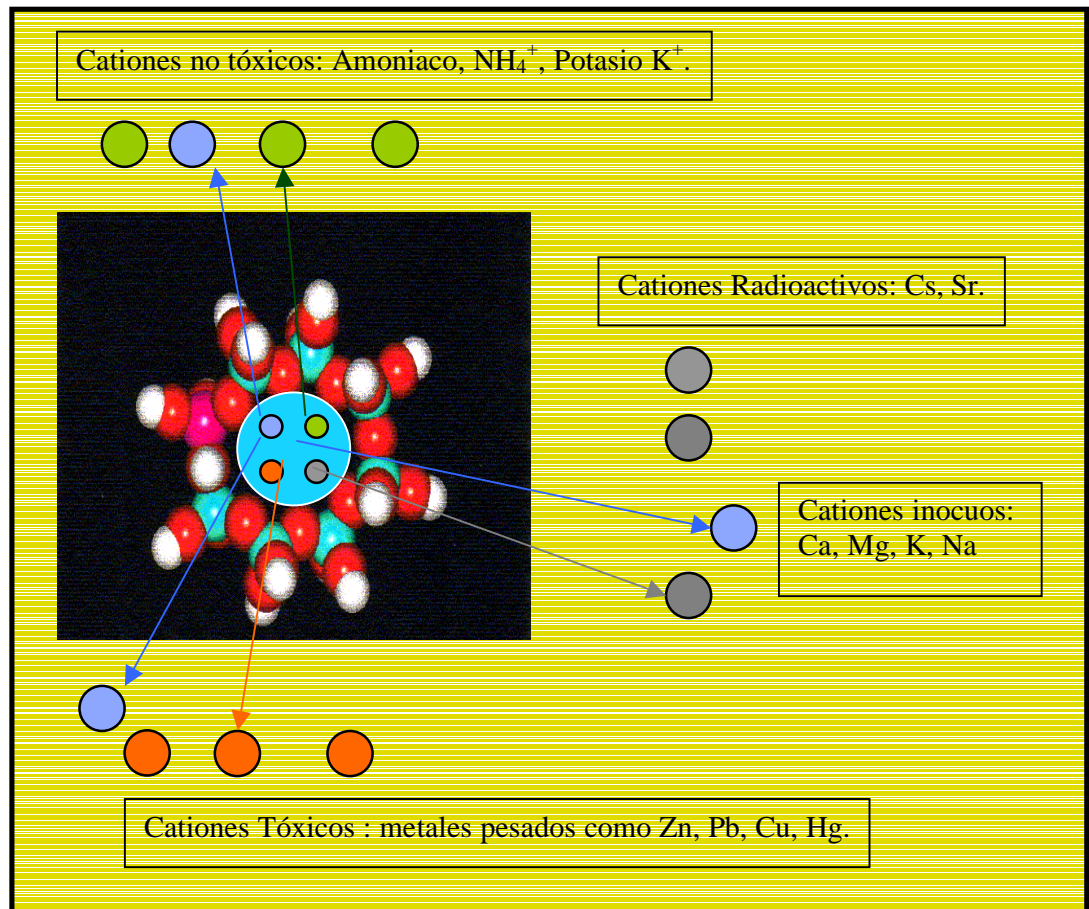


Fig3.4 Intercambio catiónico

La capacidad efectiva de intercambio catiónico (real) que la zeolita intercambia es, según las condiciones y variables específicas del sistema donde se este aplicando. Por ejemplo una zeolita que sea reportada con una CICT de 150 meq/100g. tendrá una capacidad “efectiva” menor de 150 meq/100g y diferente, según sea el uso, debido a que en cada sistema donde se aplica son diferentes las variables de temperatura, tiempo de contacto, soluciones de contacto etc.

La capacidad “efectiva” de una misma zeolita no es igual cuando se usa para la descontaminación de metales pesados, como cuando se usa en los suelos como encalante o mezclada con fertilizantes. Las zeolitas incluso de un mismo yacimiento son diferentes en su composición catiónica.

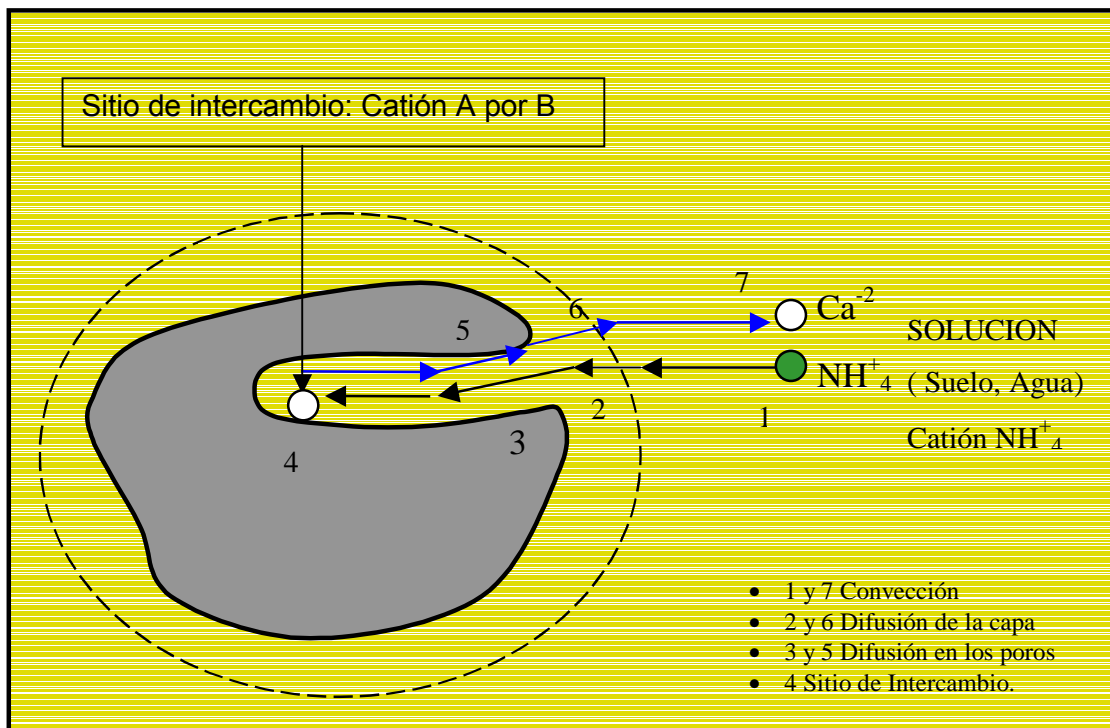


Fig 3.5 Mecanismo cinético y selectivo de una zeolita

3.2.2 Propiedades de adsorción

Las zeolitas cristalinas son los únicos minerales adsorbentes. los grandes canales centrales de entrada y las cavidades de las zeolitas se llenan de moléculas de agua que forman las esferas de hidratación alrededor de los cationes intercambiables. Si el agua es eliminada y las moléculas tienen diámetros

seccionales suficientemente pequeños para que estas pasen a través de los canales de entrada entonces son fácilmente adsorbidos en los canales deshidratados y cavidades centrales.

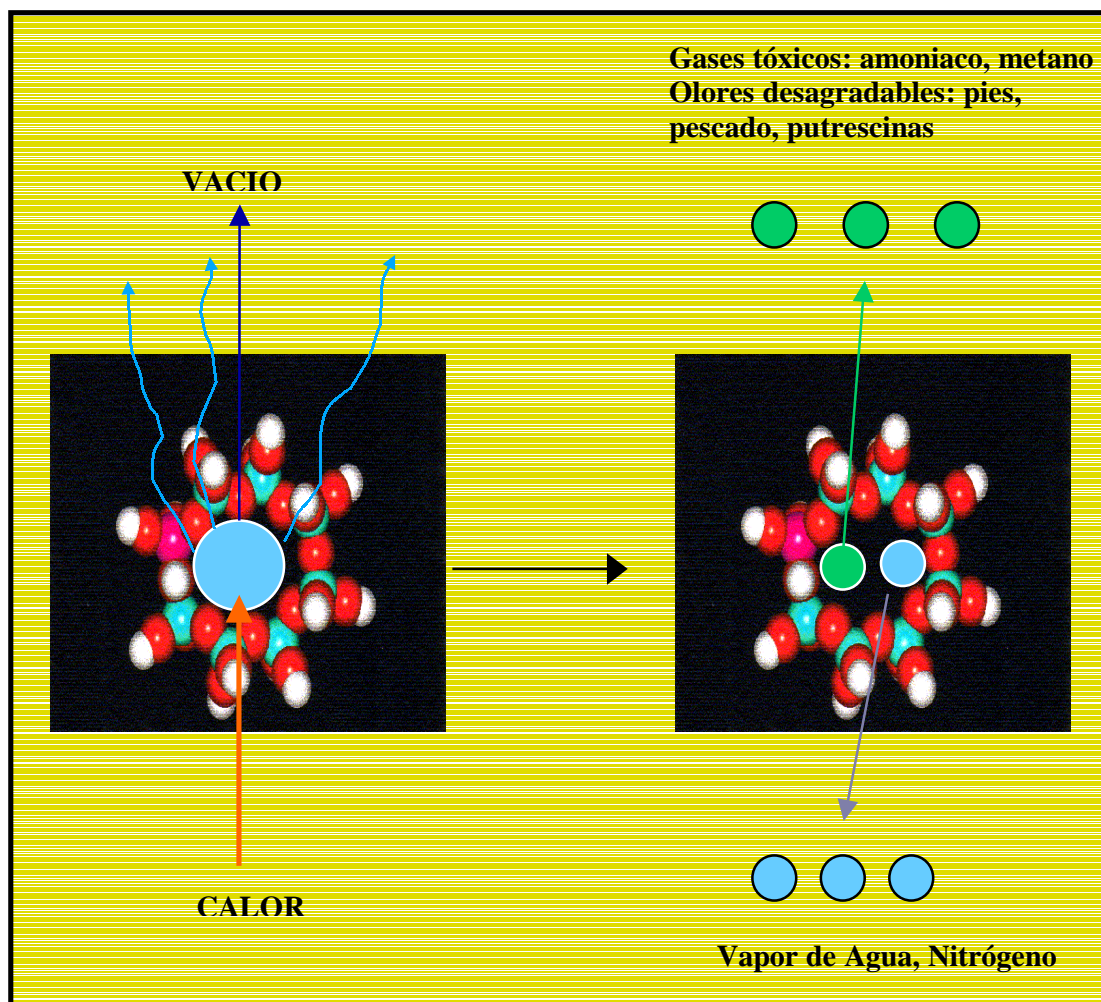


Fig 3.6 Adsorción y tamiz molecular

Las moléculas demasiado grandes no pasan dentro de las cavidades centrales y se excluyen dando origen a la propiedad de tamiz molecular una propiedad de las zeolitas.

3.2.2.1 Isotermas de adsorción

En la cual se mide la cantidad adsorbida en la zeolita (adsorbente) en función de la presión relativa de las moléculas a adsorber (adsorbato).

El valor de la adsorción (a) se da en mmol del elemento adsorbido por gramo de zeolita (mmol/g) a la presión relativa del proceso (p/p_S). **Brunauer, Emmett y Teller** han clasificado la adsorción de gases sobre sólidos, en 5 categorías basados en la forma de las isotermas. Figs 3.7 y 3.8.

Las diferentes formas de las isotermas son debido a:

- Superficie de la zeolita.
- Forma y tamaño de los poros.
- Porosidad y área superficial.
- Energía de interacción entre la zeolita y el adsorbato

Las zeolitas son adsorbentes microporosos y conceptualmente el mecanismo de adsorción es el llenado volumétrico de dichos microporos.

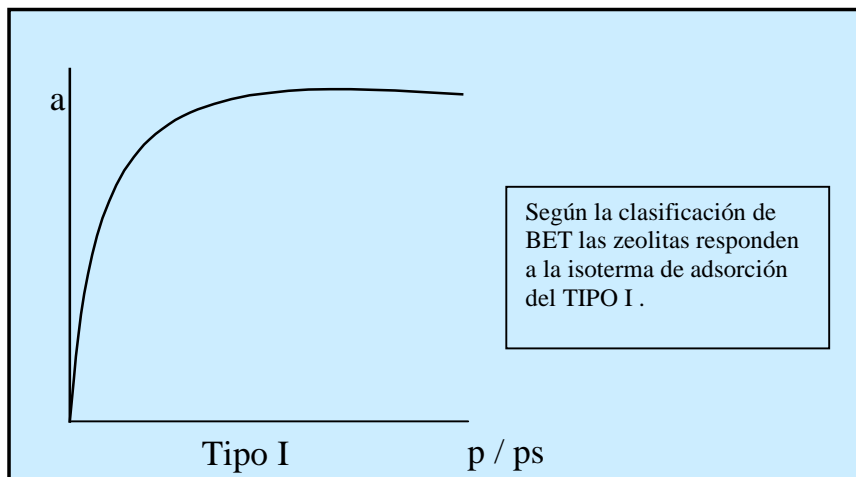


Fig 3.7 Isoterma de una zeolita

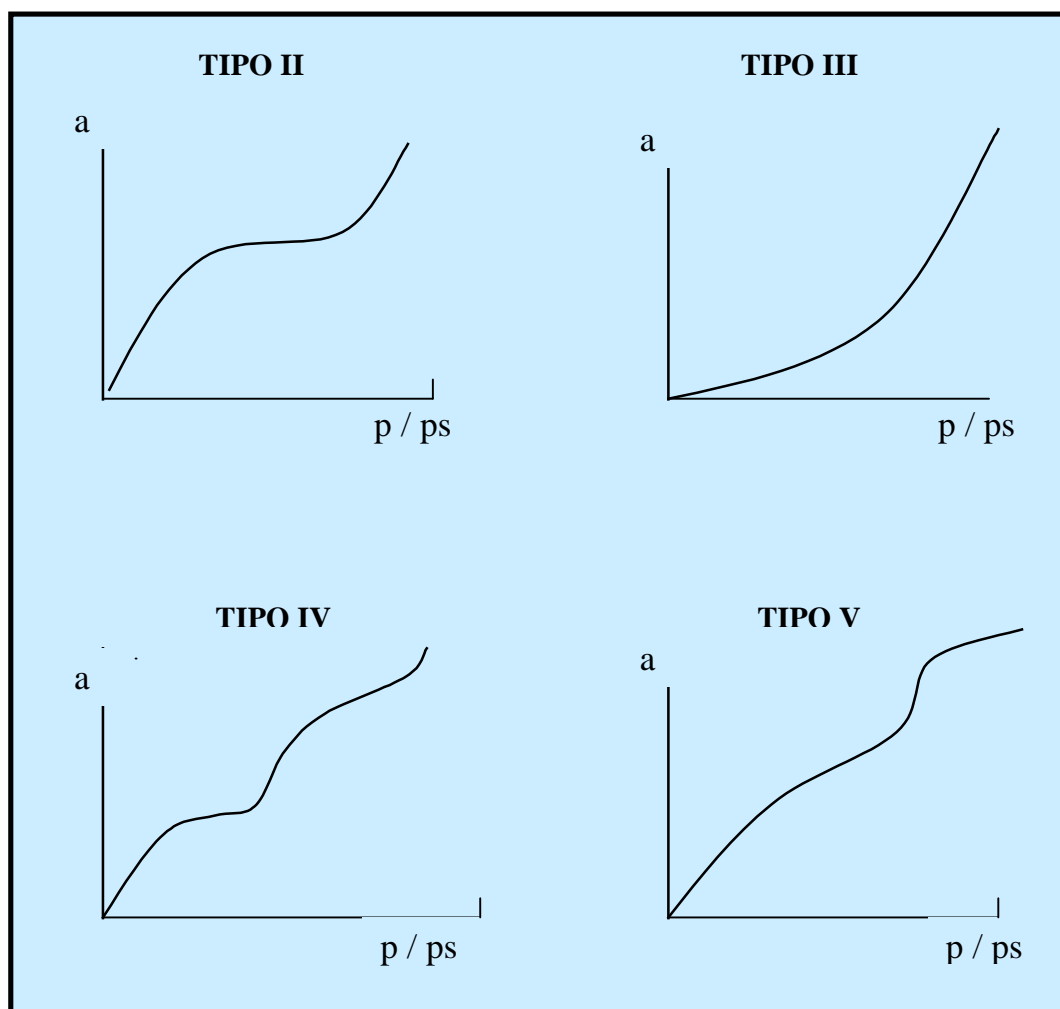


Fig 3.8 Tipos de isothermas de adsorción

3.2.2.2 Deshidratación – Rehidratación

Basado en el comportamiento de deshidratación. Las zeolitas pueden ser clasificadas como:

- a) Aquellas que muestran cambios estructurales no mayores durante la deshidratación y exhiben continua pérdida de peso como una función de la temperatura.
- b) Aquellos que sufren mayores cambios estructurales, incluyendo colapsos (derrumbes) durante la deshidratación, y exhiben discontinuidades en la pérdida de peso.

Un ejemplo típico del primer tipo son las zeolitas naturales como: la clinoptilolita, la mordenita, la erionita, la chabazita y zeolitas sintéticos como lo son los zeolitas A y X los cuales son termalmente estables de 700 a 800°C la deshidratación zeolitas. El comportamiento en la deshidratación de las zeolitas en el segundo tipo es semejante a aquel que exhibe pérdida reversible de agua a bajas temperaturas, pero un mayor cambio estructural a una elevada temperatura, y los materiales pierden su carácter zeolítico.

3.2.3 Tamiz molecular

La uniformidad del tamaño de los poros en las zeolitas limita la adsorción sobre la base del tamaño molecular, a moléculas más pequeñas que estos poros, las cuales pueden entrar en los canales de la estructura de la zeolita y ser adsorbidas, mientras que las moléculas más grandes se ven impedidas. La zeolita por tanto actúa como una malla o cedazo.

La activación de las zeolitas por calentamiento deja los canales casi vacíos y aunque la estructura del cristal contiene cationes metálicos que equilibran parcialmente su carga electrostática, la zeolita todavía tiene una carga neta que atrae a los componentes polares p. Ej. Agua en la estructura del cristal.

Una de las aplicaciones principales para tamices moleculares de zeolitas es en desecantes en combinación o en competición con los geles de sílice y alúmina en sistemas regenerativos o no-regenerativos para la eliminación de vapor de agua, hidrocarburos y otros fluidos.

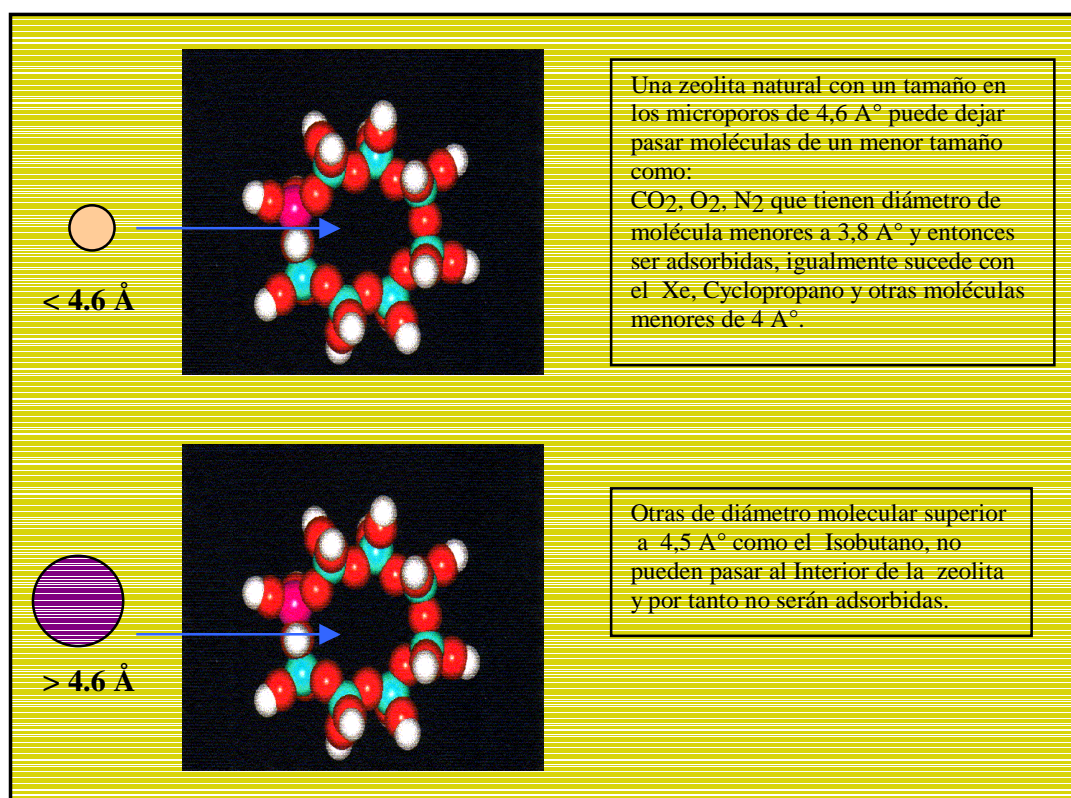


Fig 3.9 Mecanismo del tamiz molecular

Esta propiedad ha permitido desarrollar tecnología aplicando el método Pressure Swing Adsorption (PSA) para obtener gases puros como: O₂, N₂, Ar, H₂, etc.

3.2.4 Actividad catalítica

La actividad Catalítica es la alteración de la velocidad de una reacción química producida por la presencia de una sustancia adicional, llamada catalizador que no resulta químicamente alterada.

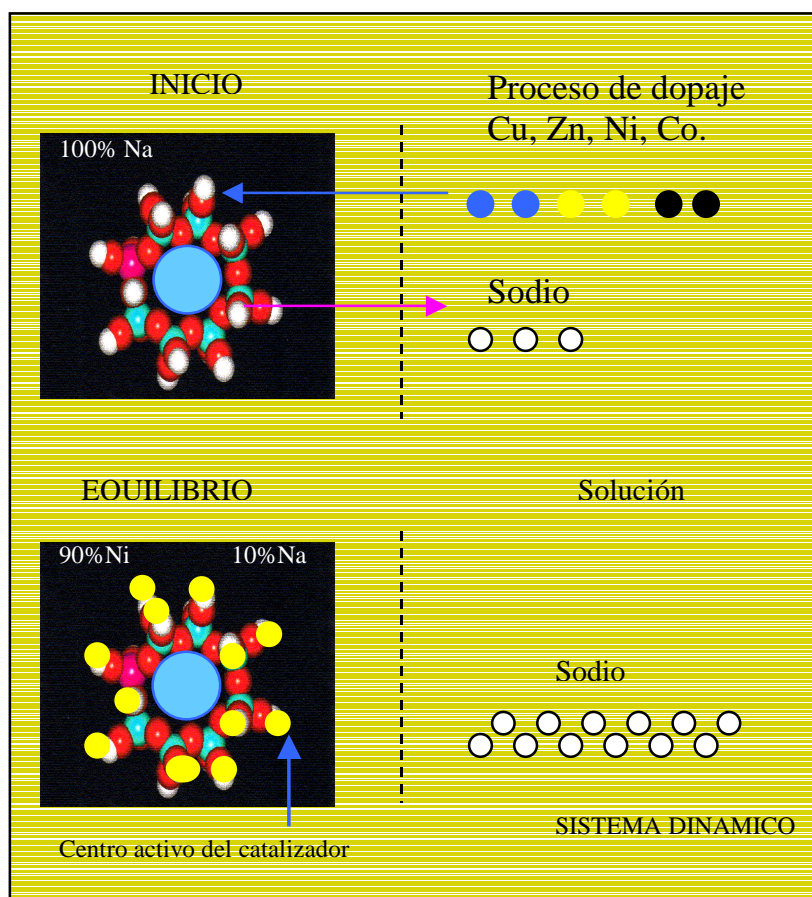


Fig 3.10 Preparación de un catalizador zeolítico

Las zeolitas activadas químicamente con cationes metálicos como Ni, Cu, Zn, Co, Pt. Son empleadas como catalizadores, que aceleran diferentes procesos químicos. Un ejemplo de catalizador heterogéneo es una zeolita del tipo mordenita dopada con platino que cataliza la reacción del monóxido de carbono con oxígeno para formar dióxido de carbono. Esta reacción se utiliza en los convertidores catalíticos acoplados a los automóviles, para eliminar el monóxido de carbono de los gases de escape al igual que los No_x , Co.

La industria petrolera aplica estas propiedades para los procesos de refinación del petróleo.

3.2.5 Actividad biológica

Las zeolitas naturales activan los procesos de fermentación por mecanismos aun no estudiados profundamente, así en la aplicación del biocompost los períodos de actividad de los microorganismos mesófilos y termófilos se ven acortados, igual sucede con los procesos de fermentación de leche o de la cerveza.

En la aplicación para el tratamiento de los fondos de las camaroneras (lodos), así como de los lodos activados los volúmenes de estos se disminuyen por lo menos en una tercera parte producto de la intensa actividad biológica que se desarrolla al utilizar la zeolita, la cual actúa como un catalizador enzimático.

3.3 Análisis químicos de laboratorio.

3.3.1 Medida de la temperatura de hidratación⁶

La hidratación de las zeolitas provoca un desprendimiento de calor característico, en particular para las variedades con porosidad alta.

El aumento de la temperatura, débil para la analcima (1 °C), alcanza 12 °C para la clinoptilolita y 23 °C para la chabasita. La temperatura es netamente más alta para ciertas zeolitas sintéticas (Tabla siguiente):

TABLA 3.5
TEMPERATURAS DE ZEOLITAS NATURALES, MINERALES ASOCIADOS Y ZEOLITAS SINTÉTICAS

40			Zeolita x
30	Chabasita		Zeolita A
20	Phillipsita		
15	Erionita		Mordenita
12	Mordenita		
10	Ferrierita		
10	Clinoptilolita	Bentonita	
5		Yeso	
5		Vidrio riolítico	
0	Analcima	Creta	
	Zeolitas naturales	Minerales asociados	Zeolitas Sintéticas

TABLA 3.6
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURAS
DE ZEOLITAS NATURALES

Zeolita	Porcentaje de pureza	Incremento de temperatura (°C)	
		Medida	Calculada para 100 g de zeolita
Chabasita	92	20.6	22.4
Phillipsita	84	16.6	19.8
Erionita	94	16.2	17.2
Mordenita	78	14.7	18.8
Ferrierita	60	8.0	13.3
Clinoptilolita	94	11.6	12.3
Analcima	90	0.7	0.8

Las zeolitas contienen poros intracristalinos, los cuales están interconectados a la superficie del cristal por puentes de 8,10 o 12 anillos de oxígeno.

Su estructura de cristal poroso, le proporciona altas capacidades de adsorción o inmersión (sobre 100 cal/g) y además la adsorción selectiva de las moléculas menores, tales como agua, CO₂ y otros.

La propiedad del alto calor de inmersión de las zeolitas y su diferencia notable con los valores de otros minerales, ha sido seleccionada como base para la determinación diagnóstica de la presencia de este mineral en las rocas, y eventualmente, para la determinación aproximada de su contenido, comparando el ΔT del patrón con su contenido, de zeolita conocido.

Cuando la muestra de interés corresponde a un nuevo yacimiento se puede tomar los siguientes parámetros:

TABLA 3.7
PARÁMETROS DE TEMPERATURA
PARA UN NUEVO YACIMIENTO

Incremento de temperatura °C	% de zeolita	Interés económico
De 4° a 8°	menor de 40%	casi nulo
De 8° a 20°	entre 60 y 80%	interesante
Mayor de 20°	100% rica en chabasita	muy interesante

3.3.2 Metodología para realizar calor de inmersión⁷.

La determinación del calor de inmersión en zeolitas naturales. Obedece al siguiente procedimiento que tiene por objeto describir un método que permite determinar la presencia y cuantificación indirecta de zeolita en las rocas de estudio.

Aparatos y utensilios.

- Balanza técnica monoplato con rango de precisión de 0,1 g.
- Termómetro de máxima rango, desde 0 a 50 °C , con rango de apreciación de 0,1 °C.
- Horno-Mufla para calentamiento controlado de tubos de ensayo (pirex), con temperaturas hasta 600°C y variación de $\pm 20^{\circ}\text{C}$.
- Tubos de ensayo Pirex con Tapa hermética.

- Pinzas antitérmicas
- Volumétrico 10 ml.
- Frasco lavador con agua potable.

Muestra.

La muestra esta condicionada de acuerdo a una granulometría entre 1mm a 100 μ m

Procedimiento

- Pese 5,0 gramos de la muestra e introdúzcalos en el tubo de ensayo.
- Coloque el tubo de ensayo en el horno – mufla y caliente la muestra hasta 350 °C manteniéndolo durante 3 horas a esa temperatura.
- Tape los tubos de ensayo y póngalos a enfriar al medio ambiente.
- Una vez la muestra fría, destape el tubo e introduzca el termómetro de máxima, eche a continuación 10 ml de agua (a la cual se le ha determinado su temperatura previamente y anotada como t_1), agite suave y cuidadosamente. Todos los pasos de esta operación deben ser realizados muy rápido a partir del momento en que se destapa el tubo de ensayo.
- A continuación anote la temperatura que alcanzo el termómetro de máxima, como t_2 , la temperatura alcanzada es función:
 - Del tipo de zeolita.
 - De su contenido en la muestra.

Cálculos y expresión de los resultados

Calcule el valor de la diferencia de temperatura (ΔT), entre la temperatura alcanzada por el termómetro de máxima (t_2) menos temperatura del agua (t_1).

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

Evaluación de los resultados.

La muestra que contengan valores de ΔT superiores a 8 °C se consideran rocas con interés industrial para su aplicación como material zeolítico. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 3.8
RESULTADOS DE ΔT

MUESTRA	ΔT	% Z	Evaluación
JN001	9,8	61	+ Z
JN002	9,6	60	+ Z
JN003	6	38	+ C
JN004	4	25	+ C
JN005	6	38	+ C
JN006	5	31	+ C
JN007	4	25	+ C
JN008	9,7	61	+ Z
JN009	5	31	+ C
JN010	5	31	+ C
JN011	6	38	+ C
JN012	4.8	30	+ C

JN013	7,6	48	+ C
JN014	8.8	55	+ Z
JN015	8	50	+ Z
JN016	7	44	+ C
JN017	8	50	+ Z
JN018	4	25	+ C
JN019	5	31	+ C
JN020	4	25	+ C
JN021	9.5	59	+ Z
JN022	9.6	60	+ C
JN023	8.1	51	+ C
JN024	4	25	+ C
JN025	5	31	+ C
JN026	3	19	+ C
JN027	11,2	70	+ Z
JN028	5	31	+ C
JN029	16.5	100	+ Z
JN030	5	31	+ C
JN031	7.04	44	+ C
JN032	6.08	38	+ C
JN033	9.44	59	+ Z
JN034	8.96	56	+ Z
JN035	5.44	34	+ C
JN036	8.96	56	+ Z
JNC1	7.68	48	+ C
JNC2	9.6	60	+ Z
JNC3	5.76	36	+ C
MF8	4	25	+ C

MF9	3	19	+ C
MF10	3	19	+ C
MF11	5	31	+ C
MF12	3	19	+ C
MF13	3	19	+ C
MF14	4	25	+ C
MF15	4	25	+ C
MF16	9,5	59	+ Z
MF17	7	44	+ C
MF18	2	13	+ C
MF19	4	25	+ C
MF20	4	25	+ C
MF21	4	25	+ C
MF22	8.1	51	+ Z
MF23	4	25	+ C
MF24	8,7	54	+ Z
MF27	8	50	+ Z
MF27A	6	38	+ C
MF28	4	25	+ C
MF29	4	25	+ C
MF30	8,6	54	+ Z
MF31	10	63	+ Z
MJMF32	4	25	+ C
MJMF33	8	50	+ C
MJMF34	4	25	+ C
MJMF35	12,7	79	+ Z
MJMF 36	8.9	56	+ Z

3.3.3 Metodología para realizar la determinación de la capacidad de intercambio catiónico total⁸.

A continuación se menciona todo lo concerniente de la metodología para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de zeolitas naturales.

Fundamento del método.

La porción de ensayos se trata con una disolución de acetato de amonio, el catión amonio es el encargado de sustituir en la red cristalina de la zeolita, a los cationes intercambiables, básicamente calcio, sodio, potasio y magnesio. Una vez lavada la muestra con alcohol para eliminar residuos reactivos, se trata con una disolución de cloruro de potasio con el fin de desplazar el amonio de la red cristalina de la zeolita. Finalmente se determina el contenido de amonio en la disolución por el método Nessler.

Reactivos Químicos.

- Acetato de amonio 1 N ajustada a pH = 7 (Ver anexo 8.3)
- Cloruro de Potasio (KCl) al 10% (P/ V)
- Etanol al 80%
- Ácido acético glacial
- Hidróxido amónico concentrado
- Reactivo de Nessler (Ver anexo 8.3)

Aparatos, utensilios y medios de medición.

- Centrífuga
- Equipo de Absorción atómica.
- Espectrofotómetro para análisis colorimétrico.
- Balanza Analítica, monoplato con precisión de 0.0001 gr.
- Phímetro o indicador azul de brotimol.
- Agitador en planta de imán
- Matraces aforados con tapa de 1000, 500 y 100 ml.
- Tubos de vidrio para centrifuga.
- Pipetas, vasos de precipitación, probetas, etc.

Preparación de la muestra de ensayo.

La muestra de ensayo se micropulveriza totalmente bajo malla 325 (45 μm).

Procedimiento analítico.

- Se pesa 0.5 g. de muestra de ensayo colocándola en un tubo de vidrio de centrifuga con tapa, el cual se acomode a la centrifuga.
- Se añaden 30 ml. de solución 1 N de acetato de amonio y se agita en un agitador mecánico durante 15 minutos.
- Centrifugar 5 minutos a 2500 rpm. Y separar el licor en un matraz aforado de 100 ml.

- Añadir nuevamente 30ml de la solución de acetato de amonio y agitar 5 minutos, centrifugar 5 minutos a 2500 rpm y recoger el licor.
- Repetir el paso anterior recogiendo el licor y enrasarlo a 100 ml con la solución de acetato de amonio y guardarlo. Esta solución sirve para realizar las determinaciones de los cationes intercambiables, valorándolo mediante absorción atómica.
- Lavar el sólido que queda en el paso anterior, 3 veces con 30 ml de alcohol al 80% agitando por 30 seg; y centrifugando 2.5 min a 2500 rpm.
- Tratar el sólido del paso anterior siguiendo desde el segundo al quinto paso anteriores, añadiendo 30 ml de KCl al 10% y recogiendo los tres licores en un erlenmeyer de 100 ml con tapa y enrasarlo con la misma solución de KCl al 10%. Esta solución sirve para determinar la concentración de amonio mediante espectrofotometría.
- A los licores del paso anterior se le determina la concentración de amonio mediante el método Nessler:
- Preparar 4 muestras estándar (0.150, 0.300, 0.750 y 1.500 mg/l de concentración) de NH_4^+ para elaborar la curva de calibración.
- Colocar 1 ml de muestra en un erlenmeyer de 100 y enrasar con agua destilada (dilución 1:100).
- Colocar 50 ml de solución diluída en un vaso de precipitación, añadir una gota de reactivo EDTA para deprimir el calcio. Hacer el mismo

procedimiento para 50 ml de agua destilada para medir el blanco en el espectrofotómetro.

- Añadir 2 ml de reactivo Nessler y agitar.
- Medir en el espectrofotómetro.

Cálculos y expresión de los resultados

a) Cationes intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

TABLA 3.9
DATOS DEL ESPECTROFOTÓMETRO
DE CATIONES INTERCAMBIABLES

Muestra	Na (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)
JN001	0.1	0.109	0.135	1.177
JN028	0.028	0.116	0.278	1.249
JN029	0.090	0.151	0.214	1.177
MF 10	0.038	0.038	0.060	3.88
MF 17	0.036	0.023	0.183	0.889
MF 22	0.055	0.036	0.095	0.865

b) Capacidad de Intercambio catiónico total (NH_4^+)

Para determinar la capacidad de intercambio catiónico total NH_4^+ total en meq / 100 gr., se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{NH}_4^+ \text{ total} = \frac{C/10}{A * B} * 100 \quad (\text{meq}/100 \text{ g})$$

Donde :

A : Peso molecular de NH_4 (18).

B : Peso de la muestra original (0.5 g).

C/10 : Concentración de NH_4 en la muestra expresado en mg/100

100 : Para expresar en 100 g de muestra.

TABLA 3.10
VALORES DE AMONIO TOTAL EN LAS MUESTRAS

Muestra	Concentración NH_4^+ (mg/l)	NH_4^+total (meq/100g)
JN001	82.45	91.61
JN028	95.88	106.53
JN029	92.52	102.8
MF 10	30.186	33.54
MF 17	72.92	81.0
MF 22	63.23	70.26

⁶ Dr. Luis Enrique Ortiz Hernández

⁷ Instituto de Ciencias Químicas-ESPOL

⁸ Laboratorio centralizado de la ETSIM-UPM

3.4 Identificación de las zeolitas naturales existentes en el Parque Tecnológico del Campus Gustavo Galindo Velasco-ESPOL.

Con el propósito de confirmar toda la información obtenida por los análisis químicos a las zeolitas naturales se procedió a la selección de muestras para su respectiva preparación y análisis por difracción de rayos X, para así, identificar y caracterizar los minerales zeolíticos y minerales accesorios.

Los análisis de las muestras se desarrollo en cooperación con dos Instituciones de Educación Superior:

1.- En la Universidad de la Plata-Argentina, Facultad de Ciencias Exactas se desarrollaron análisis instrumentales con los siguientes equipos:

- El equipo de RX pertenece al CIG (Centro de Investigaciones Geológicas), y el microscopio electrónico al (CINDECA) Centro de investigación y desarrollo en procesos catalíticos, de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de La Plata.

2.- En la Universidad Politécnica de Madrid-España,

- Equipo de RX Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (ETSIM).
- Espectrofotómetro de absorción atómica PU9100X perteneciente al departamento de Ingeniería Química de la (ETSIM)

3.4.1 Difractometría de Rayos X

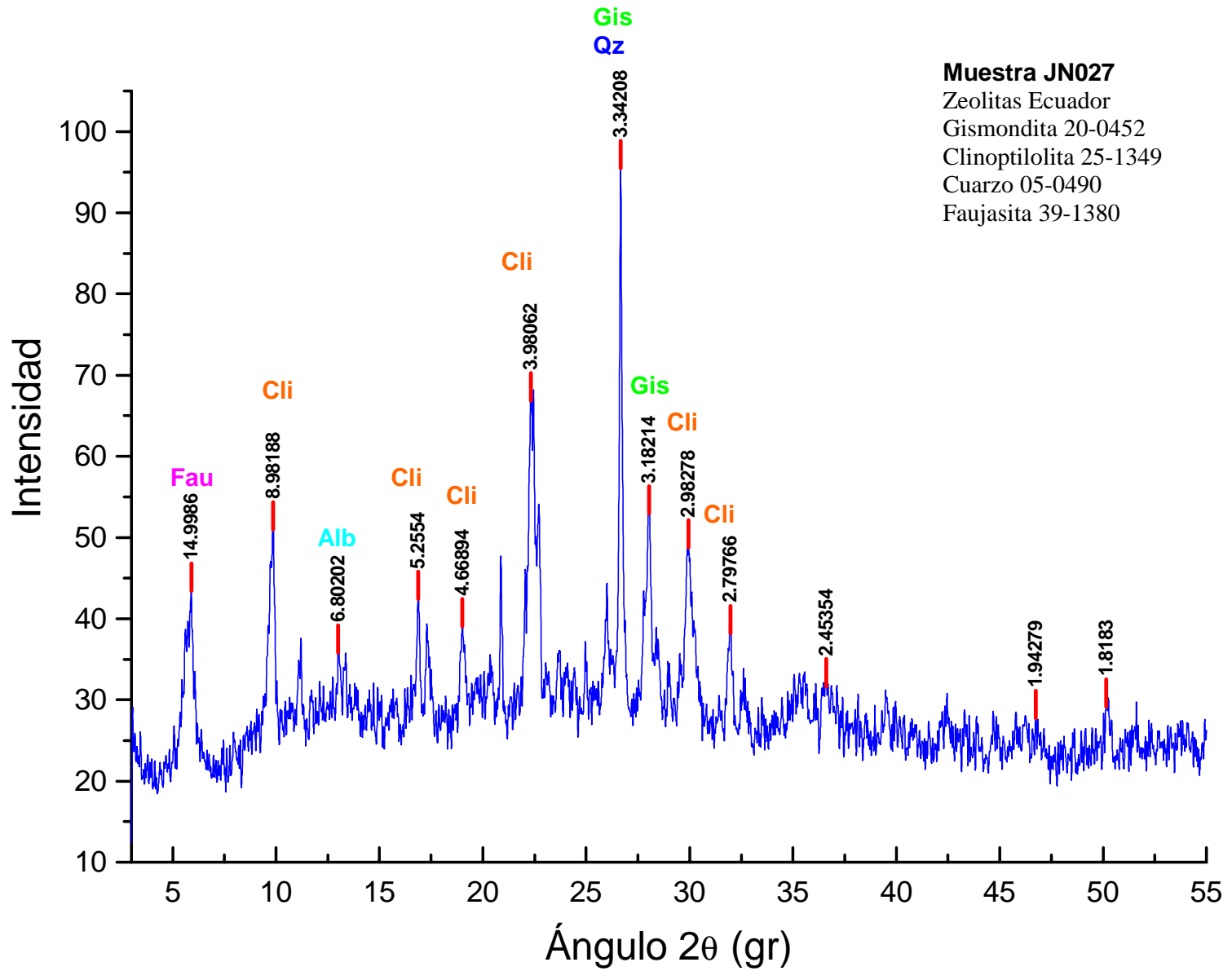
En los análisis de difractometría de rayos X, realizados en las zeolitas presentes en la ESPOL se han identificado diferentes tipos de zeolitas, que son: la clinoptilolita, la mordenita, la estilbita, Gismontita y Faujasita., pero también se tiene indicadores de Laumontita.

El conocimiento de la estructura de las zeolitas es de vital importancia para poder comprender sus propiedades y en consecuencia sus aplicaciones.

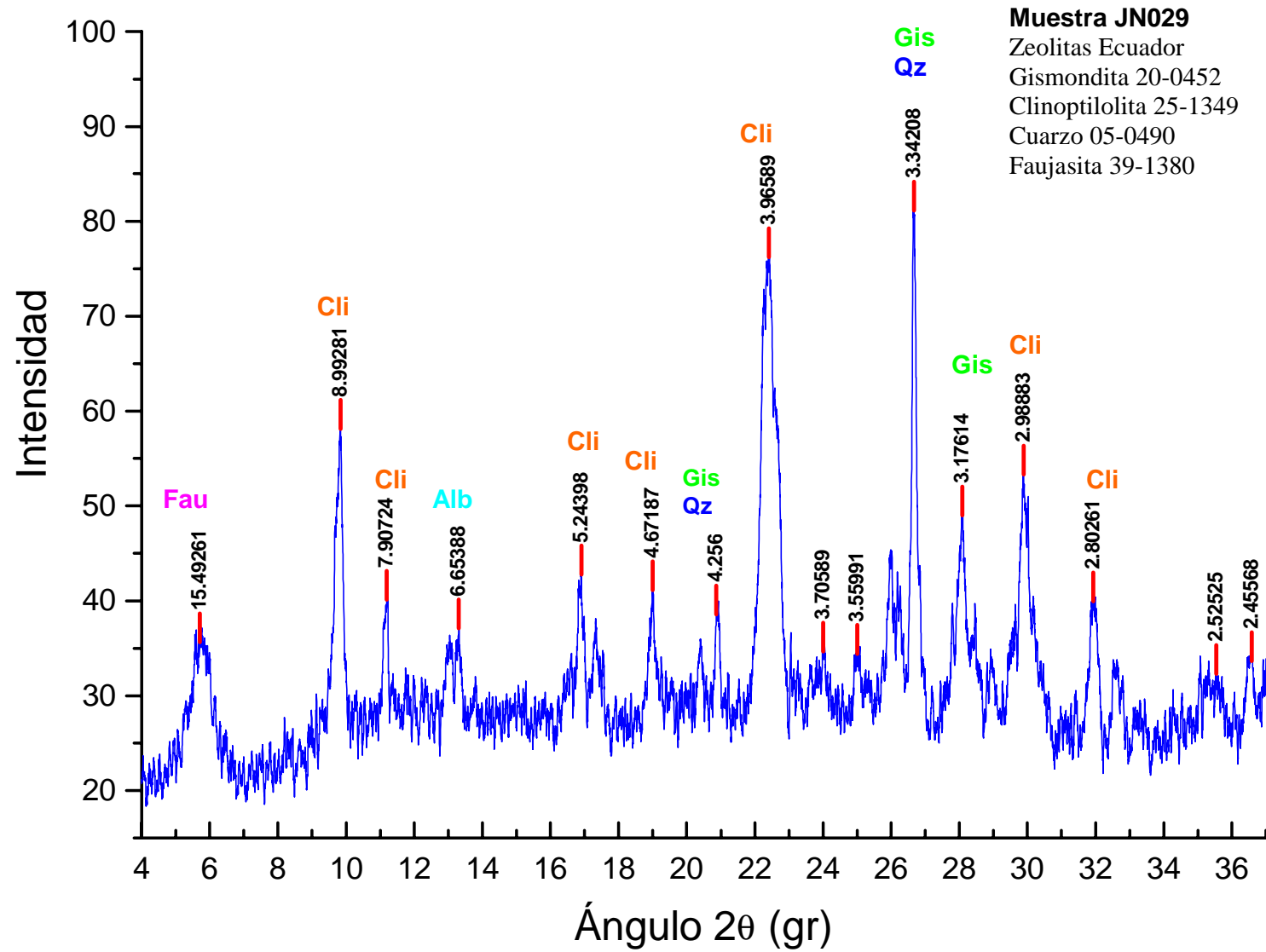
La identificación por DRX que se llevo a cabo en la Universidad de la Plata es mediante el empleo de un difractómetro Phillips Pw 1011/00, 36kv 18mA; goniómetro; Pw 1050/25; Tubo de Cu: radiación $K\alpha$, $\lambda=1.5414^\circ$ Filtro de Ni, Pw 2233/20, scanning speed $2^\circ 2\theta/\text{minuto}$. Software **origen.5**

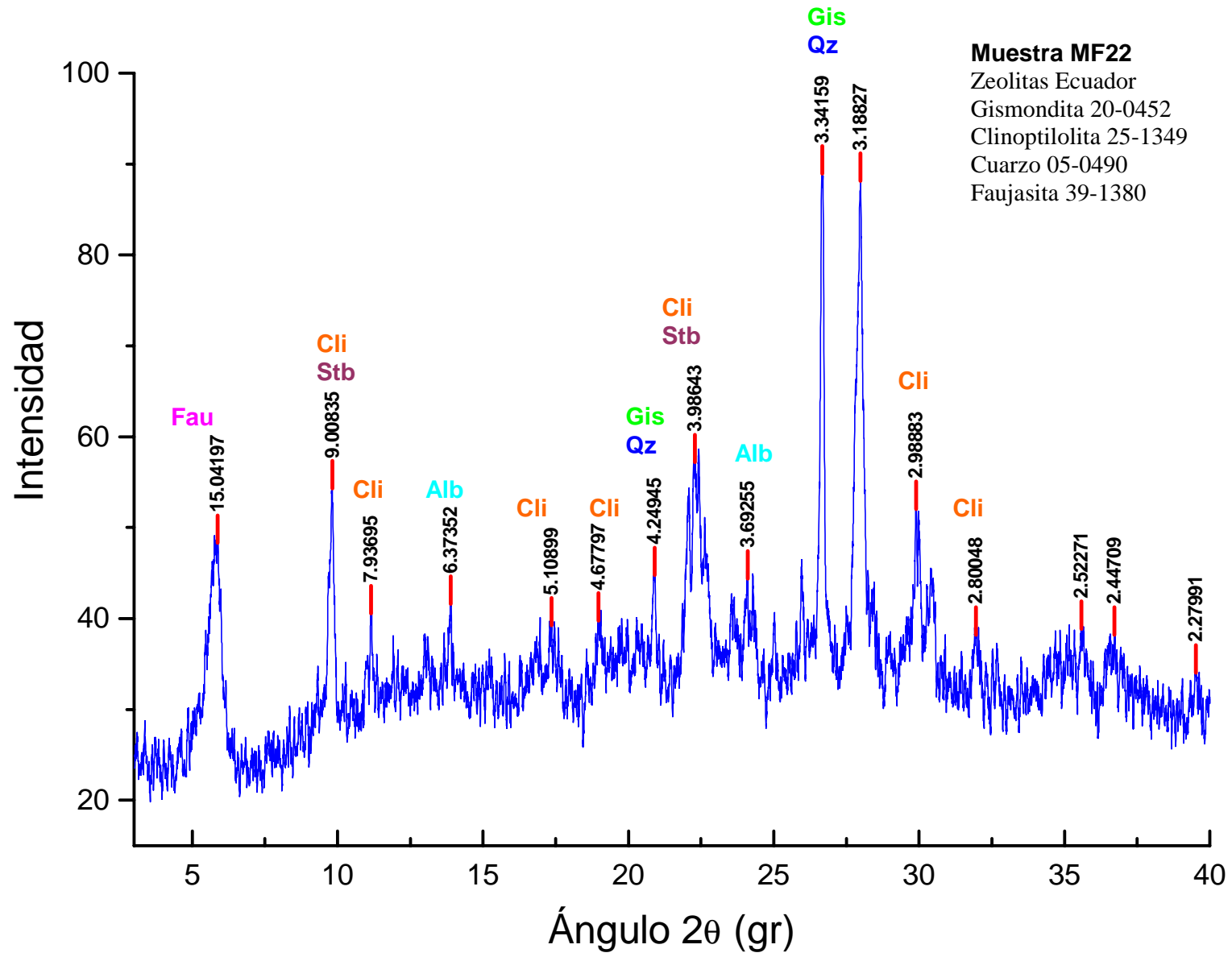
La identificación de DRX que se llevo en la Universidad Politécnica de Madrid en el laboratorio centralizado de la ETSIM, mediante el uso de un difractómetro Phillips Pw 1710, 40kv 50mA; Tubo de Cu: radiación 1.54060 1.54438; rango de 2θ 4.000-60.000 los resultados obtenidos en la UPM se exponen en el anexo A.

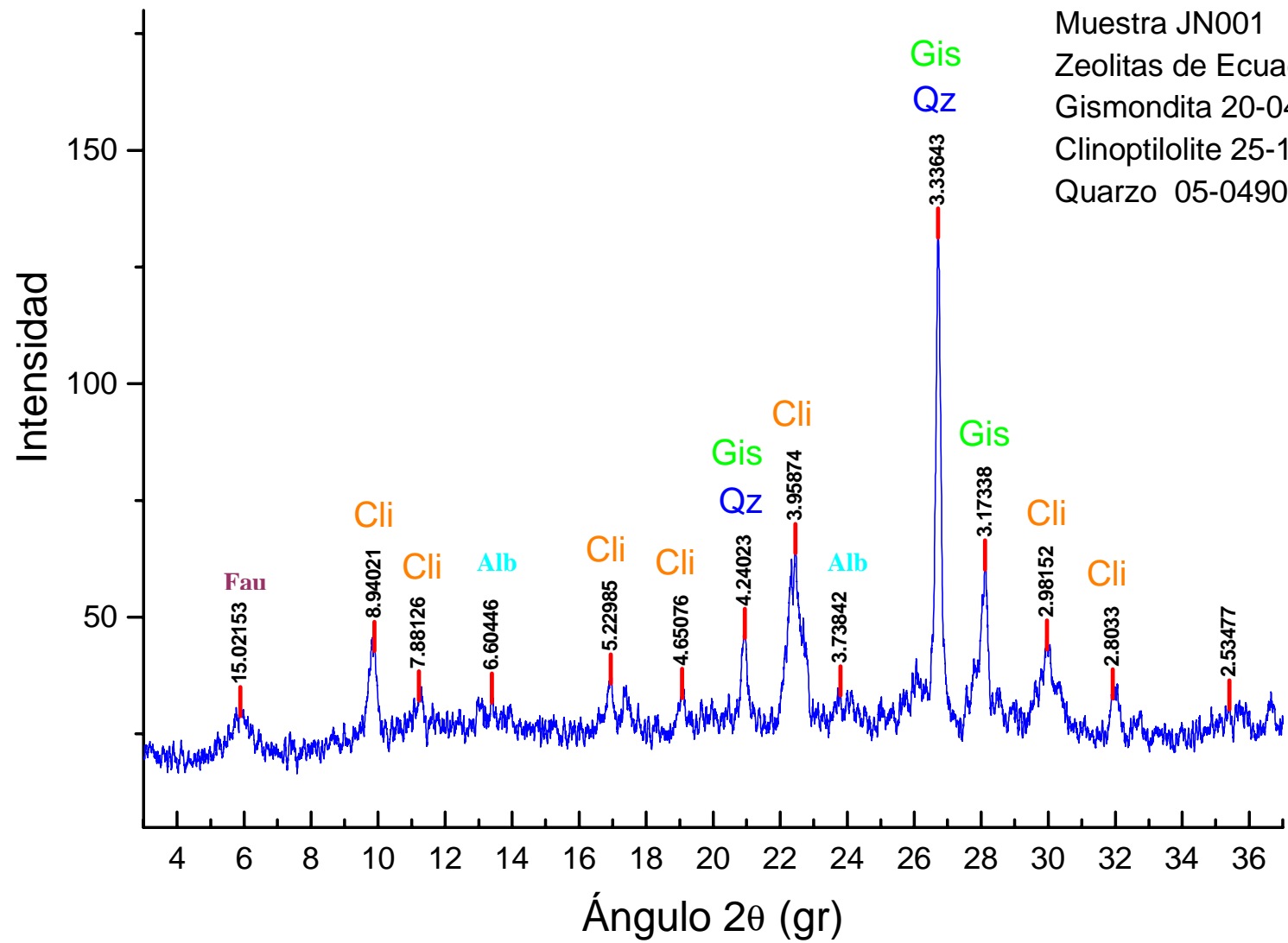
A continuación se muestra difractometría analizadas en la Universidad de la Plata (Argentina).

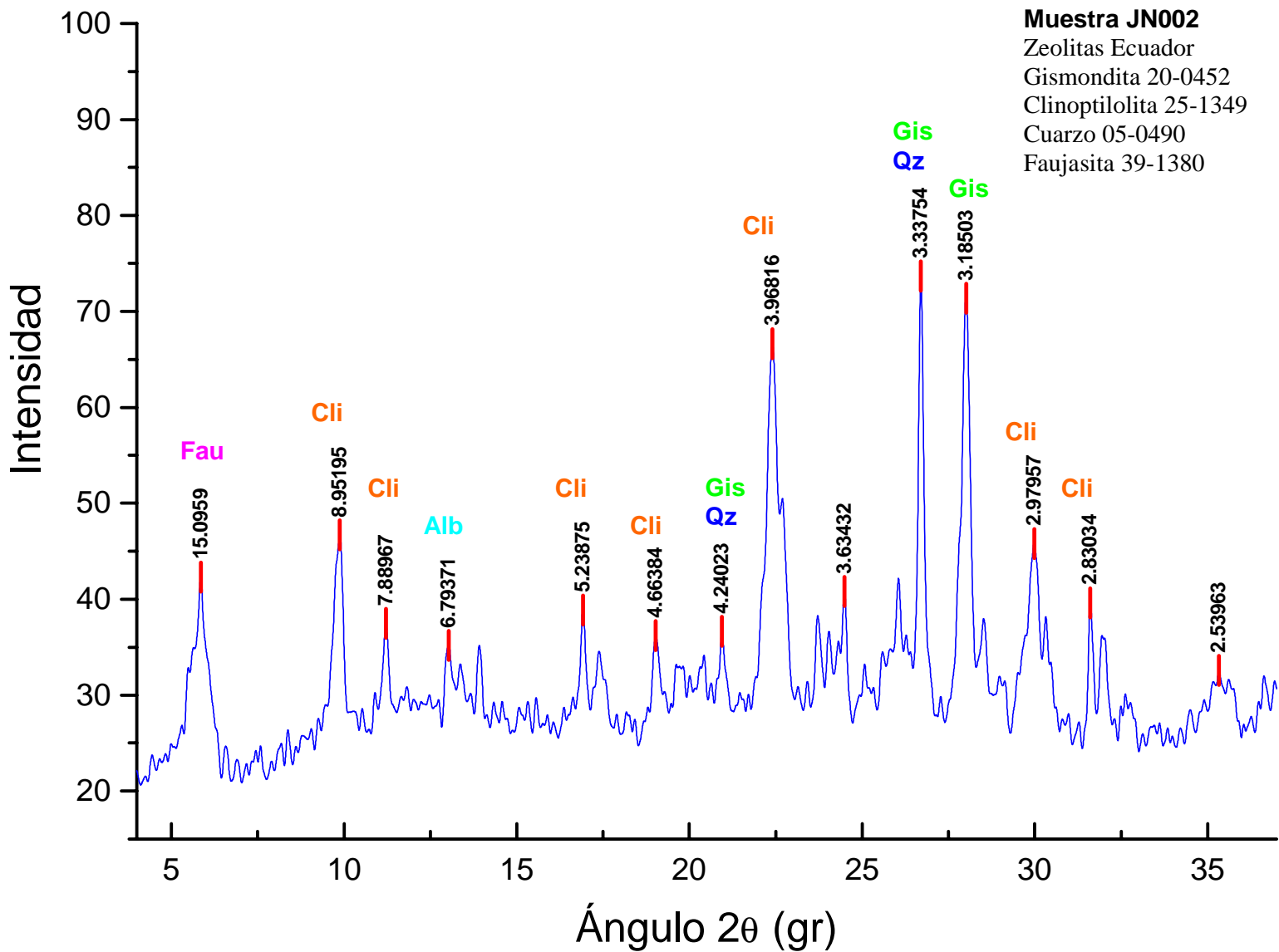


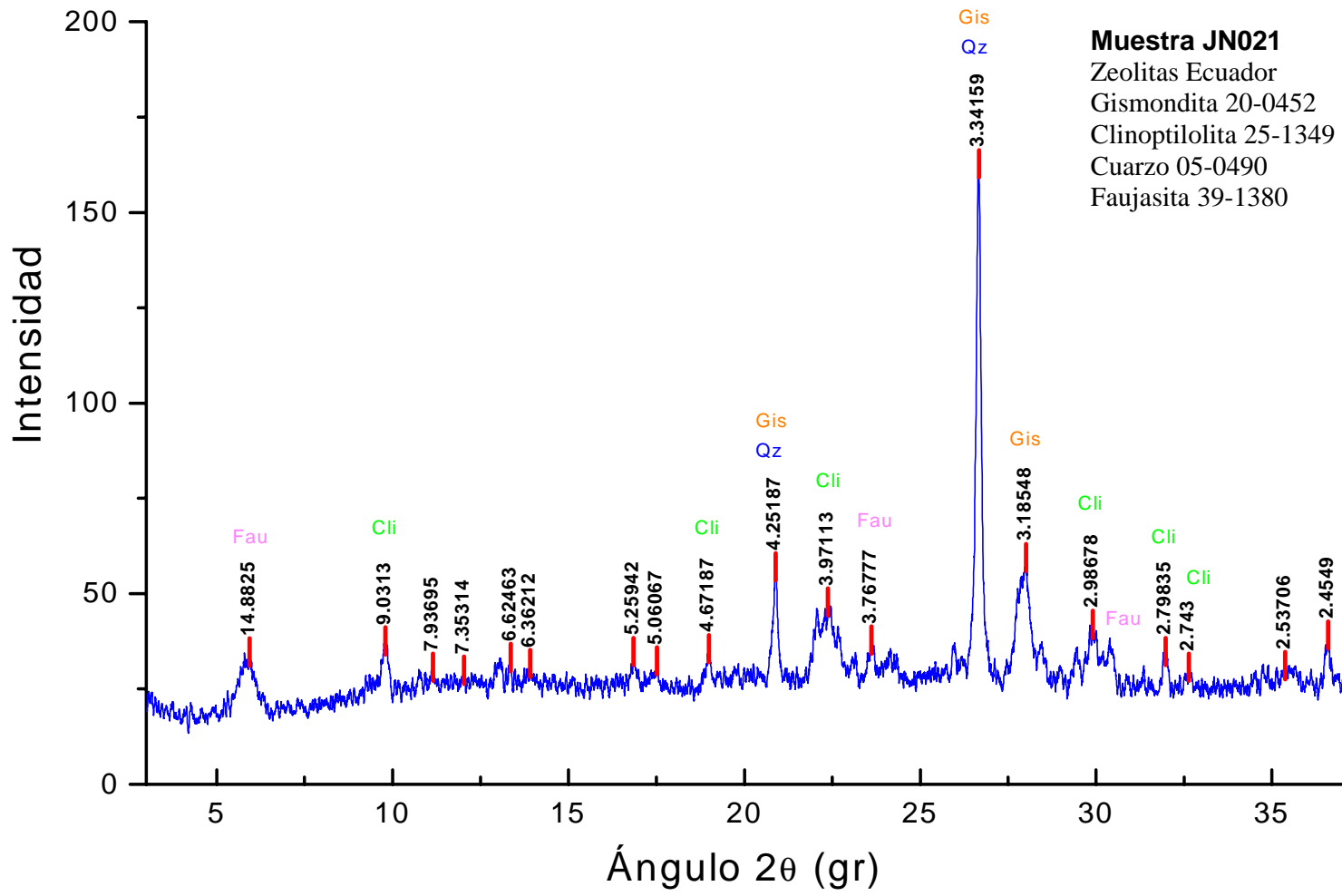
Muestra JN027
Zeolitas Ecuador
Gismondita 20-0452
Clinoptilolita 25-1349
Cuarzo 05-0490
Faujasita 39-1380

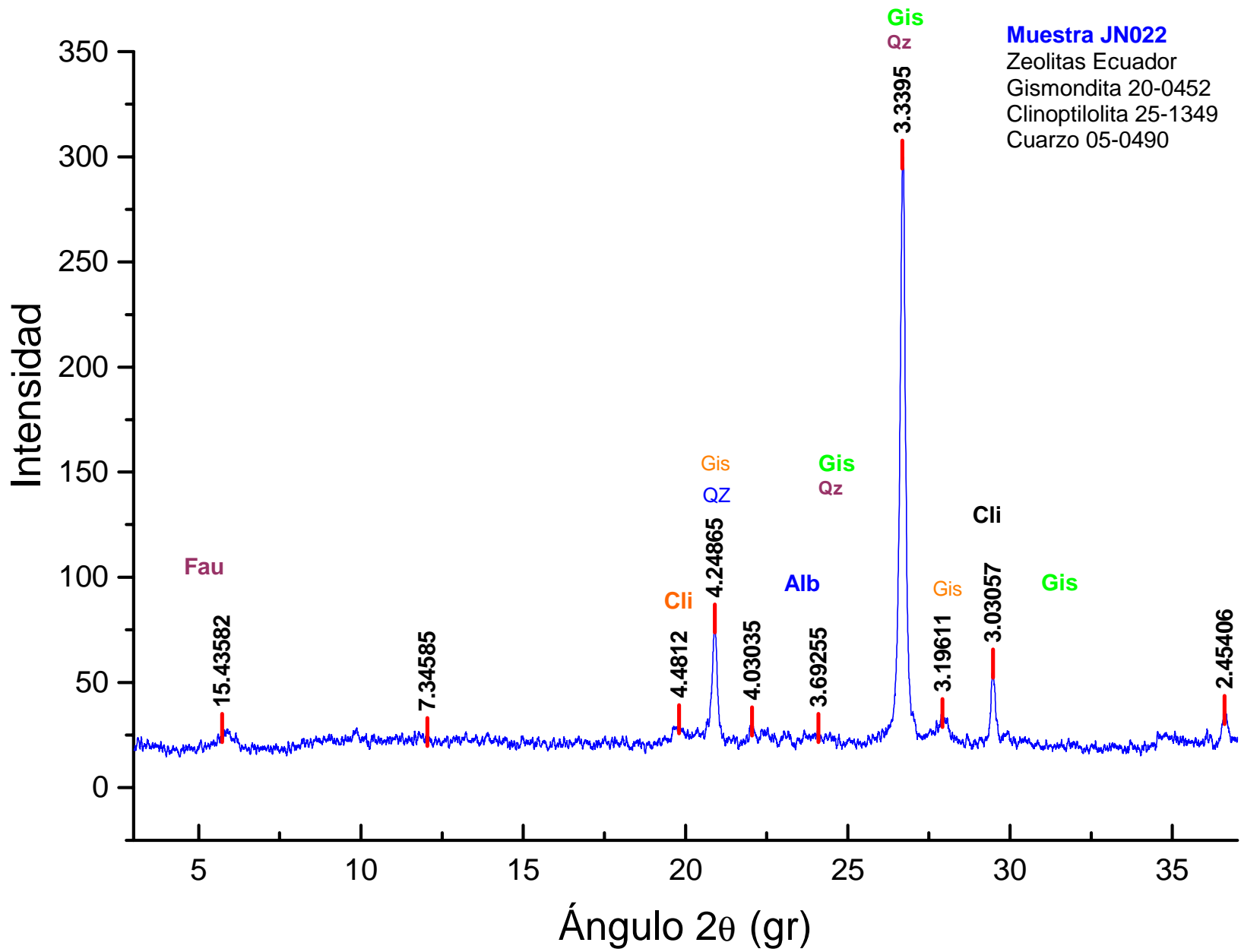


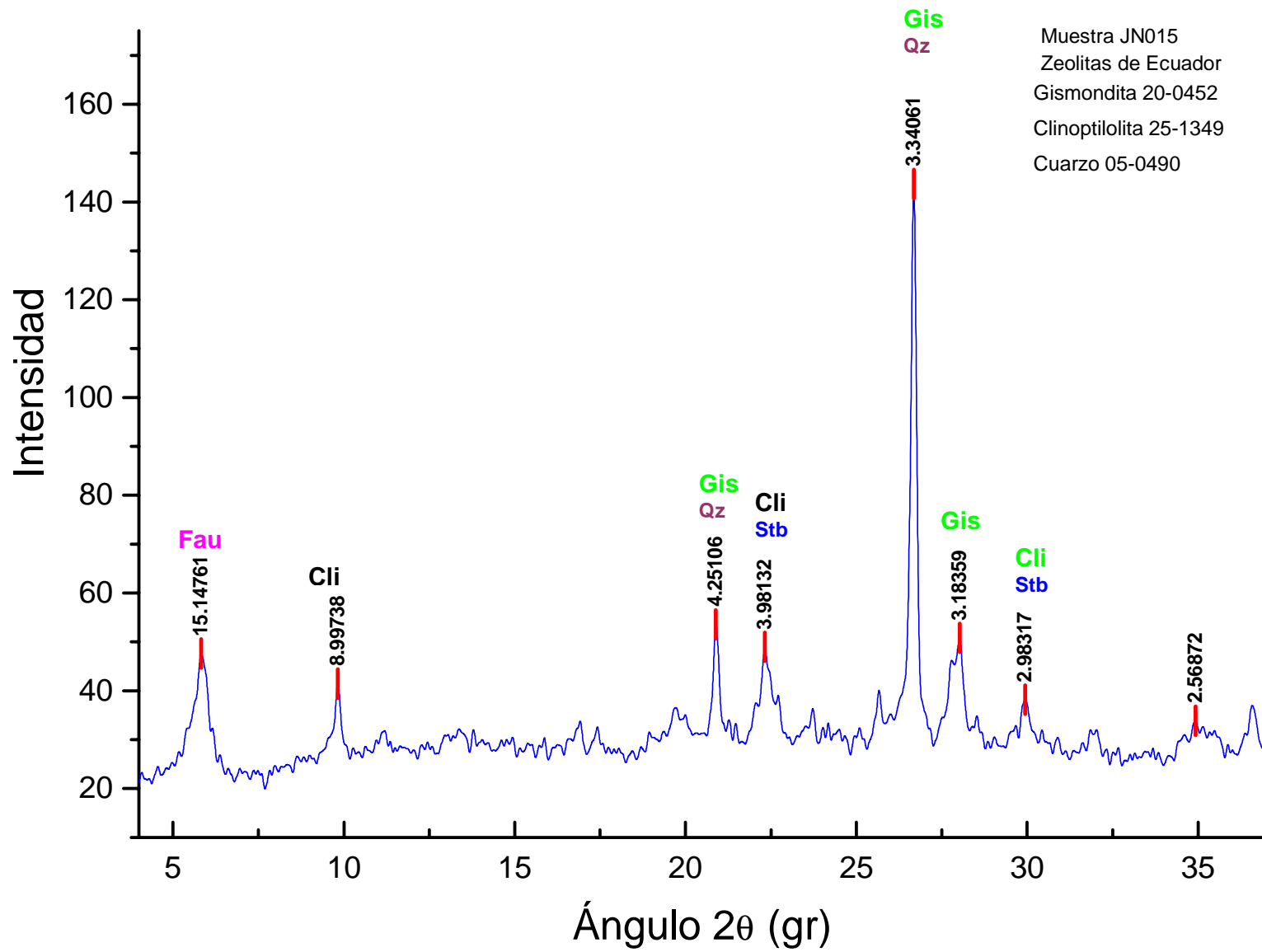


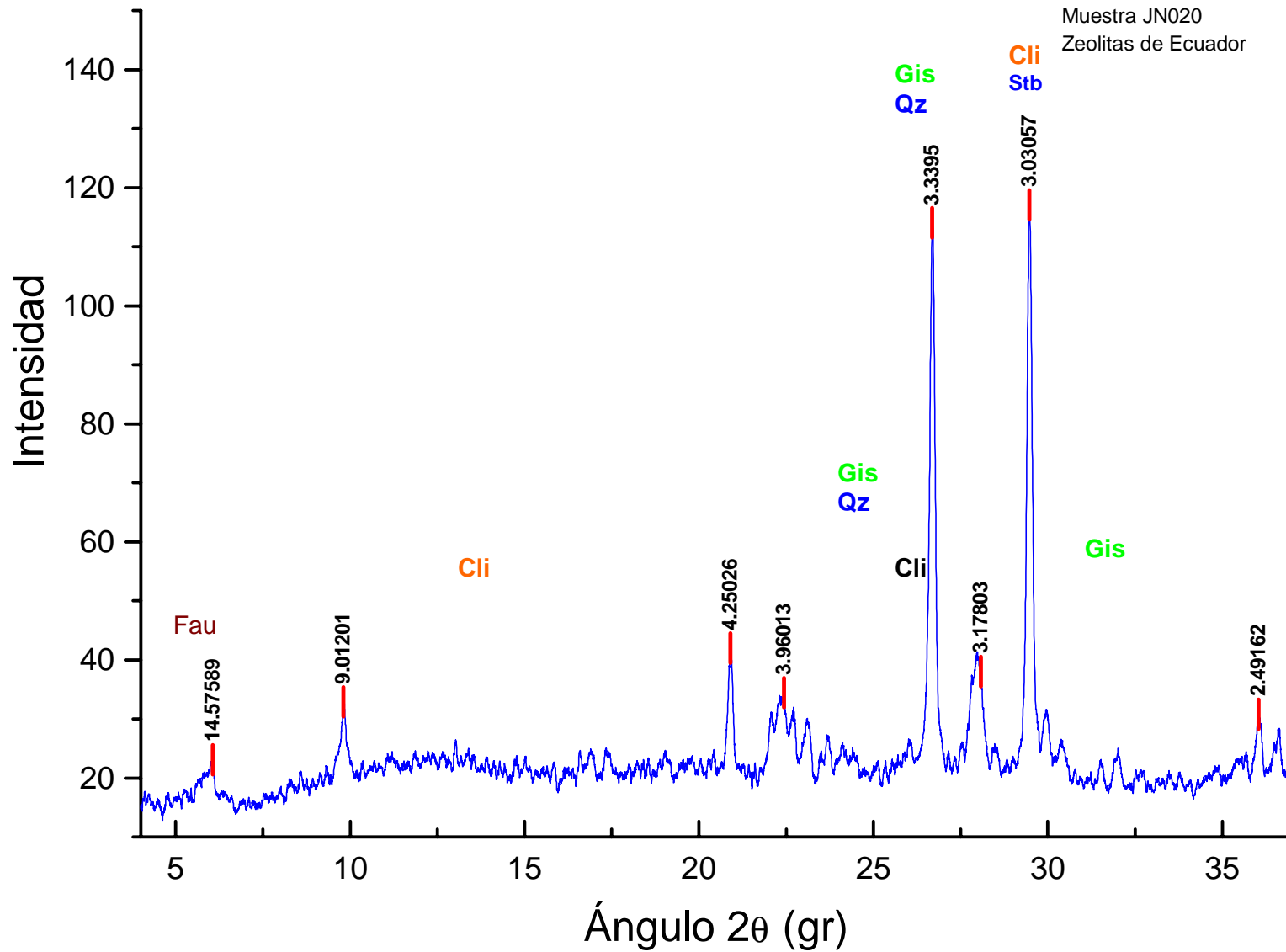


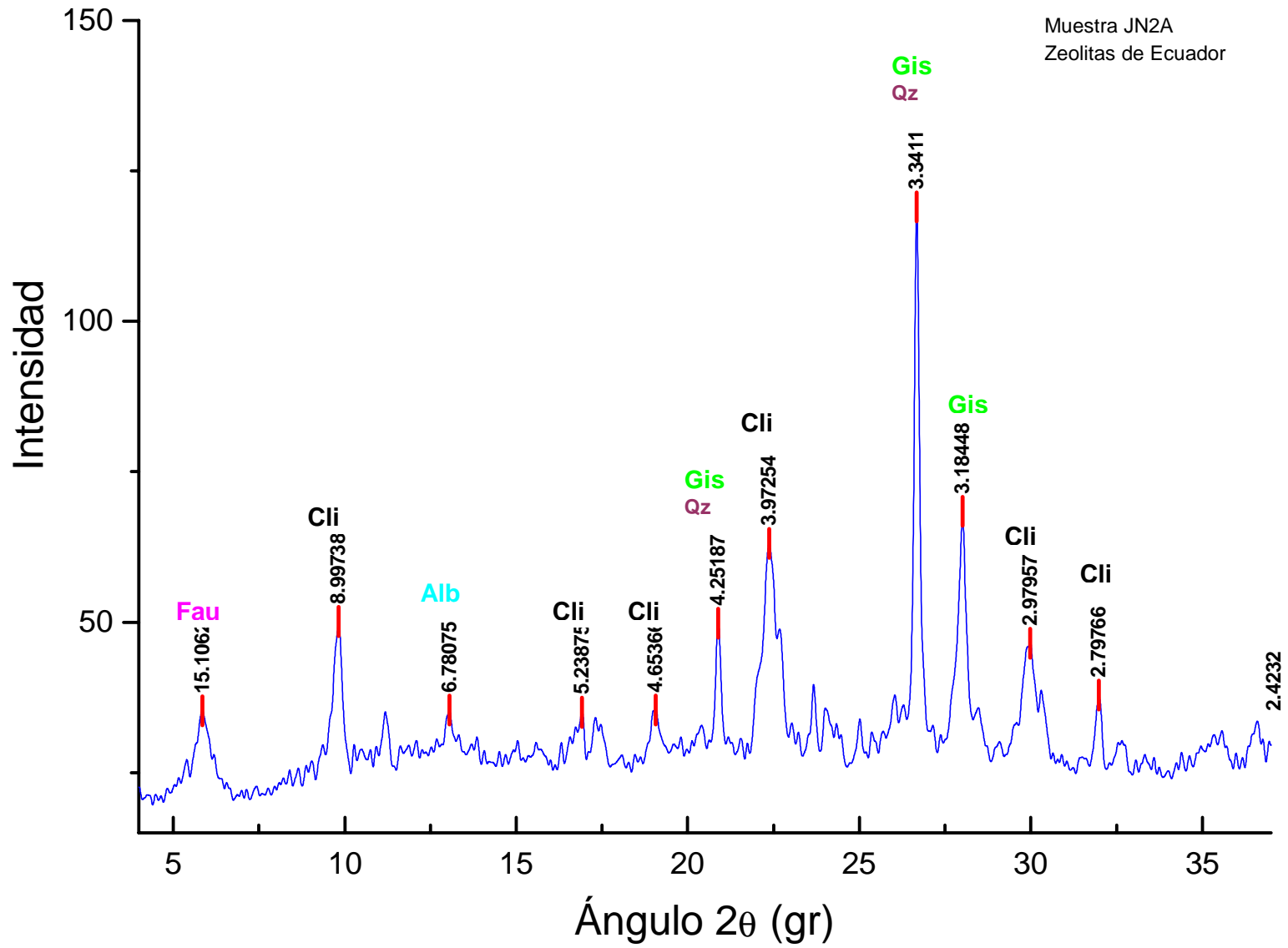


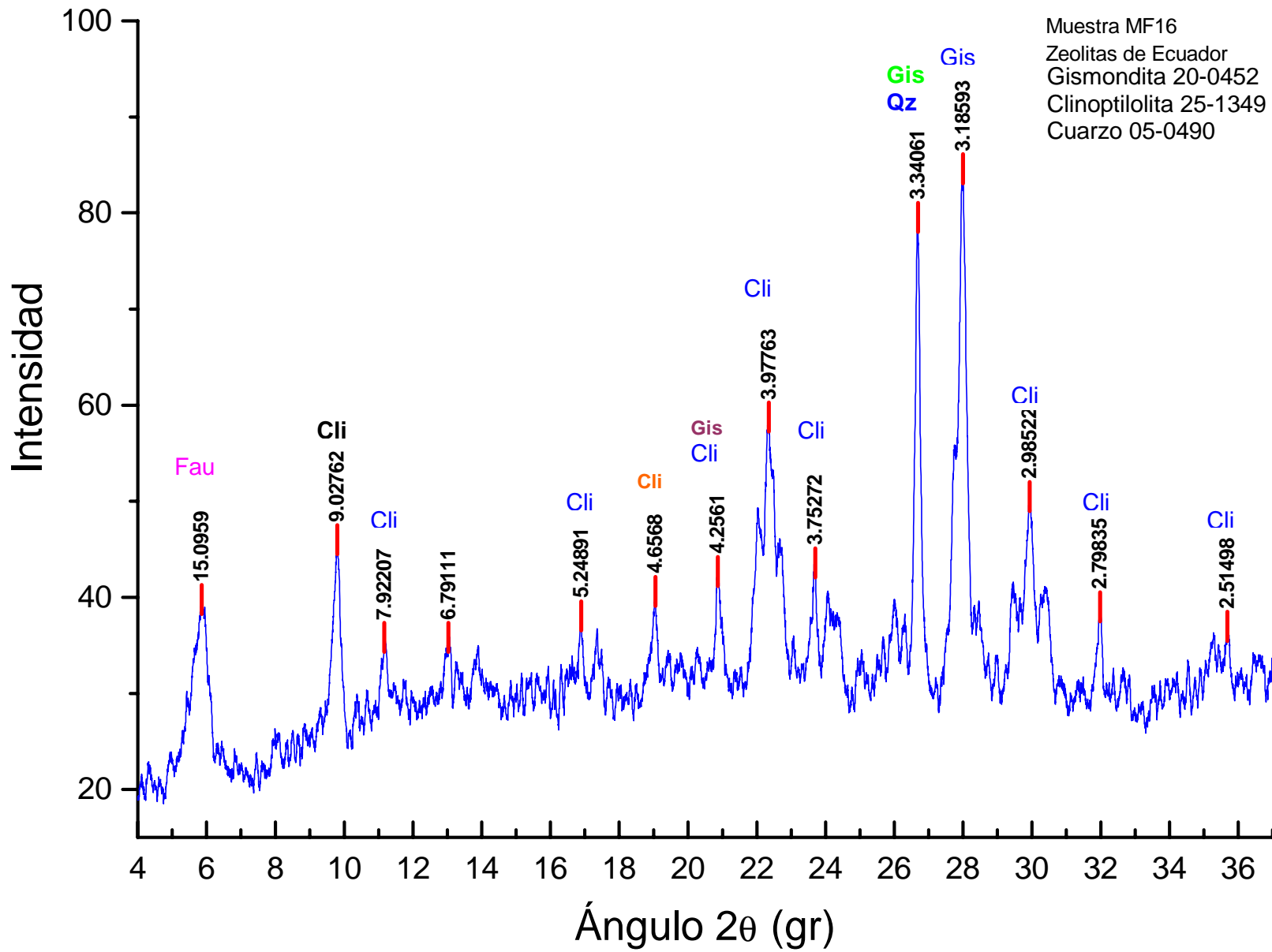


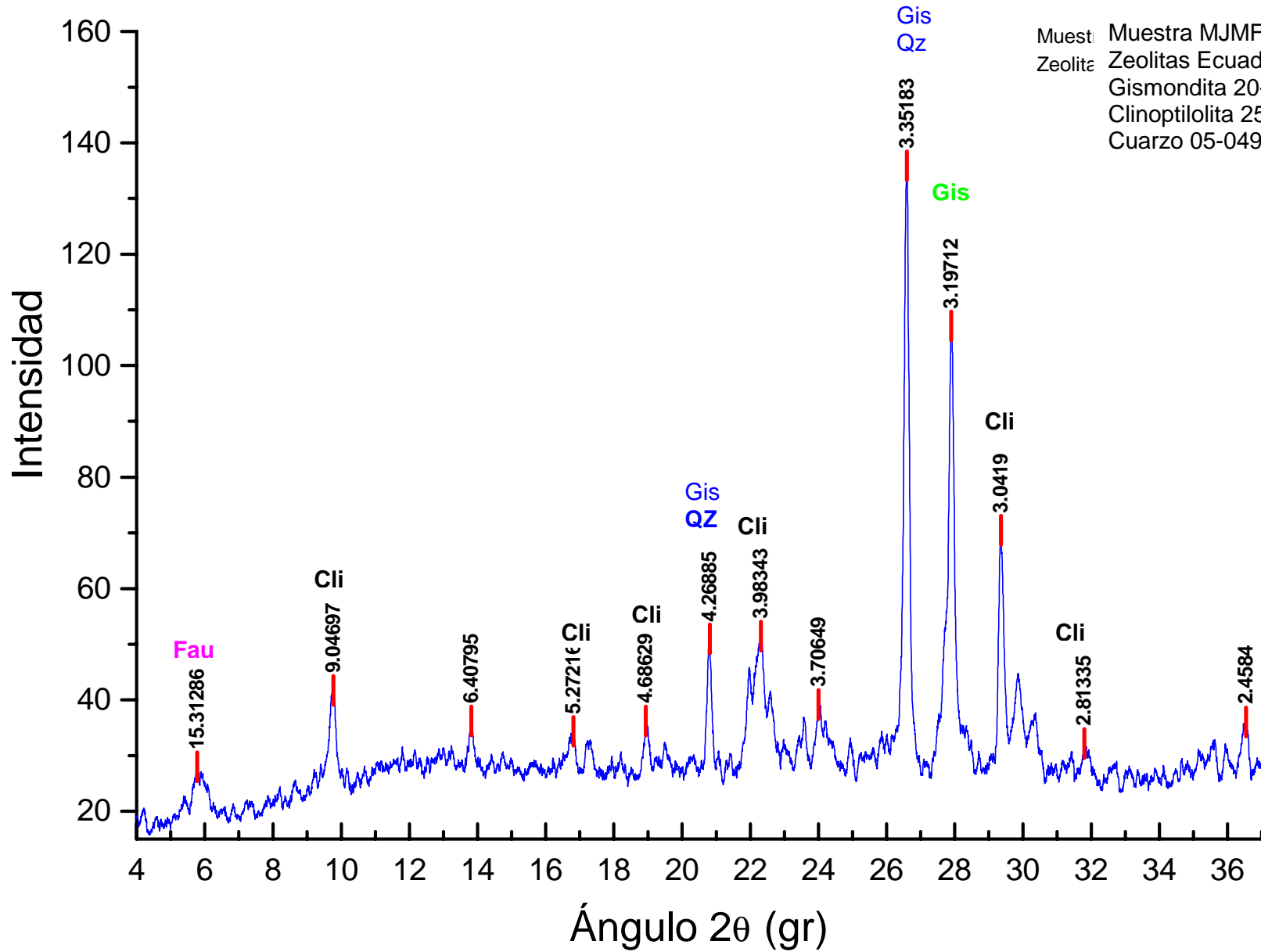




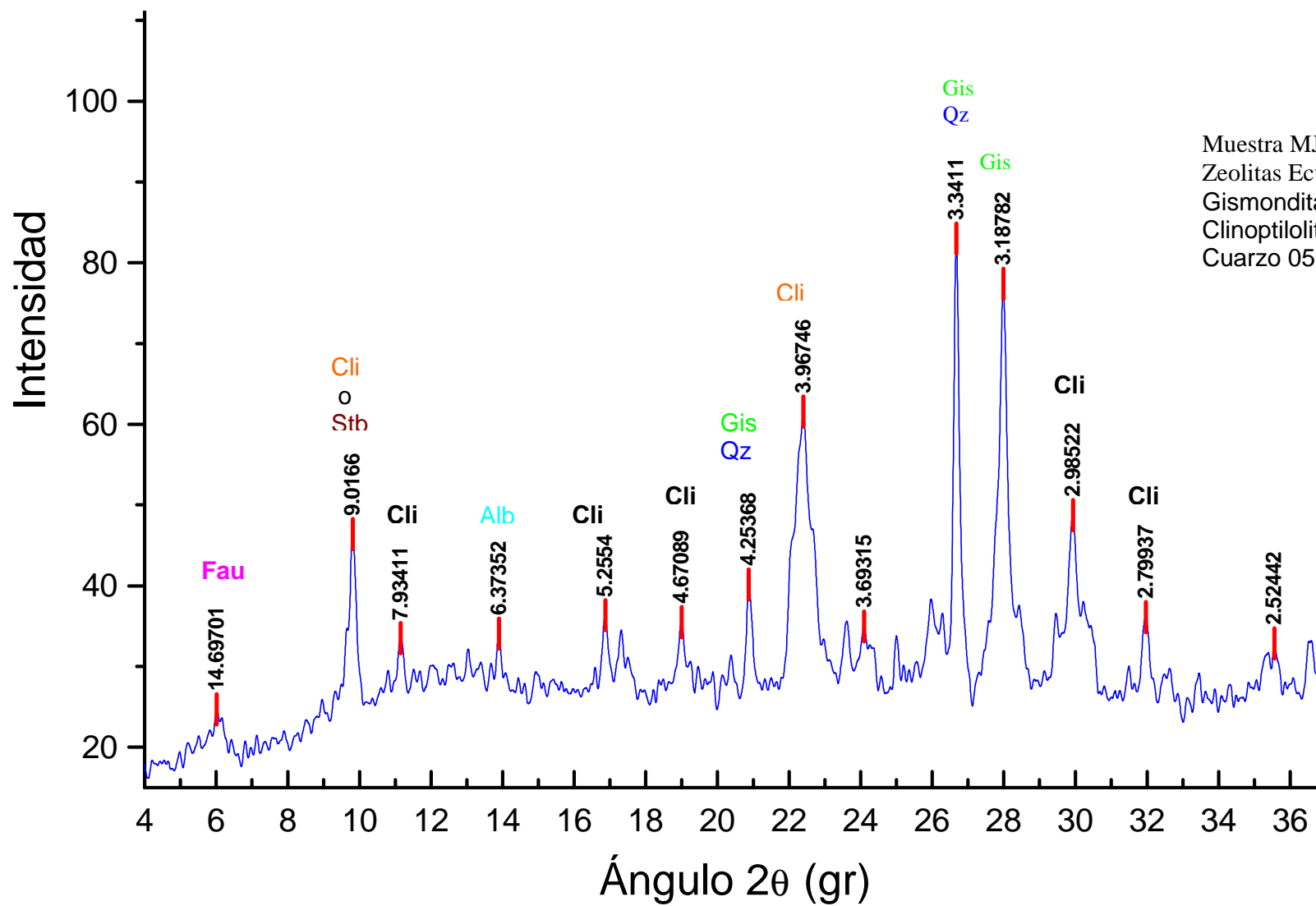




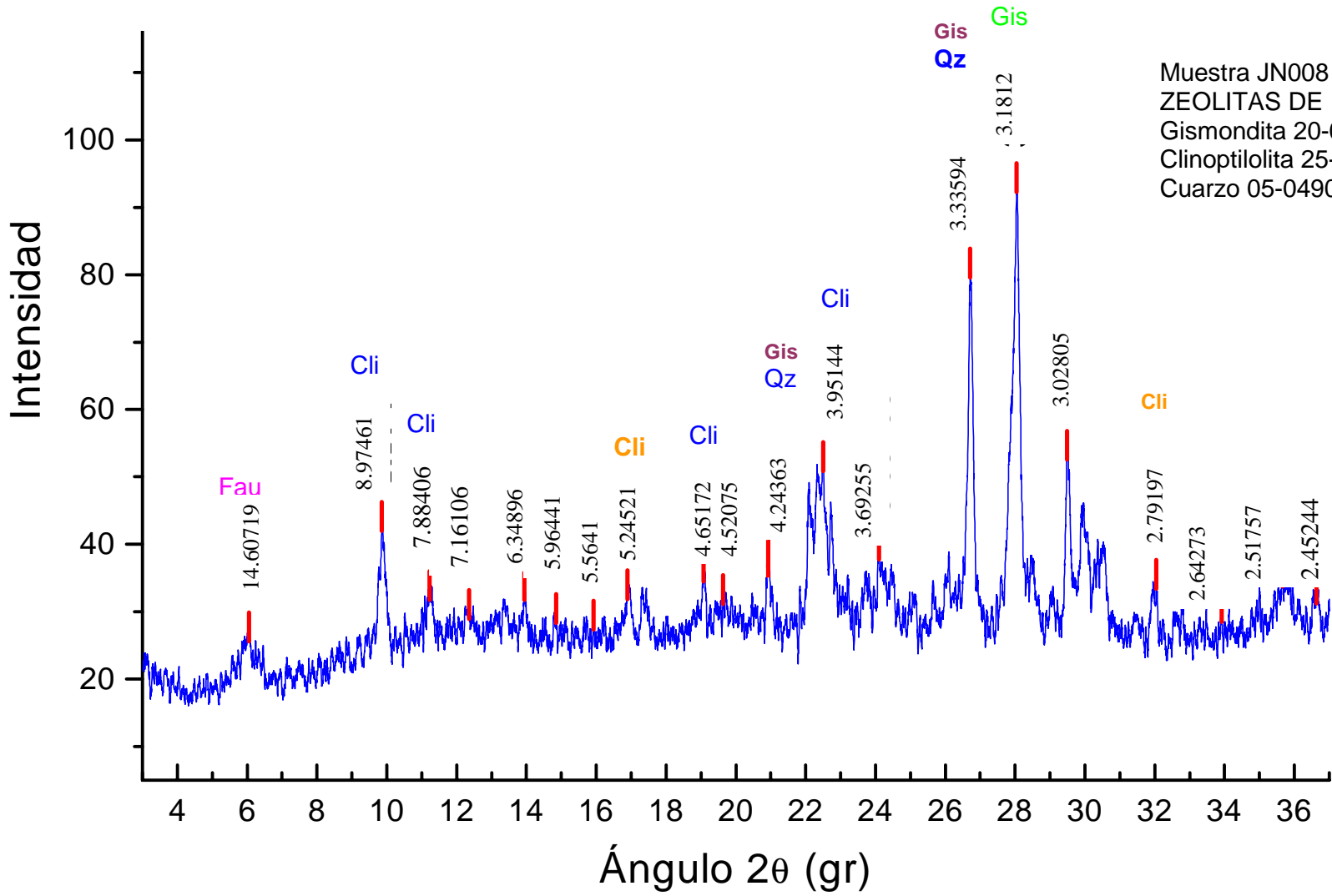




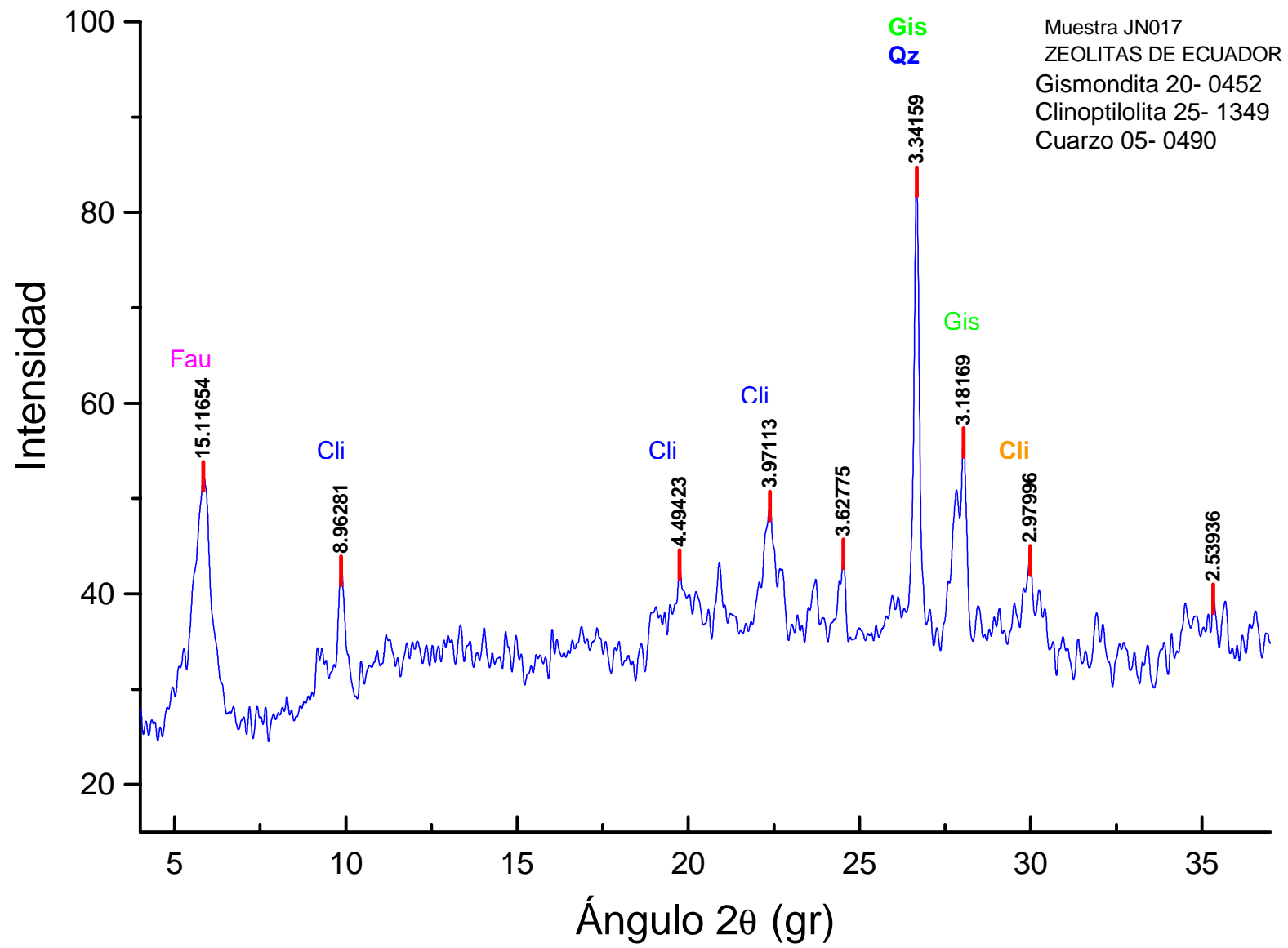
Muestra: Muestra MJMF33
 Zeolita: Zeolitas Ecuador
 Gismondita 20-0452
 Clinoptilolita 25-1349
 Cuarzo 05-0490



Muestra MJMF35
 Zeolitas Ecuador
 Gismondita 20-0452
 Clinoptilolita 25-1349
 Cuarzo 05-0490



Muestra JN008
 ZEOLITAS DE ECUADOR
 Gismondita 20-0452
 Clinoptilolita 25-1349
 Cuarzo 05-0490



Con los análisis de difracción se determinaron los tipos de zeolitas y los minerales acompañantes de las muestras de roca analizadas como se ve en la siguiente tabla.

TABLA 3.11
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X

MUESTRA	DESCRIPCION
JN001	Compuesta básicamente de zeolitas de tipo clinoptilolita con presencia de minerales acompañantes como el Cuarzo y Albita. También se determinaron muy discretamente dos picos de Gismondita y un pico de Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
JN002	Se determinaron zeolitas de tipo Clinoptilolita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita. También se determinaron muy discretamente dos picos Gismondita y un pico Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
JN008	Se estableció la presencia de zeolitas de tipo Clinoptilolita predominantemente con minerales accesorios como el Cuarzo, y también de Gismondita.
JN015	Se determinaron la presencia de zeolitas de tipo Clinoptilolita, principalmente y manifestaciones erráticas de picos de Gismondita y Faujasita.

JN017	Se determinaron la presencia de zeolitas de tipo Clinoptilolita, principalmente y erráticamente picos de Gismondita y Faujasita.
JN020	Compuesta básicamente de zeolitas de tipo Clionoptilolita con presencia de minerales acompañantes como el Cuarzo y además la presencia errática de picos de Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
JN021	Se determinaron zeolitas de tipo clionoptilolita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita. También se determinaron muy erráticamente la Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
JN022	Se determinaron la presencia de zeolitas de tipo Clinoptilolita, y manifestaciones erráticas de Gismondita y Faujasita.
JN027	Se determinaron zeolitas de tipo Clionoptilolita con presencia de minerales como el Cuarzo y Albita. También se manifestó erráticamente la presencia de la Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
JN029	Se determinaron cantidades importantes de zeolitas de tipo Clionoptilolita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita. También se detecto erráticamente la presencia de Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.

JN2A	Se determinaron importantes manifestaciones de zeolitas de tipo Clionoptilolita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita. También se detectaron la presencia errática de la Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.
MF16	Presencia de importantes manifestaciones de zeolitas de tipo clionoptilolita y también la presencia errática de la Gismondita y Faujasita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita..
MF22	Se detectaron importantes manifestaciones de zeolitas de tipo clionoptilolita y también la presencia errática de picos Gismondita y Faujasita con presencia de minerales accesorios como el Cuarzo y Albita..
MJMF33	Compuesta básicamente de zeolitas de tipo clionoptilolita con presencia de minerales acompañantes como el Cuarzo y Albita. También se detecto erráticamente la zeolitas de tipo Gismondita y Faujasita.
MJMF35	Presenta básicamente zeolitas de tipo clionoptilolita con minerales acompañantes como el Cuarzo y Albita. También se determinaron erráticamente la Gismondita y Faujasita que son otros tipos de zeolitas.

Cabe señalar que en el anexo 4 se muestra análisis efectuados en el laboratorio centralizado de la ETSIM-UPM España.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de la temperatura de hidratación en las rocas de la zona de estudio resulta favorable en contenido de zeolitas para las lutitas tobáceas, ya que presentan temperaturas mayores a 8°C, indicando un valor favorable indirecto a la presencia de zeolitas (60-80%). Los estudios de DRX de lutitas tobáceas para una muestra tipo procedente de la Formación Cayo se muestra en la Fig 3.25

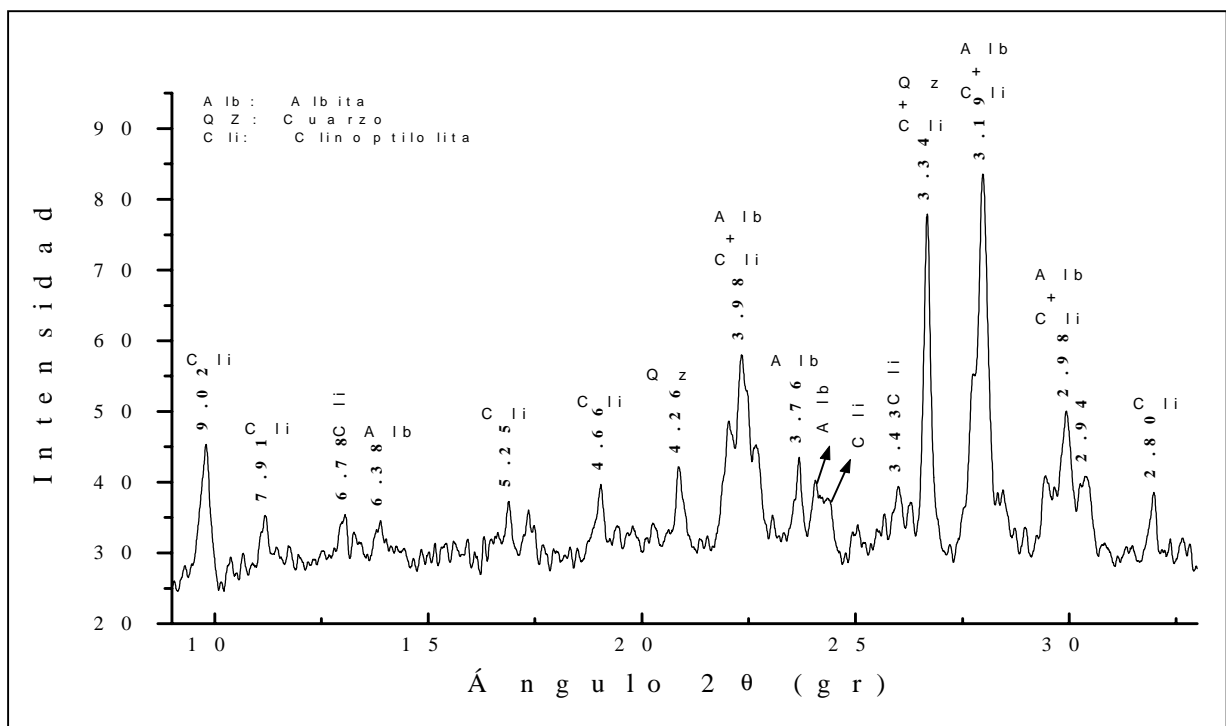


Fig. 3.25 Difractometría de una Lutita Tobácea de la Formación Cayo

En las lutitas tobáceas se identificaron las fases cristalinas: clinoptilolita (Treacy et al. 1996) , albita (PDF 19-1184) y α cuarzo de acuerdo al análisis comparativo que se detalla en la tabla 3.12

Tabla 3.12
Datos de DRX . Comparación con patrones de referencia.
 (*) F: fuerte, M: mediana, D: débil

Lutita Tobácea		Patrones de referencia					
		Clinoptilo.		Albita		α Cuarzo	
d (A)	Int (*)	d (A)	Int (%)	d (A)	Int (%)	d (A)	Int (%)
9,00	M	8,96	100				
7,93	D	7,91	40				
6,81	D	6,78	14				
6,38	D			,37	12		
5,82	D			,90	8		
5,23	D	5,24	16				
5,12	D	5,11	25				
4,67	D	4,65	16				
4,25	D					4,26	22
3,99	M	3,97	49	4,03	100		
3,94	M	3,95	37				
	D	3,91	21				
	D	3,89	24	3,85	10		
				3,77	25		
3,70	D	3,70	7	3,66	60		
3,54	D	3,55	15				
3,42	D	3,42	32				
3,34	F	3,39	14			3,34	100
	M			3,22	65		
	M			3,20	55		
3,19	F	3,17	27	3,19	50		
				3,17	20		
3,11	D	3,12	14	3,15	50		
2,99	D	3,07	14	2,96	25		
2,96	D	2,96	17	2,95	20		
	M			2,92	30		
2,80	D	2,80	23				

Del mismo se deduce que la clinoptilolita es la única zeolita presente, encontrándose como fase mayoritaria.

Es bien conocido que, básicamente, las zeolitas se forman a partir de un lento proceso hidrolítico de material volcánico, dependiendo el tipo de zeolita, las condiciones fisicoquímicas de su génesis (temperatura, tipo de material precursor -vítreo o cristalino- concentración salina y cinética de la reacción) Giannetto et al, 2000

Por otra parte, la clinoptilolita, cuya fórmula genérica es $\text{Na}_2(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})\cdot 20\text{H}_2\text{O}$ pertenece al grupo de la heulandita (sistema monoclinico. densidad estructural $17\text{T}/1000\text{\AA}^3$).

3.4.2 Microscopia electrónica

Los estudios por microscopio electrónico de barrido (SEM) se llevaron a cabo en un microscopio electrónico Phillips 505 con microsonda EDAX 9000.

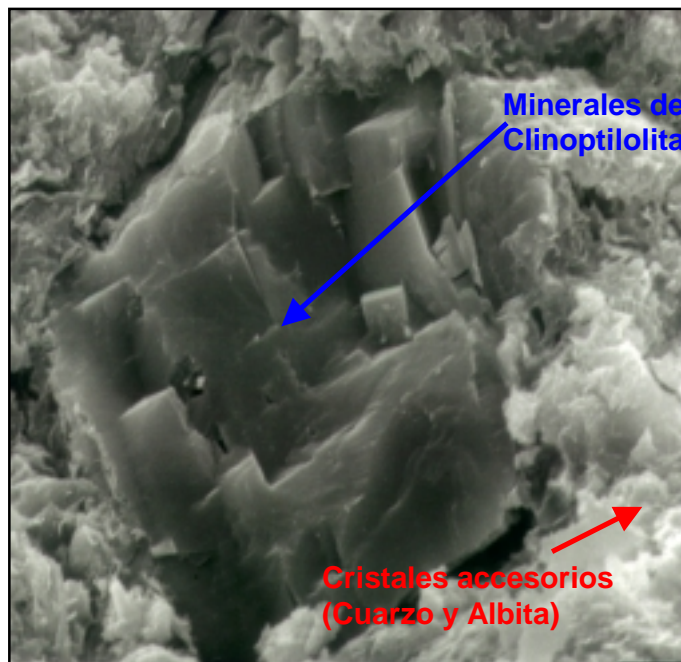
La principal aportación de una microsonda electrónica es la capacidad para barrer con un haz electrónico, de una manera controlada sobre un área preseleccionada en la muestra, cuya prioridad radica en la capacidad de análisis químicos con lo que se puede definir como un método de análisis químico no destructivo que permite conocer la composición química de partículas diminutas

en la superficie de muestras sólidas, con una resolución espacial de alrededor de 1 μm .

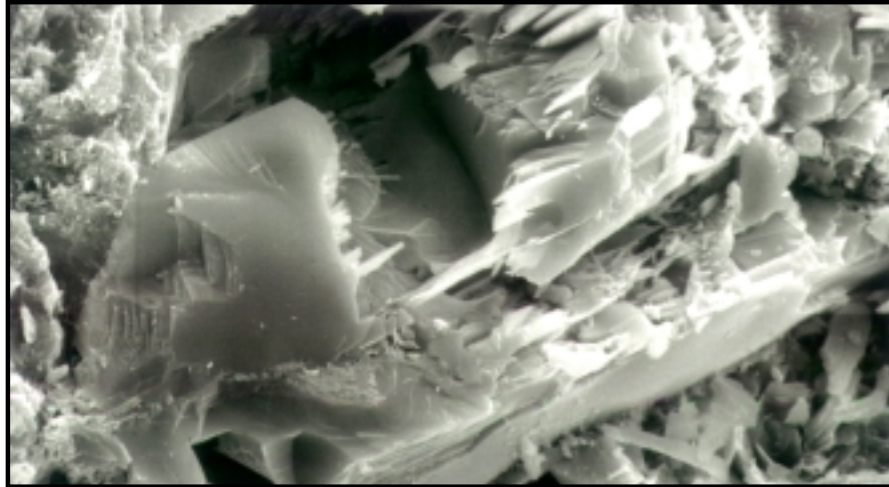
Este análisis permiten determinar los elementos presentes en una fase, analizar sus variaciones en una y dos direcciones, establecer relaciones de elementos entre sí, afinidad de un elemento por una o más fases, variaciones en el contenido de un elemento dentro de una misma fase, etc.

A continuación se observan algunas fotografías de muestras tomadas de campo, en donde se determinaron composición química y se pudo apreciar minerales de zeolitas.

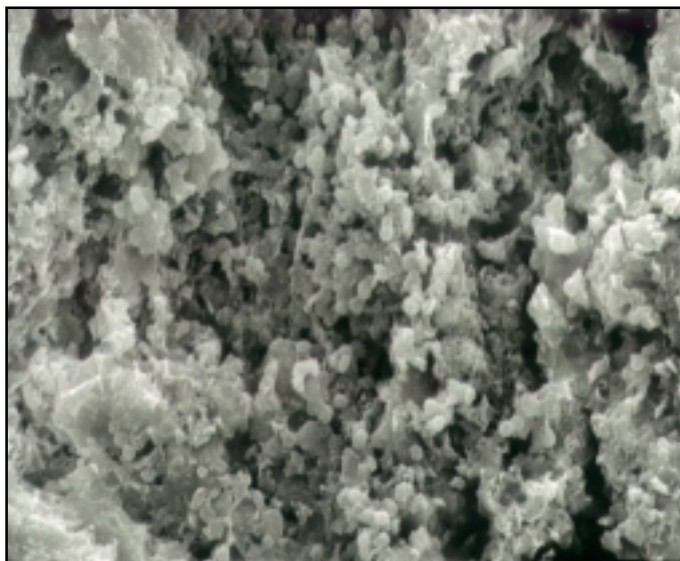
En el anexo 8.5 se muestra los resultados de los análisis realizados microscopia electrónica analizada en la UPM-España



Fotografía 3.1
Muestra MF22
FOTO x2000, 10 μ
24859
Se observa la texturas de cristales de Clinoptilolita, rodeado de cristales accesorio de la muestra, (cuarzo y albita).



Fotografía 3.2 Muestra JN041
FOTO x2000, 10u # 24859
Se observa la texturas de cristales de
Clinoptilolita, rodeado de cristales accesorio
de la muestra, (cuarzo y albita).



Fotografía 3.4
Muestra JN027
FOTO x 1500, 10u
24859
Nota: Tomada a
distancia

TABLA 3.13
TABLA DE RESULTADOS DE
MICROSONDA ELECTRONICA

Muestra	JN027	JN029	MF22
% Wt			
Na₂O	1,82	6,27	8,3
MgO	3,18		
Al₂O₃	17,72	18,86	19,56
SiO₂	58,77	67,72	71,93
K₂O	1,08	0,28	
TiO₂	0,78		
Fe₂O₃		5,87	0,91
CaO	2,95	1	
MnO	1,15		
Total	87,45	100	100,7

3.3.3 Fluorescencia de rayos x

La fluorescencia de rayos X es una técnica que trata de análisis multielemental, que permite, tanto análisis cualitativos (hacer barridos para conocer los elementos presentes en una muestra desconocida, e incluso clasificarlos en: mayoritarios, minoritarios, y elementos trazas), como cuantitativos. Además tiene la ventaja de que los análisis puede realizarse directamente sobre la muestra, sin preparación previa. Los resultados concernientes a la fluorescencia de rayos x se muestran a continuación.

TABLA 3.14
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA
DE RAYOS X MUESTRA JN028

2002-05-20

XRF/UniQuant Analysis Report

Laboratorio Centralizado
E.T.S.I. MINAS - MADRID

\uq4\JOB\JOB.345

Sample ident = JN028

Oxide	Mass%	StdErr	El	Mass%	StdErr
SiO2	45.22	0.55	Si	21.14	0.26
Al2O3	14.18	0.39	Al	7.51	0.20
Fe2O3	10.41	0.34	Fe	7.28	0.24
MgO	4.28	0.22	Mg	2.58	0.14
CaO	3.81	0.10	Ca	2.72	0.07
K2O	1.06	0.11	K	0.878	0.094
TiO2	0.710	0.043	Ti	0.426	0.026
P2O5	0.195	0.025	Px	0.085	0.011
Na2O	0.171	0.042	Na	0.127	0.031
MnO	0.157	0.044	Mn	0.121	0.034
SrO	0.082	0.014	Sr	0.069	0.012
BaO	0.063	0.013	Ba	0.056	0.011
V2O5	0.0416	0.0075	V	0.0233	0.0042
Er2O3	0.0188	0.0069	Er	0.0164	0.0060
ZnO	0.0148	0.0061	Zn	0.0119	0.0049
ZrO2	0.0101	0.0027	Zr	0.0075	0.0020
MoO3	0.0096	0.0048	Mo	0.0064	0.0032
HgO	0.0082	0.0041	Hg	0.0076	0.0038
Cl	0.0080	0.0040	Cl	0.0080	0.0040
Co3O4	0.0079	0.0039	Co	0.0062	0.0031
Y2O3	0.0058	0.0029	Y	0.0046	0.0023
PdO	0.0046	0.0023	Pd	0.0040	0.0020
U3O8	0.0025	0.0012	U	0.0021	0.0011
SeO2	0.0025	0.0012	Se	0.0018	0.0009
Rb2O	0.0024	0.0012	Rb	0.0022	0.0011

Known: 19.52% LOI departed

TABLA 3.15
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA
DE RAYOS X MUESTRA JN029

2002-05-17

XRF/UniQuant Analysis Report

Laboratorio Centralizado
E.T.S.I. MINAS - MADRID

\uq4\JOB\JOB.343

Sample ident = JN029

Oxide	Mass%	StdErr	El	Mass%	StdErr
SiO2	52.00	0.55	Si	24.31	0.26
Al2O3	14.58	0.39	Al	7.71	0.21
Fe2O3	6.65	0.28	Fe	4.65	0.19
CaO	3.92	0.10	Ca	2.80	0.07
MgO	2.29	0.17	Mg	1.38	0.10
K2O	0.720	0.094	K	0.597	0.078
Na2O	0.638	0.080	Na	0.474	0.060
TiO2	0.539	0.037	Ti	0.323	0.022
MnO	0.302	0.061	Mn	0.234	0.047
P2O5	0.221	0.026	P	0.096	0.011
SrO	0.105	0.016	Sr	0.089	0.014
SO3	0.053	0.026	S	0.021	0.010
BaO	0.047	0.011	Ba	0.0421	0.0097
Cl	0.046	0.011	Cl	0.046	0.011
Er2O3	0.0225	0.0075	Er	0.0197	0.0066
V2O5	0.0162	0.0047	V	0.0091	0.0026
Y2O3	0.0144	0.0060	Y	0.0113	0.0047
ZrO2	0.0143	0.0028	Zr	0.0106	0.0021
ZnO	0.0122	0.0055	Zn	0.0098	0.0044
HgO	0.0082	0.0041	Hg	0.0076	0.0038
Co3O4	0.0061	0.0030	Co	0.0048	0.0024
SeO2	0.0034	0.0017	Se	0.0024	0.0012

Known: 17.79% LOI departed

TABLA 3.16
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA
DE RAYOS X MUESTRA MF22

XRF/UniQuant Analysis Report

Laboratorio Centralizado
E.T.S.I. MINAS - MADRID

\uq4\JOB\JOB.308

Sample ident = MF22

Oxide	Mass%	StdErr	El	Mass%	StdErr
SiO2	56.36	0.55	Si	26.35	0.26
Al2O3	12.71	0.37	Al	6.73	0.20
Fe2O3	9.46	0.32	Fe	6.62	0.23
CaO	3.81	0.10	Ca	2.72	0.07
MgO	2.74	0.18	Mg	1.65	0.11
Na2O	2.04	0.14	Na	1.52	0.11
K2O	1.08	0.11	K	0.900	0.095
TiO2	0.625	0.040	Ti	0.375	0.024
MnO	0.217	0.052	Mn	0.168	0.040
P	0.0958	0.0071	P	0.0958	0.0071
V2O5	0.0448	0.0078	V	0.0251	0.0044
SrO	0.043	0.010	Sr	0.0368	0.0088
BaO	0.0327	0.0090	Ba	0.0293	0.0081
Er2O3	0.0213	0.0073	Er	0.0186	0.0064
ZnO	0.0135	0.0058	Zn	0.0108	0.0047
Co3O4	0.0083	0.0041	Co	0.0065	0.0033
HgO	0.0080	0.0040	Hg	0.0074	0.0037
ZrO2	0.0073	0.0020	Zr	0.0054	0.0015
Y2O3	0.0043	0.0021	Y	0.0034	0.0017
Cl	0.0035	0.0017	Cl	0.0035	0.0017

Known: 10.65% LOI departed

CAPITULO 4

MOVIMIENTO DE TIERRAS

4.1 Descripción del método para la extracción de zeolitas naturales en el movimiento de tierra.

De acuerdo a las características geométricas que presentan las áreas en donde se va a realizar el movimiento de tierras ver tabla 4.1, tenemos un tipo de yacimiento estratificado con una dirección predominante N110° Azimut y con un buzamiento entre de 12 – 20 grados hacia el sur oeste.

Se aplicará un movimiento de tierras a cielo abierto y que se ejecutará por niveles de acuerdo a los sectores de remoción de tierras. Teniendo así la disposición de rocas zeolíticas en diferentes sitios para las operaciones de arranque, carga y transporte, de acuerdo a las necesidades de producción.

Cabe señalar que sería conveniente disponer de varios frentes de explotación para tener la posibilidad de diferenciar la calidad de las rocas zeolitizadas. La extracción va a consistir en primer lugar en retirar la capa vegetal hasta encontrar los afloramientos de roca (intercalaciones de estratos de rocas lutitas, tobas, areniscas y aglomerados).

A continuación se procederá a marcar la apertura necesaria para comenzar la explotación, estableciendo los niveles de movimiento de tierras que será sobre los mismos que se establecerá una secuencia de banqueo descendente y en dirección N 20 E hacia el sur que es como deberá llevarse la explotación. La altura de los bancos se establecerá de 5 metros de altura preferentemente, que es parámetro geométrico adecuado para la geometría de los estratos con objeto

de evitar que se produzcan diluciones dado la fragilidad y potencia de los estratos de material útil como zeolitas; y también es conveniente para el tipo de maquinaria a utilizar.

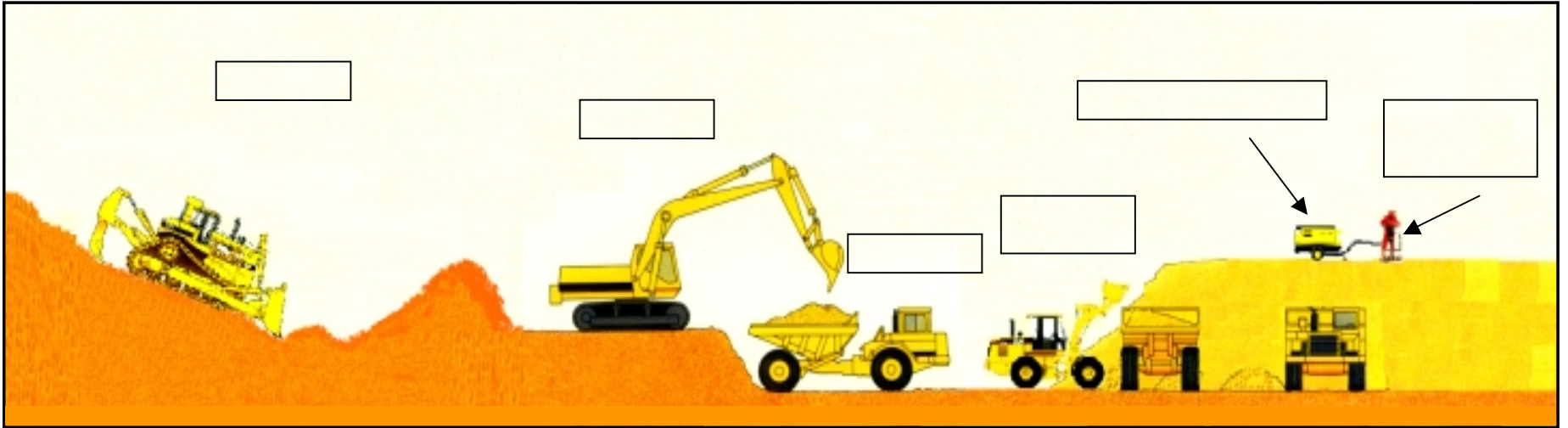
Una vez realizada la apertura de los niveles y establecida la secuencia de extracción de cada uno de los estratos rocosos de material útil (rocas zeolitizadas) y de material estéril (aglomerados y areniscas), estos alternarán su extracción; en donde la producción de rocas zeolíticas se trasladará al patio de almacenamiento o directamente a la planta de procesamiento, y los aglomerados se los evacuará al deposito de escombreras.

TABLA 4.1
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICA-MINERA
DE LOS SECTORES A EJECUTARCE EL MOVIMIENTO DE TIERRA

DESCRIPCION	CARACTERISTICA
Rumbo predominante de los estratos rocosos	N 110°
Buzamiento predominante	Variable entre 12 – 18°
Potencia de estratos del material útil (Tobas y Lutitas Tobaceas)	Variable entre 20cm – 20 mt.
Potencial estratos del material estéril (aglomerados y areniscas)	Variable entre 20 cm – 50 mt.
Potencia de cobertura vegetal	Variable entre 50cm - 1mt
Familia de diaclasas	F1: NS/90° F2: N/ 75° E/85° - 90° F3: N 60° W/90°

TABLA 4.2
PARAMETROS PARA LA EJECUCIÓN
DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

DESCRIPCION	PARAMETROS	
Mineral Útil	Zeolitas Naturales	
Contenido estimado de zeolitas para aplicaciones.	60 - 90%	
Sectores de Movimiento de tierras	Cota máxima	Cota mínima
Sector A	60 m.s.n.m	45 m.s.n.m
Sector H	50 m.s.n.m	45 m.s.n.m
Sector J	90 m.s.n.m	50 m.s.n.m
Sector C	50 m.s.n.m	45 m.s.n.m
Sector D	60 m.s.n.m	45 m.s.n.m
Sector E	75 m.s.n.m	60 m.s.n.m
Sector F	70 m.s.n.m	60 m.s.n.m
Sector G	70 m.s.n.m	55 m.s.n.m
Angulo de bancos	70°	
Altura de bancos	5 metros.	
Ancho de vía	10 metros.	
Pendiente de caminos de acceso a los frentes	10%	
Dirección de avance	N 20 E hacia el S	



4.2 Consideraciones de los criterios mineros para la extracción de las zeolitas naturales en el movimiento de tierras.

4.2.1 Criterios económicos

Ratio.- El ratio de desmonte o relación estéril/mineral, tiene una importancia trascendental en el diseño y planificación de las labores mineras a cielo abierto y por lo tanto se lo considerara en el movimiento de tierras para el aprovechamiento de zeolitas naturales. El ratio refleja la cantidad de material estéril que es preciso mover para extraer el mineral y consecuentemente esta directamente involucrado con la economía del proceso de extracción. Esta relación suele expresarse en las siguiente unidades (t / t), (m³ / m³) o (m³ / t).

Para definir los cálculos referentes a los limites de movimiento de tierra y al aprovechamiento de las zeolitas naturales se seguirán los siguientes pasos que comprenden:

1.- Calcular el Ratio Medio Económico que se considerará para el movimiento de tierra, el cual es la relación entre todo el volumen de estéril y todo el tonelaje de mineral que es extraído con un beneficio medio por unidad de este. Se estimara de acuerdo a la siguiente formula.

$$RME = \frac{PV - (CP + CC + B)}{CE}$$

RME: Ratio Medio Económico

PV: Valor del mineral in situ. Función del precio de venta del mineral

CP: Costos de extracción del mineral explotable.

(arranque, carga y transporte).

CE: Costo de extracción del estéril. (arranque, carga y transporte hasta la escombrera).

CC: Costo de comercialización

B: Beneficio por tonelada de mineral

Para la estimación del ratio medio económico, se considerará de acuerdo a los siguientes datos:

PV = \$10 por tonelada (Precio actual de venta de zeolitas de la ESPOL).

CP = \$ 4 por tonelada

CE = \$ 4 por tonelada

B = 30% de los costos totales (incluye todo lo concerniente a inflación e intereses de mercado).

CC = \$ 0.4 (aproximadamente igual al 10 % de los costos de extracción)

$$RME = 0.8 \left(\frac{\text{toneladas estéril}}{\text{toneladas roca zeolitizadas}} \right)$$

Se debe de señalar que el movimiento de tierras se ha de desarrollar hasta los niveles en que el ratio medio económico sea inferior a ratio geométrico.

2.- Se determinan las profundidades máximas del movimiento de tierras para la extracción y aprovechamiento de las zeolitas naturales, de acuerdo a la comparación entre los RMG y el RME. Cabe señalar que se acordará realizar el terrazeo hasta la cota donde el $RMG < RME$.

TABLA 4.3
RATIOS GEOMÉTRICOS DE LOS SECTORES

3.- Se determina el nivel a partir de los criterios mineros obtenidos en la etapa anterior, considerando el diseño de un movimiento de tierras según la secuencia de que se muestra en la Fig. 4.2

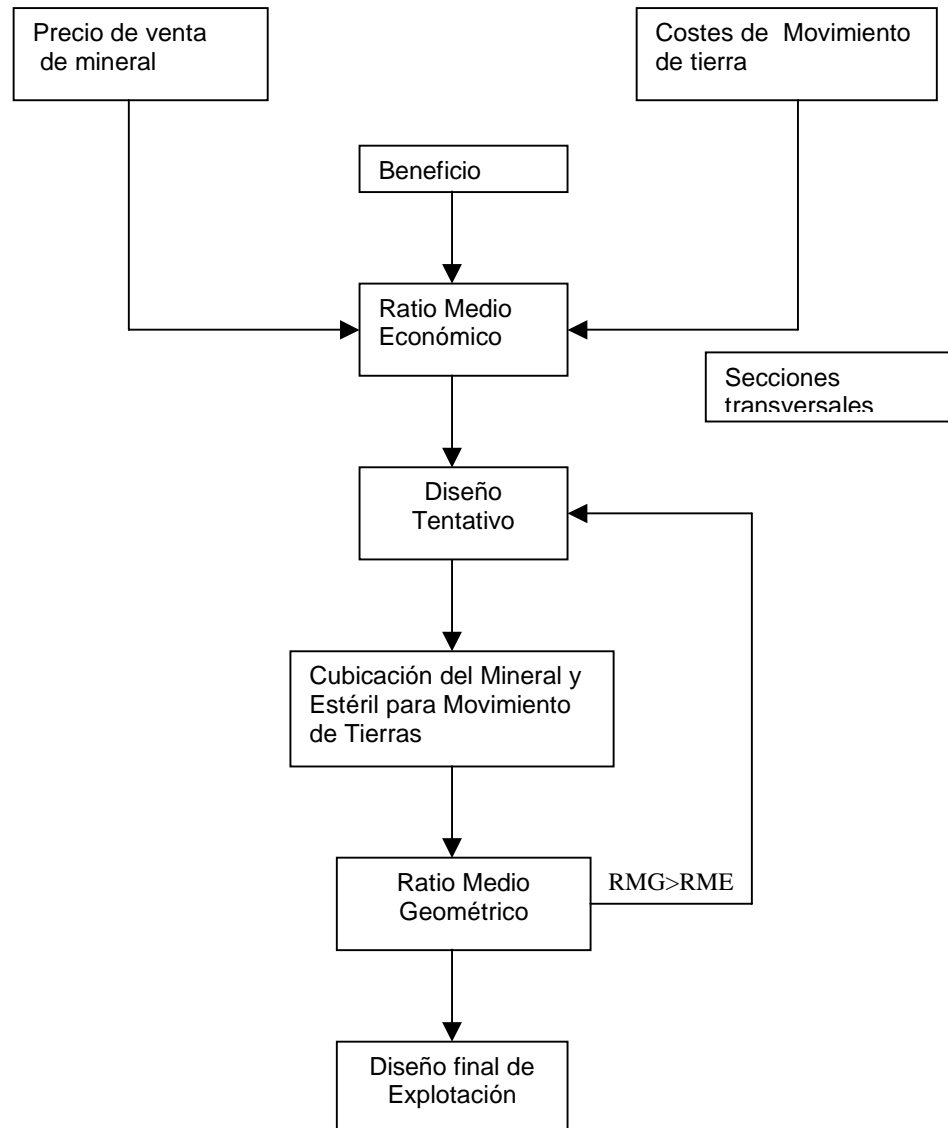


Fig. 4.2 Secuencia de etapas en el diseño del movimiento de tierras

4.- Se establece la explotación considerando pistas de acceso, rampas, bermas de seguridad, plataformas de trabajo, etc. En el caso de que se quiera profundizar más el terrazeo se rediseñará la explotación a fin de lograr esto.

4.2.2 Criterios operativos

4.2.2.1 Diseño de perforación y voladura (arranque indirecto)

Definidos los pisos de explotación es sobre los mismos que, de manera descendente y de noreste a suroeste en lo posible, deberá llevarse la extracción minera, de acuerdo a lo establecido en el método de explotación de las zeolitas naturales.

La perforación se la realizara a un diámetro de 38 mm.

Los diseños y características de la perforación y el esquema de voladura serán analizados por el programa DISVOL.

A continuación se detalla todo lo concerniente a los datos de entrada de datos, cálculos y resultados, obtenidos mediante el procesamiento del software de perforación y voladura DISVOL.



EPM, S.A.

DISVOL

Versión 1.0

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Lugar: Parque Tecnológico
 Empresa: ESPOL
 Fecha: Enero 2002
 Usuario: Sr. Janio Nazareno
 Identificación: Movimiento de Tierras (Extracción de Zeolitas Naturales)
 Comentarios: Aprovechamiento de Zeolitas Naturales

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VOLABILIDAD**DATOS DE ENTRADA**

DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO:	Diclasado en bloques	TIPO DE ROCA: Tobas, Lulitas tobáceas
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS:	Pequeño (< 0,1 m)	
ORIENTACIÓN ENTRE PLANOS DE JUNTAS:	Dirección normal al frente	
DENSIDAD (t/m ³):	1,7	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):	50	

RESULTADOS

ÍNDICE DE VOLABILIDAD: 27.5

DATOS DE ENTRADA

DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO:	Totalmente masivo	TIPO DE ROCA: Aglomerados, Areniscas de gano fino
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS:	Grande (> 1 m)	
ORIENTACIÓN ENTRE PLANOS DE JUNTAS:	Dirección normal al frente	
DENSIDAD (t/m ³):	1,7	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):	37	

RESULTADOS

ÍNDICE DE VOLABILIDAD: 62.175



DISVOL

Versión 1.0

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Lugar:	Parque Tecnológico
Empresa:	ESPOL
Fecha:	Enero 2002
Usuario:	Sr. Janio Nazareno
Identificación:	Movimiento de Tierras (Extraccion de Zeolitas Naturales)
Comentarios:	Aprovechamiento de Zeolitas Naturales

DISEÑO DE VOLADURAS EN BANCO (C. LÓPEZ JIMENO) (PEQUEÑO DIÁMETRO)

DATOS DE ENTRADA

ESQUEMA:	Cuadrado	INDICE DE VOLABILIDAD:	62.175
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm):	38	DIÁMETRO CARGA DE FONDO (mm):	38
INCLINACIÓN DE LOS BARRENOS (grados):	5	DENSIDAD DE LA CARGA DE FONDO (g/cm3):	1.25
ALTURA DE BANCO (m):	5	PRP CARGA DE FONDO:	74
ANCHURA DE LA VOLADURA (m):	15	DIÁMETRO CARGA DE COLUMNA (mm):	38
LONGITUD DEL FRENTE (m):	30	DENSIDAD CARGA DE COLUMNA (g/cm3):	0.80
ERROR DE PERFORACIÓN (m):	0.03	PRP EXPLOSIVO DE COLUMNA:	130
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa):	Blanda		

RESULTADOS

PIEDRA (m):	1.48	CONSUMO ESPECÍFICO (kg/m3):	0.30
ESPACIAMIENTO (m):	1.94	RENDIMIENTO DE ARRANQUE (m3/m):	2.68
LONGITUD DEL BARRENO (m):	5.38	LONGITUD CARGA DE COLUMNA (m):	2.91
SOBREPERFORACIÓN (m):	0.38	CARGA DE COLUMNA POR BARRENO (kg):	2.84
RETACADO (m):	1.33	CARGA DE COLUMNA TOTAL (kg):	422.45
ESPACIAMIENTO EFECTIVO (m):	4.15	CONCENTRACIÓN CARGA DE COLUMNA (kg/m):	0.91
PIEDRA EFECTIVA (m):	0.69	LONGITUD CARGA DE FONDO (m):	1.14
ESPACIAMIENTO EFECT./PIEDRA EFECT.:	6.00	CARGA DE FONDO POR BARRENO (kg):	1.62
GRADO DE EQUILIBRIO EN VOLADURA MULTIFILA:	0.77	CARGA DE FONDO TOTAL (kg):	258.58
LONGITUD TOTAL PERFORADA (m):	860.82	CONCENTRACIÓN CARGA DE FONDO (kg/m):	1.42
NÚMERO DE FILAS:	10	CARGA TOTAL POR BARRENO (kg):	4.26
NÚMERO DE BARRENOS POR FILA:	16	CARGA TOTAL VOLADURA (kg):	681.03
NÚMERO TOTAL DE BARRENOS:	160	ÍNDICE DE UNIFORMIDAD:	1.33
ANCHURA REAL ARRANCADA:	14.82	K50 (cm):	26.03
VOLUMEN ARRANCADO POR BARRENO (m3):	14.42	K95 (cm):	78.58
VOLUMEN ARRANCADO TOTAL (m3):	2306.47	TAMAÑO CARACTERÍSTICO (cm):	34.33

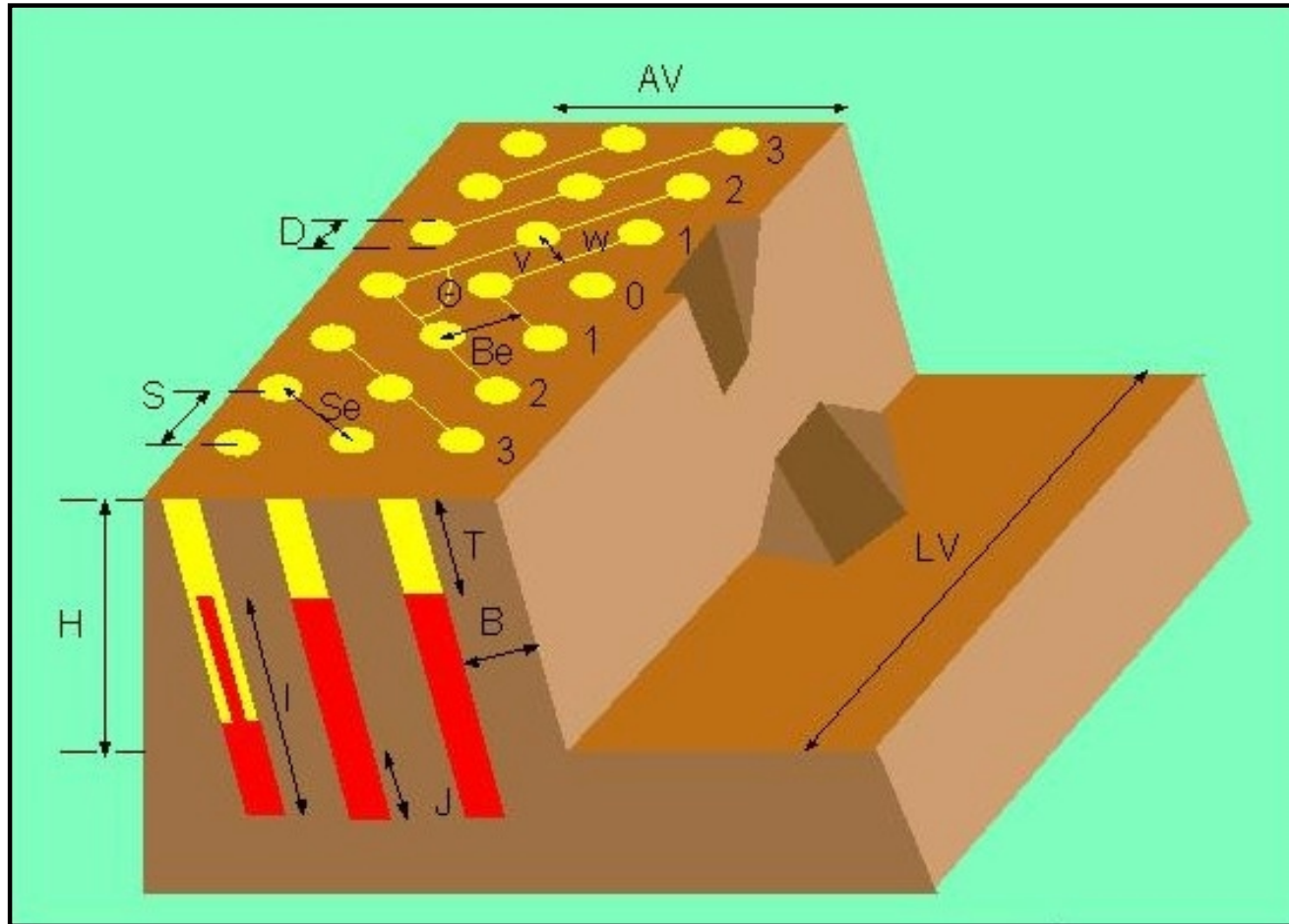


Fig. 4.3 Esquema de una voladura de banco



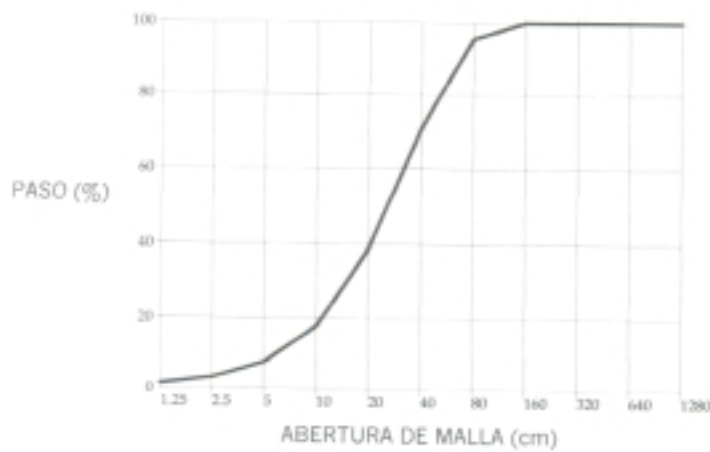
DISVOL

Versión 1.0

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

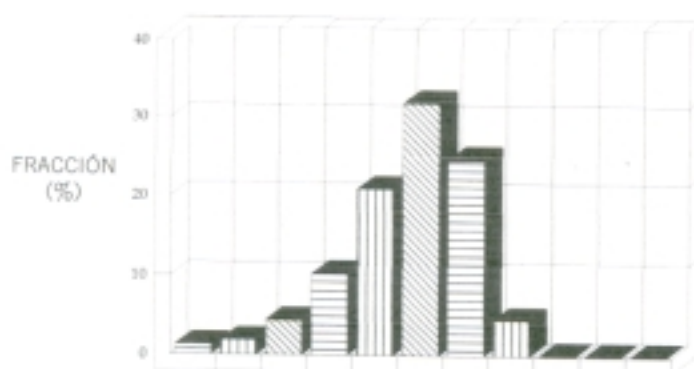
Lugar: Parque Tecnológico
 Empresa: ESPOL
 Fecha: Enero 2002
 Usuario: Sr. Janio Nazareno
 Identificación: Movimiento de Tierras (Extracción de Zeolitas Naturales)
 Comentarios: Aprovechamiento de Zeolitas Naturales

CURVA GRANULOMÉTRICA TEÓRICA



Abertura (cm)	%
1.25	1,23
2.50	3,06
5	7,49
10	17,72
20	38,66
40	70,81
80	95,35
160	99,95
320	100,00
640	100,00
1280	100,00

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS



Rango (cm)	%
0 - 1.25	1,23
1.25 - 2.5	1,83
2.5 - 5	4,43
5 - 10	10,23
10 - 20	20,94
20 - 40	31,95
40 - 80	24,74
80 - 160	4,61
160 - 320	0,05

EQUIPO DE ARRANQUE, CARGA Y TRANSPORTE

Maquinaria	Modelo	Potencia al Volante Hp/Kw	Peso en Orden de Trabajo lb. /Kg.	Observaciones
Excavadora	CAT 345 L	97,100/44050	290 / 216	Alcance (pie-pulg)/ Profundidad (m) 30'5"/9.3
Bulldozer	CAT D9RL	405/302	107,667/48838	Hoja: SU, U/MS, SS Desgarrador
Cargadora	CAT 938G WHA	145/108	34,000/15455	Capacidad 5 - 3.8 (m³)
Volquetes	-----	-----	-----	Capacidad \geq 14 m³

EQUIPO Y ACCESORIO DE PERFORACIÓN Y

Compresor neumático XA(S)146					
Presión de Trabajo Efectivo Normal	Aire libre suministrado de acuerdo con ISO 1217	Potencia Acústica	Nivel de presión acústica según ISO 2151	Capacidad de Aire	Máxima Temperatura Ambiente
7 bar 102 psi	140 l/s 8.4 m ³ /min. 300 pies/min	100 dB(A)	70 dB(A)	24 l 6.34 US gal	50°C 122 °C

Perforadora manual Modelo RH 658 LS							
Peso	Consumo de Aire	Longitud incl. Retenedor de barrera	Buje de herramienta (hexagonal)	Frecuencia de Impactos	Velocidad de rotación	Velocidad de rotación	Conexión de manguera
25 Kg	58 l/s	565 mm	22X108 mm	34 golpes/seg	215 rpm	410 mm/min	20mm

Explosivos	
Carga de Fondo	Explogel Amón
Carga de columna	Anfo aluminizado
Iniciador	Fulminante # 8
Cordón detonante 10 gr.	
Conectores de superficie	

4.2.2.2 Diseño del arranque directo, carga y transporte

4.2.2.2.1 Selección de maquinaria de arranque directo

La selección de la maquinaria se la realizó de acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso, dado que con estos ensayos geomecánicos se evalúa su excavabilidad. En la tabla 4.5 se indica el sistema de ponderación adoptado para cada una de las propiedades medidas en los macizos rocosos.

En la tabla 4.6 se expresa la clasificación de excavabilidad de los macizos rocosos, la cual engloba siete clases o grupos de conducta frente al arranque, definidos en función de la suma total de puntos que arroja la valoración del índice de excavabilidad (I_{ex}).

TABLA 4.5
SISTEMA DE PONDERACIÓN DE ACUERDO A LAS
PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO

Parámetro \ Clase	I	II	III	IV	V
Alteración	Intensa	Alta	Moderada	Ligera	Nula
Valoración (W)	< 0	5	15	20	25
Resistencia de la Roca a la compresión Simple (MPa)	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 100	>100
Índice de carga Puntual (50)	< 0.5	0.5 – 1.5	1.5 - 2	2 – 3.5	> 3.5
Valoración (S)	0	10	15	20	25
Separación entre Diaclasas (m)	< 0.3	0.3 – 0.6	0.6 – 1.5	1.5 - 2	> 2
Valoración (J)	5	15	30	45	50
Potencia de Estratos (m)	< 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 0.6	0.6 – 1.5	>1.5
Valoración (B)	0	5	10	20	30

TABLA 4.6
CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS SEGÚN SU EXCAVABILIDAD

Clase	Facilidad de Excavación	Índice (W+S+J+B)	Equipo de Excavación	Modelos referenciales de Equipos empleados
I	Muy	<40	Tractores de ripado Dragalinas Excavadoras	A. Tractor (Cat. D8) B. Dragalinas >5m ³ (Lima 2400) C. Excavadoras de cables (Ruston Busyrus 71 RB)
II	Fácil	40-50		A. Tractor (Cat. D9) B. Dragalinas >8m ³ Marion 195 C. Excavadoras de cables (Ruston Busyrus 150 RB)
III	Moderadamente difícil	50-60	Dragalinas Excavadoras	A. Tractor-Excavadora-Pala-Cargadora (Cat. D9) B. Excavadoras Hidráulicas > 3m ³ (CAT 245)
IV	Difícil	60-70		A. Tractor Excavadora-Pala-Cargadora (Cat. D10) B. Excavadoras Hidráulicas > 3m ³ C 245 o O&K RH40
V	Muy difícil	70-95	Excavadoras	Excavadoras Hidráulicas > 3m ³ C 245 o O&K RH40
VI	Extremadamente difícil	95-100		Excavadoras Hidráulicas > 7m ³ Demag H 111 Poclain 1000 CK P & H 1200 RH 75
VII	marginal sin voladura	>100		Excavadoras Hidráulicas > 10 m ³ Demag H 165 – H241 O&K RH 300

De acuerdo a las características y valoraciones al macizo rocoso podemos ubicar la selección de la maquinaria entre la clase II para el caso de las lutitas tobáceas y de tobas, con un $I_{ex} = 50$. Para el caso de los aglomerados en la clase VII, con un $I_{ex} > 100$.

Dadas estas evaluaciones, entonces para las labores de movimiento de tierras consideraremos como mínimo equipos, de arranque, maquinarias como p. Ej. tractor adaptado con ripper CAT D9, Excavadoras CAT 345 y cargadoras

frontales CAT 938G. Cabe señalar que en caso de presentar dificultades el macizo rocoso en su excavabilidad se ejecutará el sistema de perforación y voladura antes indicado.

4.2.2.2 Descripción de las operaciones de extracción del estéril

El estéril esta conformado principalmente por la cobertura de capa vegetal, las areniscas de grano gruesos y finos, los aglomerados y microconglomerados.

En la cobertura vegetal, las rocas meteorizadas se arrancarán con tractor (bolldozer CAT D9 o serie mayor), acondicionado con un ripper, y todo este material removido se lo recogerá mediante una excavadora por ejemplo CAT 345 o cargadora frontal de ruedas de 3 o 5 metros cúbicos. Los aglomerados, microconglomerados y areniscas se arrancan con escarificación mediante bolldozer hasta encontrar el macizo rocoso sano, y dependiendo de las características que se presenten se utilizara maquinaria, o en su defecto perforación y voladura de acuerdo con el esquema anteriormente mencionados. El desalojo de las mismas serán hacia los depósitos de escombreras o a zonas de relleno.

4.2.2.3 Descripción de las operaciones de extracción de mineral útil (rocas zeolíticas).

Las zeolitas naturales de buena calidad se encontraran en las rocas lutitas, donde el arranque será una labor exigentemente delicada en el programa de extracción. Considerar antes de extraer las capas de roca lutita. Se debe de acondicionar con la maquinaria minera, una zona de seguridad suficiente para

no contaminar las zeolitas; ya que una dilución de rocas zeolitizadas disminuiría la calidad de las mismas y por lo tanto sería inviable la venta de este mineral. La genealogía de los estratos del depósito y el tipo tecnológico de las zeolitas presentes en estas áreas hacen que la calidad de este mineral en bruto, incida como uno de los factores más importantes para la venta de este mineral. Por este motivo la operación de extracción de las zeolitas naturales se realizará con el objetivo de que la dilución sea la menor posible, siendo los factores contribuyentes a este objetivo la realización de una exhaustiva limpieza de las capas de zeolitas, para así tener la posibilidad de poder recuperar capas de 20 O 50 cm presentes en esta área. Cabe señalar que antes de proceder a la extracción de una capa, se procede a un nivelado y regado, con objetivo de que el piso se encuentre en óptimas condiciones para recibir a las zeolitas. Cabe señalar que en caso de no poder arrancar mediante ripado con bulldozer se aplicará de ser necesario voladura de acuerdo al esquema anterior.

4.2.2.2.4 Carga y transporte

Las zeolitas que estén arrancadas, se cargarán mediante excavadoras p. Ej. (CAT 345) o pala cargadora de 3m^3 (CAT 950 F), a una flota de camiones convencionales de 14 m^3 a 20 m^3 , los que transportarán hasta el patio de reserva o hasta el patio de almacenamiento de la planta de procesamiento. Cabe señalar que se debe contar con maquinaria de alta potencia y capacidad de trabajo en el frente de explotación, ya que no es recomendable la utilización de equipos de menor potencia dado que encarecen los costos de operación. Es

importante recalcar en el caso del arranque indirecto, las buenas operaciones de carguío dependen de una buena perforación y una excelente voladura; con la finalidad de que no existan problemas de patas al pie de los bancos y la cargadora en su operación tendrá menos desgastes.

El transporte se realizará a través de caminos principales los cuales deberán estar en buenas condiciones para garantizar el acceso a los frentes de explotación y mantener una buena marcha del aprovechamiento de la explotación de las zeolitas.

TABLA 4.7
FACTORES DE CARGA

Densidad de banco	1800 Kg/m ³
Densidad Suelto	1350 Kg/m ³
Factor de conversión volumétrica	0.75
Factor de esponjamiento	1.33
Porcentaje de expansión	33%

La estimación de las unidades de transporte se las determinara con la siguiente formula:

$$\text{Toneladas por camión hora} = \text{Toneladas por carga} \times \frac{\text{Productividad minutos por hora}}{\text{Total tiempo ciclo}}$$

$$\text{Camiones Requeridos} = \frac{\text{Total de tonelaje por hora}}{\text{Toneladas por camión hora}}$$

**TABLA 4.8
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN
DE CAMIONES DE CARGA**

Toneladas por camión hora	25
Toneladas por carga	20
Productividad minutos por hora	50
Total ciclo tiempo (min.)	40
Camiones Requeridos	6
Total tonelajes por hora.	141
Toneladas por camión hora.	25

**TABLA 4.9
MAQUINARIA MINERA**

Maquinaria	Modelo	Potencia al Volante Hp/Kw	Peso en Orden de Trabajo lb. /Kg.	Observaciones
Excavadora	CAT 345 L	97,100/44050	290 / 216	Alcance (pie-pulg)/ Profundidad (m) 30'5"/9.3
Bulldozer	CAT D9RL	405/302	107,667/48838	Hoja: SU, U/MS, SS Desgarrador
Cargadora	CAT 938G WHA	145/108	34,000/15455	Capacidad 5 - 3.8 (m ³)

4.2.2.3 Altura de banco

La altura del banco se establece de acuerdo a las dimensiones de los equipos de perforación, de carga y de las características del macizo rocoso. Entonces para estas labores mineras se establece una altura de banco de 5 metros que permitirá tener las siguientes ventajas:

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinaria, pues el alcance de las maquinarias de carga permite un mejor saneo y limpieza de los frentes cuando sea necesario.
- El control de las desviaciones de las barrenos es mas efectivo para las perforadoras.
- Mayor control sobre la fragmentación de la roca en la voladura.
- Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre bancos
- Menores niveles de vibraciones y onda aérea, al ser las cargas operantes mas pequeñas.

4.2.2.4 Anchura de tajo

Se define como la anchura mínima del banco de trabajo que será la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente. En la Fig 4.4 se representa los tres procesos básicos que tienen lugar en el interior de la explotación: perforación, carga y transporte.

4.2.2.5 Angulo de cara de banco

El ángulo de cara de banco esta en funcion del tipo de material y altura de banco. El material (lutitas y aglomerado) presenta condiciones aceptables de estabilidad, en base a las características estructurales y evaluación geomecánica, por lo que se establece un ángulo de cara de talud de 70°.

4.2.2.6 Pistas y accesibilidad

Se deberán diseñar caminos hacia los frentes de explotación, la importancia de estos radica en lograr facilidades de acceso que brinden al personal y maquinaria condiciones seguras de operación minera. Estos caminos tienen que tener un ancho de vía mínimo de 6 metros y una pendiente de 10% para la actividades a realizarse.

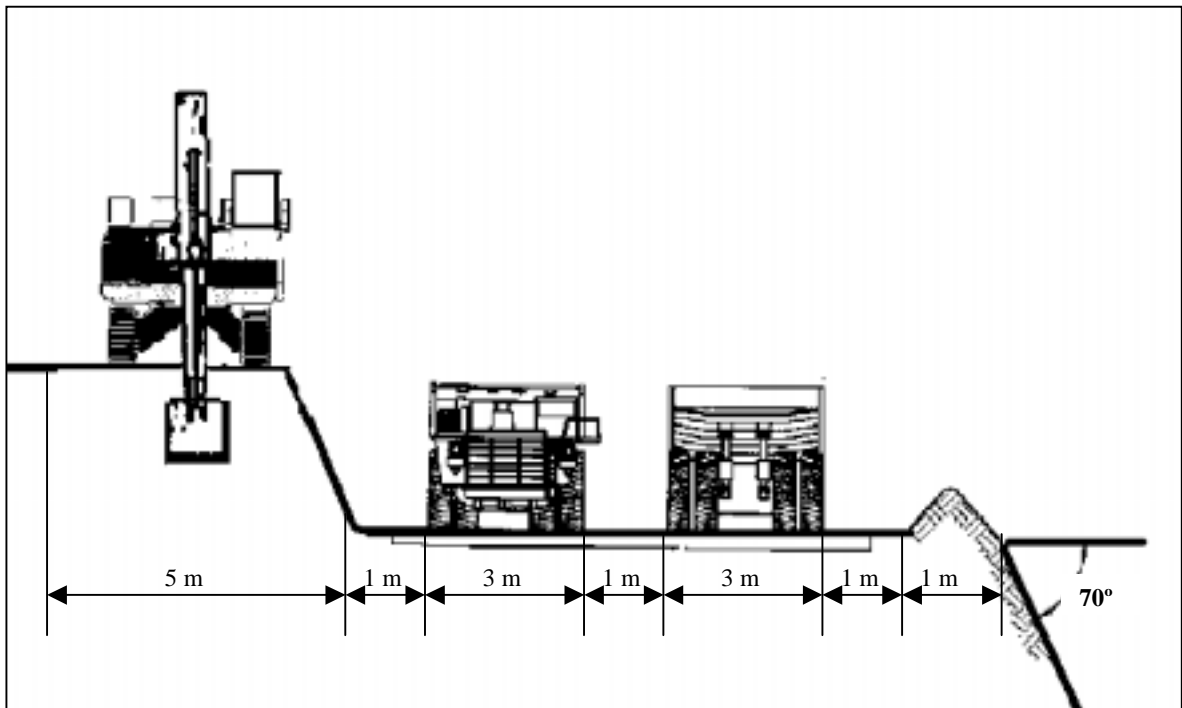


Fig 4.4 Anchura de tajo (mínimo) para las operaciones de extracción

4.3 Planificación del movimiento de tierras para el aprovechamiento de las zeolitas naturales.

Los aspectos concernientes a la planificación de la extracción de zeolitas naturales estará de acuerdo a la disponibilidad de reservas explotables que se definan en el yacimiento. En base a la estimación de reservas, en primera instancia se planificará es la extracción del **SECTOR J**, debido a que presenta las mayores y mejores cantidades de rocas zeolitizadas, que el resto de los sectores estudiados y evaluados. En la tabla siguiente se muestra la estimación de reservas en el **SECTOR J**.

**TABLA 4.10
RESERVAS EN EL SECTOR J**

SECTOR J							
NIVELES	Mineral			Estéril			RMG
	(m3)	(ton)	(ton acumuladas)	(m3)	(ton)	(ton acumuladas)	
Cota 90---Cota 85	32473	55204	55204	1550	2635	2635	0,0
Cota85 --- Cota 80	49472	84102	139307	14400	24480	27115	0,2
Cota 80--- Cota75	80972	137652	276959	68625	116663	143777,5	0,5
Cota 75--- Cota 70	138693	235778	512737	83950	142715	286492,5	0,6
Cota 70---Cota 65	191390	325363	838100	141300	240210	526702,5	0,6
Cota 65--- Cota 60	223965	380741	1218841	235675	400648	927350	0,8
Cota 60--- Cota 55	260418	442711	1661551	332175	564698	1492047,5	0,9
Cota 55---Cota 50	299567	509264	2170815	481575	818678	2310725	1,1
Cota 50---Cota 45							
Total	1276950	2170815		1359250	2310725		

De acuerdo a el Ratio Medio Económico (RME) el total de reservas para la extracción será la que tenga ratios menores RME, con lo que se determina, que hasta la cota 60 se podrá extraer zeolitas naturales manteniendo una rentabilidad económica. Por lo tanto la cantidad estimada de reservas será de 1'2118841 toneladas de rocas zeolíticas y el estéril a extraer será de 927.350

toneladas, teniendo presente que lo que se desea es lograr formar terrazas, para fines de construcción del Parque Tecnológico-ESPOL.

4.3.1 Determinación de la vida óptima de explotación

Para determinar la vida óptimo de explotación se aplica la fórmula empírica denominada la Regla de Taylor (1976).

$$VOE(años) = 6.5 * (Reservas(Mt))^{0.25} * (1 \pm 0.2)$$

VOE: Vida Optima de Explotación

Mt· Millones de toneladas

Para los cálculos pertinentes se tiene que:

$$VOE = 7 \text{ años}$$

$$Mt = 1.218841 \text{ toneladas}$$

Se determina que la vida óptima de explotación aproximadamente será para 7 años. Con este parámetro se determina la planificación de la producción que regirá durante el periodo antes mencionado. Ver tabla 4.8 y tabla 4.9.

TABLA 4.11
PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE CANTERA

Vida Optima de explotación	7 años
Reservas de mineral estimadas	1218841 toneladas
Material Estéril	927350 toneladas
Ritmo de Explotación	306599 toneladas por año
Días de trabajo	300 días al año
Extracción por día	1022 toneladas

TABLA 4.12
CRONOGRAMA DEL PLAN DE PRODUCCIÓN ANUAL

4.3.2 Plan de las actividades del movimiento de tierras para el aprovechamiento de las zeolitas naturales.

4.3.2.1 Preparación del área para las actividades

La preparación de las labores de movimiento de tierras en primera instancia está condicionada primeramente para el sector J que tiene una superficie de 60 hectáreas, en este sector después de ejecutar el movimiento de tierras se tiene planificado realizar construcciones de edificación. Se ha previsto un movimiento de tierras para el aprovechamiento de las zeolitas hasta la cota 60 m.s.n.m, que es hasta donde se puede extraer manteniendo una rentabilidad en las operaciones. La estabilidad de la zona es buena por lo que se puede desarrollar las labores de movimiento de tierras en condiciones aceptables de seguridad, sin embargo se debe de aplicar siempre las normas de seguridad minera en los frentes de explotación. El drenaje de las lluvias se desarrollará por las quebradas naturales principales, a los extremos este y al oeste con que cuenta el área de estudio. Se tiene proyectado ubicar las bodegas, talleres oficinas en el sector C así como un patio de almacenamiento temporal de mineral.

4.3.2.2 Trabajos básicos de destape, desarrollo y extracción.

La vía Perimetral es la principal ruta de accesibilidad al área de estudio, siendo indispensable adecuar las vías de tercer orden con que cuenta la zona del Parque Tecnológico Campus-ESPOL y también preparar otras vías de acceso a los frentes de extracción con una pendiente de alrededor de 10%.

Se desarrollará las actividades del movimiento de tierras desde la cota 90 m.s.n.m hasta la cota 60 m.s.n.m en el sector J. Se procederá a indicar la apertura necesaria para comenzar el franqueo, estableciendo los niveles del movimiento de tierras, efectuando plataformas, y que será sobre los mismos que se establecerá una secuencia de banqueo descendente y en dirección N 20 E hacia el SO de tal forma de cortar de forma transversal los estratos de roca.

La altura de los bancos se establecerá de 5m. de altura preferentemente que se desarrollarán en forma escalonada desde la cota 90 m.s.n.m hasta la cota 60 m.s.n.m. siguiendo el franqueo de corte empleando donde el método de avance será en paralelo y en forma continua. El arranque de los estratos rocosos se los efectuará en general con maquinaria de corte directo, y discretamente se utilizara perforación y voladura. El transporte se lo efectuará con volquetes de 14 m³ o mayor.

TABLA 4.13
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES MINERA

Actividades	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Preparación <ul style="list-style-type: none"> Preparación de terreno. Construcciones civiles. Adecuación de vías. Obras de drenajes. 							
Destape <ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento de vías. Apertura de los frentes. Construcción de vías. Mantenimiento de vías de acceso. 							
Desarrollo <ul style="list-style-type: none"> Apertura de los bancos de extracción. 							
Movimiento de tierras (Explotación) <ul style="list-style-type: none"> Extracción de estéril Extracción de roca zeolitizada. 							

4.4 Plan de manejo ambiental.

4.4.1 Introducción.

El siguiente Plan de Manejo Ambiental contempla todos los procesos que deben seguirse para evitar, mitigar, corregir, restaurar y compensar los daños ocasionados por el movimiento de tierras en la fase de extracción de zeolitas naturales hasta el abandono de la actividad.

4.4.2 Objetivos.

- Desarrollar planes que ayuden a evitar o corregir los impactos generados en las distintas etapas de la extracción de las zeolitas.
- Diseñar acciones específicas que optimicen la producción de zeolitas, para el aprovechamiento racional de este recurso.

4.4.3 Identificación de los impactos

4.4.3.1 Impactos sobre la atmósfera

- **Emisión de polvo y partículas sólidas**

La generación de **polvo** se producirá principalmente por las operaciones de:

Arranque

El movimiento de tierras se ejecutará principalmente con perforadoras manuales. Esta acción constituye una fuente puntual y localizada de una mínima generación de polvo. Su impacto es compatible, temporal y localizado.

- ***Carga y transporte***

Estas acciones se las ejecuta en camiones, los cuales, en su recorrido por las vías de acceso a los frentes de explotación, levantan una gran cantidad de polvo, que con la ayuda de los vientos podrían tener un impacto significativo en los alrededores donde se ejecutará el movimiento de tierra. Cabe señalar, que el nivel de calidad de aire permitido por NAAQS (National Ambient Air Quality Standards), para un promedio de 24 horas, es de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$, . Su impacto es compatible y temporal.

- ***Producción de gases***

Estos se generan por la operación de la maquinaria de arranque excavadora, tractor y por camiones que transportarán el material removido. En consecuencia, su generación es debida a la combustión de diesel, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, plomo; son los principales y más comunes gases emitidos en el área. El impacto es compatible, temporal y localizado, y dura mientras está en operación la maquinaria minera anteriormente mencionadas.

- ***Ruido***

La alteración sónica es igualmente producida por la maquinaria (buldózer, excavadoras y perforadoras manuales) de modo temporal y discontinua, además se considera el impacto de los bloques sobre los volquetes. Este impacto es compatible, temporal y localizado.

4.4.3.2 Impacto sobre el agua

- **Agua superficial**

Cuando haya precipitación, esta será impactada básicamente por sólidos finos procedentes de la excavación y de las discretas perforaciones que se realicen, las cuales serán transportadas por la esorrentía superficial hacia la quebrada existente, y por tanto, su impacto será compatible, temporal y extensivo, y por consiguiente, durante el tiempo que dure el movimiento de tierras.

- **Agua subterránea**

La contaminación podría darse por un mal manejo de combustibles y que se infiltren a través de las discontinuidades existentes.

- **Sedimentación**

El transporte de sólidos fundamentalmente está ligado a la presencia de las precipitaciones, en todo caso el aporte de sedimentos está ligado a su ocurrencia y a la generación de finos por atrición de las rocas por rodadura de la maquinaria pesada fundamentalmente, sólidos que luego constituyen la carga sedimentable y en suspensión de la corriente. Este impacto se lo puede considerar moderado, temporal y localizado.

4.4.3.3 Impactos sobre el suelo

La presencia de este recurso como sobrecarga en las áreas de trabajo, exige su necesaria retirada, por consiguiente, el impacto es severo, debiéndose

considerar como permanente y localizado.

- **Erosión**

La presencia de arbustos y hierba inhiben la erosión del suelo, el proceso erosivo ocurre en las áreas descubiertas y sólo ligado a los residuos del mismo sobre el yacimiento y es de carácter “en cárcavas” durante la temporada lluviosa. El impacto es severo, permanente y localizado.

- **Disposición de escombreras y stocks**

El apilamiento de escombros y stocks ocuparán una considerable parte de la superficie, produciéndose la remoción o el sepultamiento del suelo, aunque no reviste mayor importancia, en vista de que es un área para construcción de edificaciones. Pero se debe considerar la revegetación de las escombreras con especies vegetales del lugar.

El impacto es severo, localizado y permanente en el caso de las escombreras y compatible, localizado y temporal en el caso de los stocks.

4.4.3.4 Impacto sobre la morfología y el paisaje

El movimiento de tierras a desarrollarse producirá un mayor impacto considerable en la morfología y el paisaje. Pero por la construcción del Parque Tecnológico estos serán atenuados. El impacto será compatible y temporal y podrá ser atenuado en el futuro.

4.4.3.5 Impacto sobre la flora

El movimiento de tierras causará un efecto considerable e irreversible a menos que se tomen medidas para atenuar el impacto. Cabe señalar que la ejecución de estos trabajos provocará que gran parte de la cobertura vegetal sea eliminada. Este impacto es severo y localizado.

4.4.3.6 Impactos sobre la fauna

La actividad ha realizarse provocará la generación de ruidos especialmente por las jornadas de trabajo y camiones que acentúa el impacto, pues los animales al buscar refugio se alejarán del área y ésta es una razón de ausencia casi total, tanto de especies terrestres como de aves. No obstante, se tienen en el área lagartijas, serpientes, ardillas y aves que se lograron encontrar.

La retirada de la sobrecarga(suelo), causa un impacto severo e irreversible con la fauna edáfica fundamentalmente. El impacto se considera severo, temporal y extensivo.

4.4.3.7 Alteraciones en los procesos geofísicos

Esta se debe por lo general a la geodinámica externa pero puede atenuarse. Pese a la inusual y elevada precipitación, en la época invernal, la escorrentía superficial y la descarga de importantes caudales se ha dado sin riesgo de inundación.

Como la erosión es fundamentalmente debida a la escorrentía superficial, ella

misma es la fuente de aportes de detritos, que se depositarán en los canales de drenaje o serán transportados en suspensión hacia la quebrada. Este impacto es moderado y temporal.

Las vibraciones están relacionadas al movimiento de maquinarias pesadas y tránsito de camiones. Estos impactos son compatibles y temporales.

4.4.4 Plan de mitigación.

La mitigación consiste en atenuar o minimizar el impacto producido por cualquier acción sobre el medio ambiente. La extracción de zeolitas naturales que se llevará a cabo dentro del Campus de la ESPOL consiste en un movimiento de tierras para posteriormente ejecutar la construcción de un Parque Tecnológico, siendo indispensable en su primera fase la remoción del suelo, cobertura vegetal, construcción de obras civiles para oficinas, bodegas y talleres, instalación de obras de infraestructura para las maquinarias, el almacenamiento y transporte de las zeolitas naturales.

Para tratar de minimizar los impactos al medio ambiente se han de tomar en cuenta las siguientes caracterizaciones generales:

- El diseño adecuado y óptimo del movimiento de tierras, el cual, debe ser elaborado de tal manera que se optimicen todos los recursos materiales para que las afectaciones al entorno sean mínimas.

- La fase de Preparación del terreno que conlleva a la remoción y almacenamiento del suelo, se tomará en cuenta con los lineamientos que permitan la conservación y preservación del mismo para su posterior uso después de suspender las actividades y efectuar las labores de restauración, en acción coordinada a la construcción del Parque Tecnológico.
- La fase de Arranque debe de diseñarse para que las dimensiones del material extraído sean las más apropiadas para la comercialización a las empresas de procesamiento de zeolitas naturales.
- Se debe realizar un diseño de captación de esorrentía que minimice el ingreso de aguas meteóricas al cuerpo explotable.
- Se debe llevar a cabo un plan de control periódico del uso de aceite y combustible de la maquinaria, de tal forma que se asegure un óptimo rendimiento y una mínima contaminación atmosférica por emisiones de gases.

4.4.5 Medidas ambientales a ser aplicadas

Analizados los elementos ambientales y las acciones que se llevarán a cabo en la extracción de las zeolitas naturales, se ha determinado los impactos mas relevantes generados a lo largo del proyecto, y a continuación se menciona las medidas generales de prevención, esquematizándolas de la siguiente tabla.

**TABLA 4.14
MEDIDAS DE PREVENCIÓN**

PRINCIPALES MEDIOS IMPACTADOS	IMPACTOS GENERADOS	MEDIDAS
<u>Atmósfera</u>	1. <i>Generación de polvo</i>	- Perforar con captadores de polvo. - Retiro periódico del polvo (detritus) provocado por las labores de perforación.
	2. <i>Emisión de gases</i>	- <i>Ajuste del sistema de emisión (escape) de la maquinaria de laboreo y vehículos.</i>
	3. <i>Generación de ruido</i>	- Mantener en buen estado los silenciadores de la maquinaria y vehículos. - Recubrir con caucho los elementos metálicos de la maquinaria que sufren los impactos de roca. - <i>Buen diseño de carga de explosivo</i>
<u>Suelo</u>	4. <i>Ocupación irreversible por la creación de la cantera</i> 5. <i>Deposito de escombreras</i>	- <i>Retirada y acopio de la tierra vegetal</i>
<u>Morfología y Paisaje</u>	5. <i>Creación de canteras temporales</i> 6. <i>Deposito de escombreras</i>	- Remodelar la topografía alterada - <i>Redondear los taludes para eliminar aristas</i>
<u>Flora y fauna</u>	6. <i>Eliminación parcial de hábitats vegetales terrestres</i>	- Revegetación con especies autóctonas en áreas verdes del Parque Tecnológico. - <i>Conservación de los Ceibos del sector, evitando la explotación en los lugares donde se encuentran ubicados.</i>
	7. <i>Retirada del suelo vegetal</i>	- Preparación y acondicionamiento del suelo retirado para posibilitar la vegetación de los sectores destinados a áreas verdes en el Campus Politécnico.
<u>Procesos Geofísicos:</u> <u>Erosión y Sedimentación</u>	8. <i>Generación de partículas sedimentables (polvos) por las operaciones de retirada de la sobrecarga, creación de pistas de acceso movimientos de tractores y tránsitos de volquetes.</i>	- <i>Control de la escorrentía superficial y asegurar un drenaje general.</i>

4.4.6 Plan del manejo de la producción.

En el manejo del material explotado, para atenuar la contaminación por polvo, se tiene que implementar un regado continuo en las pistas de transporte, plataforma de trabajo y patio de almacenamiento del material, así como también, para lo cual se necesitará un tanque de cisterna y difusores.

4.4.7 Plan de revegetación.

En el sector no existe vegetación de mucha importancia, exceptuando los ceibos que son las especies vegetales más importantes por el tiempo que demoran en alcanzar su madurez (estado actual), por lo tanto, no es necesaria la revegetación dentro del área de ejecución de las labores de movimiento de tierras, pero si es necesaria la no eliminación de la *Ceiba sp* que incluso serviría como un atractivo para el Parque Tecnológico.

4.4.8 Plan del manejo de suelos.

Es necesario seleccionar una superficie aplanada para el acopio del suelo, el mismo que debe ser preservado hasta su reutilización. Para ello es necesario evitar: su compactación, mediante la creación de montículos menores a 3 metros de altura; su erosión por viento y agua, con la colocación de una cubierta plástica o geomembrana.

4.4.9 Plan de manejo de escorrentía

Crear canales de drenaje para el desvío del sentido de la escorrentía y de esta manera lograr la acumulación de sedimentos, los cuales tienen que ser removidos para otro uso. Desviar el drenaje en el sentido contrario al buzamiento de capas para evitar deslizamientos.

4.4.10 Plan de rehabilitación paisajístico

El plan de rehabilitación se realizará teniendo en cuenta el uso posterior que se le va a asignar al área, es decir a la construcción del Parque Tecnológico.

Por lo tanto, deberán de hacerse cortes en los taludes y arreglos morfo-paisajísticos que faciliten y favorezcan la construcción de los diferentes edificios y áreas que se contemplan en los planos de construcción.

4.4.11 Plan de monitoreo y seguimiento.

Se debe realizar mediciones mensuales de la emisión de polvo, ruido y gas. Adicionalmente es necesario llevar un control de estructuración de los bancos, del drenaje, y de sedimentos acumulados en los sistemas de drenaje.

El seguimiento debe de darse también en la maquinaria de laboreo y vehículo. Con revisiones semanales por parte del personal de mantenimiento.

A partir de la información generada mensualmente es imprescindible realizar

cuadros que demuestren un avance o el control realizado a lo largo de ese período, para así elaborar un informe semestral de auditoría ambiental, el mismo que deberá ser presentado ante las autoridades municipales y mineras

4.4.12 Plan de contingencia.

En caso de lluvias fuertes o presencia de sismos podrían producirse deslizamientos no previstos. Para lo cual es necesario efectuar la extracción en sentido contrario a las disposiciones de las capas.

Para posibles accidentes se deberá de disponer de un vehículo permanente que traslade a la(s) persona(s) afectada(s) al dispensario médico de la ESPOL, ubicado a no más de cinco minutos del sitio de donde se ejecutará el trabajo. En caso de suma emergencia llevarlo a un hospital o clínica mas cercana.

4.4.13 Plan de educación ambiental.

El plan contará principalmente con un programa de difusión, concientización y capacitación. En la siguiente tabla se resume el plan de educación ambiental.

**TABLA 4.15
PLAN DE EDUCACIÓN AMBIENTAL**

Difusión	Publicación de las disposiciones legales, reglamentos y acciones ambientales tomadas para la ejecución del trabajo, a través de el Informativo semanal de la ESPOL.	
Concientización	Preparación y dictado de conferencias al personal sobre:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medio Ambiente ▪ Normas aplicables en la ejecución de los trabajos. ▪ Reglamento Ambiental, sus fines. ▪ Naturaleza, causa y efectos de los impactos ▪ Qué es la Mitigación, medidas ▪ Cómo enfrentar una Contingencia ▪ Voladuras ▪ El ruido, el polvo y sus medidas de control ▪ Qué es la rehabilitación ▪Cuál es la importancia del drenaje
Capacitación	Preparación y dictado de conferencias en:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riesgos de Trabajo y Seguridad minera ▪ Higiene Ambiental ▪ Comportamiento Laboral ▪ Qué es la estabilidad, cómo lograrla ▪ Maneto del suelo cómo un recurso ▪ Primeros auxilios ▪ Manejo de Equipos ▪ Ejercicios de cómo proceder en emergencias ▪ Manejo de explosivos
	Entrenamiento en:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primeros auxilios ▪ Manejo de Equipos ▪ Ejercicios de cómo proceder en emergencias ▪ Manejo de explosivos

4.4.14 Plan de manejo de escombreras.

Las rocas estériles de las labores de preparación se depositan generalmente en montones de fragmentos gruesos denominados escombreras. Estos materiales de desecho que plantean el problema de almacenamiento en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integración en el entorno. Considerando que el movimiento de tierra contempla el aprovechamiento de material zeolítico, los cuales casi en su totalidad presentan una calidad aceptable de 60 al 95 %. El material estéril será utilizado para la construcción de las vías de acceso, una

parte se dispondrá para el depósito de escombreras y una parte tendrá que ser expedida fuera de los linderos de la ESPOL, a zonas cercanas que necesiten material de relleno. También será destinado al relleno de las zonas más bajas, con el fin de planimetrar. Para ello se tomará en consideración las normas estipuladas en el reglamento ambiental de la ley de minería. Tratándose de material no metálico, no presentará conflictos con su entorno. Se tendrá que tomar muy en cuenta el caso de los materiales muy finos, con ellos se procederá a ubicarlos en depresiones que no se conecten con el drenaje natural de las aguas. De ser necesario se procederá a la construcción artificial de las mismas. Los lugares para la colocación de las escombreras se irán escogiendo conforme al requerimiento, previéndose su utilización para la construcción de un embalse artificial, relleno en ciertos sectores, etc; por lo que, se elegirá un sitio cercano al mismo.

4.4.14.1 Lugar de emplazamiento.

La elección del emplazamiento de una escombrera se debe basar en criterios de diversa naturaleza: técnicos, económicos, ambientales, y socioeconómicos, principalmente.

El criterio específico más importante que repercute en la disposición de la escombrera es la distancia desde las labores de movimiento de tierras hasta la localización de la misma. En el caso de nuestro estudio se prevé que se la debe ubicar entre 6 a 10 Km. de distancia desde el lugar de trabajo, de tal manera que no afecte a los costos de operación.

La capacidad de almacenamiento estará impuesta en conjunto por:

- Volumen de estéril a mover
- Las alteraciones potenciales que pueden producirse sobre el medio natural y
- Las restricciones ecológicas existentes en el área de implantación.

El diseño de una escombrera que se puede implementar en este sitio es de tipo superpuesta y retranqueada el cual aporta mayor estabilidad, por cuanto se disminuye los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

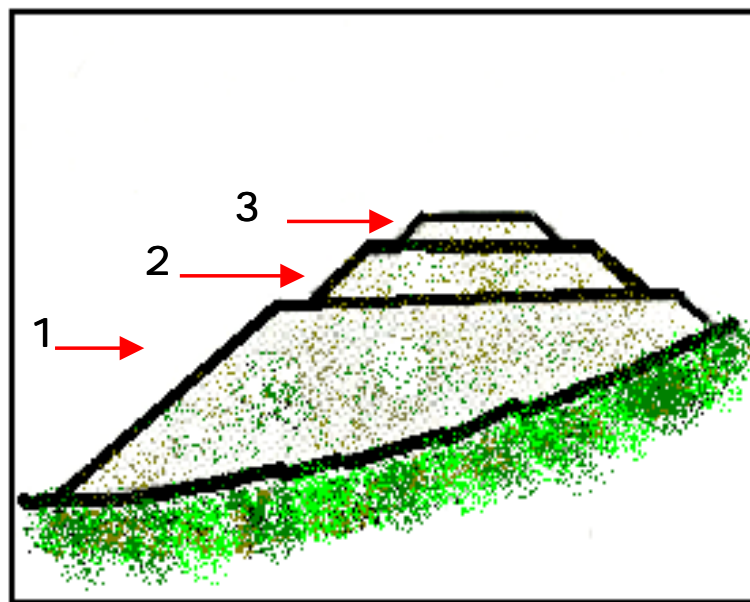


Fig 4.5 Forma de construcción de una escombrera de tipo de fases ascendentes.

4.4.15 Plan de abandono.

Se debe implantar todas las normas concernientes a mejorar la estabilidad de las masas de escombros frente a los deslizamientos. Una normativa es la remoción de la cobertura vegetal en el lugar de asentamiento almacenándolo para su uso posterior en la restauración de estos terrenos. La no retirada de la cobertura vegetal traería como consecuencia una zona de rotura probable por la resistencia al corte. Por lo tanto sería una zona proclive a deslizarse. En el caso de no retirar estos materiales superficiales, porque el espesor sea separado mediante una capa de arcilla, se recomienda compactar el suelo. Desarrollar sistemas de drenajes para evitar la erosión en la superficie del talud y por otro lado las presiones intersticiales y los efectos desestabilizadores. Una medida correctora es disminuir la pendiente del talud mejorando el coeficiente de seguridad.

Terminada la ejecución de la extracción de las zeolitas y desarrollado el terraceo, y los depósitos de escombreras estabilizados se iniciará el plan de construcción del Parque Tecnológico.

La maquinaria de laboreo será utilizada para el acondicionamiento del terreno para la creación de la infraestructura y labores de restauración. El suelo removido al inicio de las operaciones de preparación del terreno será dispuesto en aquellos sitios destinados a los espacios verdes del Parque Tecnológico.

CAPITULO 5

PREPARACION DE

ZEOLITAS NATURALES

5.1 Introducción

La perspectiva de emplear ampliamente las zeolitas naturales para la economía nacional esta relacionada considerablemente con los problemas de su obtención a partir de la materia prima zeolítica minera con el fin comercial, que satisface los requisitos de la industria ramal de consumo. En relación con esto, particular importancia tiene el problema sobre su trituración, el beneficio y la granulación. Como es de conocimiento general en los momentos actuales la preparación de las zeolitas naturales cobra interés cada vez mayor, debido a que ya existen demandas de este mineral dentro de nuestro país, en especial en las ramas de la agricultura con lo que se esta abriendo un gran campo para que en un futuro se extienden en otras ramas de la industria como: Alimentación, Producción de Cementos Mezclados, intercambiadores iónicos, descontaminación ambiental y otros. Para estas aplicaciones las zeolitas naturales requieren de su preparación tecnológica adecuada mediante procesos que contemplen entre otros:

- a) Trituración Clasificación y molienda.
- b) Tratamientos termo-químicos.
- c) Beneficio y mejoramiento del mineral.

De esta forma se tendrá una gama amplia de productos para una aplicación o uso especial.

5.2 Características básicas de la zeolitas naturales para su fragmentación.

La caracterización de cualquier zeolita siempre incluye la descripción básica de sus características mineralógicas y una evaluación al cambio con el efecto de la humedad las cuales son consideradas para las aplicaciones comerciales específicas.

El material útil como zeolitas encontrado en los terrenos del Parque Tecnológico ESPOL, por su origen, características texturales y estructuras, se fractura de forma natural según una ruptura propia concoidal, así como por los planos de fracturas debido a intercalaciones de patinas de hierro y manganeso. Lo que ocasiona que una inadecuada trituración que conlleve para el caso específico una producción de fracciones no apropiadas para su utilización práctica, particularmente debido a una alta proporción de partículas planas y alargadas, con ángulos y perfiles filosos y en formas de agujas. Las características físicas de las zeolitas naturales van a ser constantes o variables dentro de rangos bien definidos.

Cabe señalar que de acuerdo a los análisis de difracción de rayos X tenemos tres especies de zeolitas que predominan con altos porcentajes en las rocas lutitas tobáceas y tobas. Por lo tanto las propiedades físicas macroscópicas que se describen son referentes a este tipo de rocas con contenidos de zeolitas del 60 al 98 %. Generalmente las zeolitas que se destacan son la clinoptilolita y estilbita. La textura que se aprecia es microcristalina y varia de grano muy fino a medio con presencia de

pequeñísimas laminaciones. El color varia de crema amarillento claro a café oscuro, y presenta un aspecto muy consolidado y ligero, con una conducta frágil al aplicarle un esfuerzo. De fractura concoidea y bordes muy filosos con brillo mate; este mineral tiene una dureza 5 – 6 en la escala de Mohs, y un peso especifico 2.2 g/cm^3 .

TABLA 5.1
CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPO DE ROCA

Tipo de Roca	Lutita Tobácea
Cantidad de Mineral de Zeolita en la Roca	Entre 60 – 95 %
Tipos de Zeolitas	Clinoptilolita, Estilbita
Minerales Accesorios	Cuarzo , Feldespatos (Albita), Smectita (Saponita), y Calcita.
Resistencia a la Compresión Simple	50 MPa
Dureza Vickers	1010 Kg/mm ²
Porosidad	Entre 15 %
Resistencia al Desgaste (Abrasión de los Ángeles)	33 %

TABLA 5.2
PARAMETROS DE LAS ZEOLITAS NATURALES EN EL BTEZ

PARÁMETROS *	SIGLAS	UNIDADES	VALOR
Calor de Inmersión	ΔT	°C	12.2
Contenido de Zeolita	%Z	%	76
Capacidad de Intercambio Catiónico	CICT	meq/100g	115
Capacidad de adsorción	a	mmol/g	6.49
Volumen de microporo	W	cm³/g	0.117
Peso Volumétrico	PV	g/ cm³	1.2
Peso específico	PE	g/ cm³	2.2

Fuente: Proyecto Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales

5.3 Ensayos de caracterización de zeolitas naturales

5.3.1 Granulométrica

Los productos de una operación de fragmentación forma lo que se llama una dispersión sólida. La granulometría es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de los granos de una dispersión con el fin de tener un control de trabajo de las máquinas y un control de la calidad de los productos fragmentados.

En referencia a lo anterior, se procedió a realizar análisis de granulometría de muestras del BTEZ.

5.3.1.1 Análisis granulométrico⁹

Técnica

Este método describe un procedimiento para determinar la distribución de los tamaños de partículas por medio del cribado.

- **Resumen del método**

Se separa en porciones una muestra determinada del material. Seco haciéndola pasar a través de una parte progresiva de mallas para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

- **Aparatos**

Balanza.- La balanza tendrá una sensibilidad de por lo menos 0.1 por ciento del peso de la muestra ensayada.

Mallas.- Las mallas estarán montadas en marcos contruidos de tal manera que no se pierda material durante el cribado. Se seleccionarán mallas de tamaños adecuados para obtener la información que se requiera según las especificaciones aplicables al material ensayado.

Equipo RO – TAP.

- **Muestras.**

Las muestra para análisis granulométrico se obtendrán de los materiales que se vayan a ensayar por medio de un muestreador o por un método de cuarteo. La muestra de ensayo tendrá aproximadamente el peso de un kilogramo y será el resultado final del método de muestreo. No es necesaria la selección de muestras de un peso exacto determinado.

- **Procedimiento.**

Séquese la muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Sepárese la muestra en una serie de tamaños, usando todas las mallas que sean necesarias, para determinar si el material ensayado cumple con las

especificaciones aplicables. Realícese la operación de cribado por medio de el equipo RO-TAP. Determinése el peso de cada tamaño, pesándolo en una balanza que cumpla con los requisitos especificados con aproximación de 0.1 por ciento del peso de la muestra.

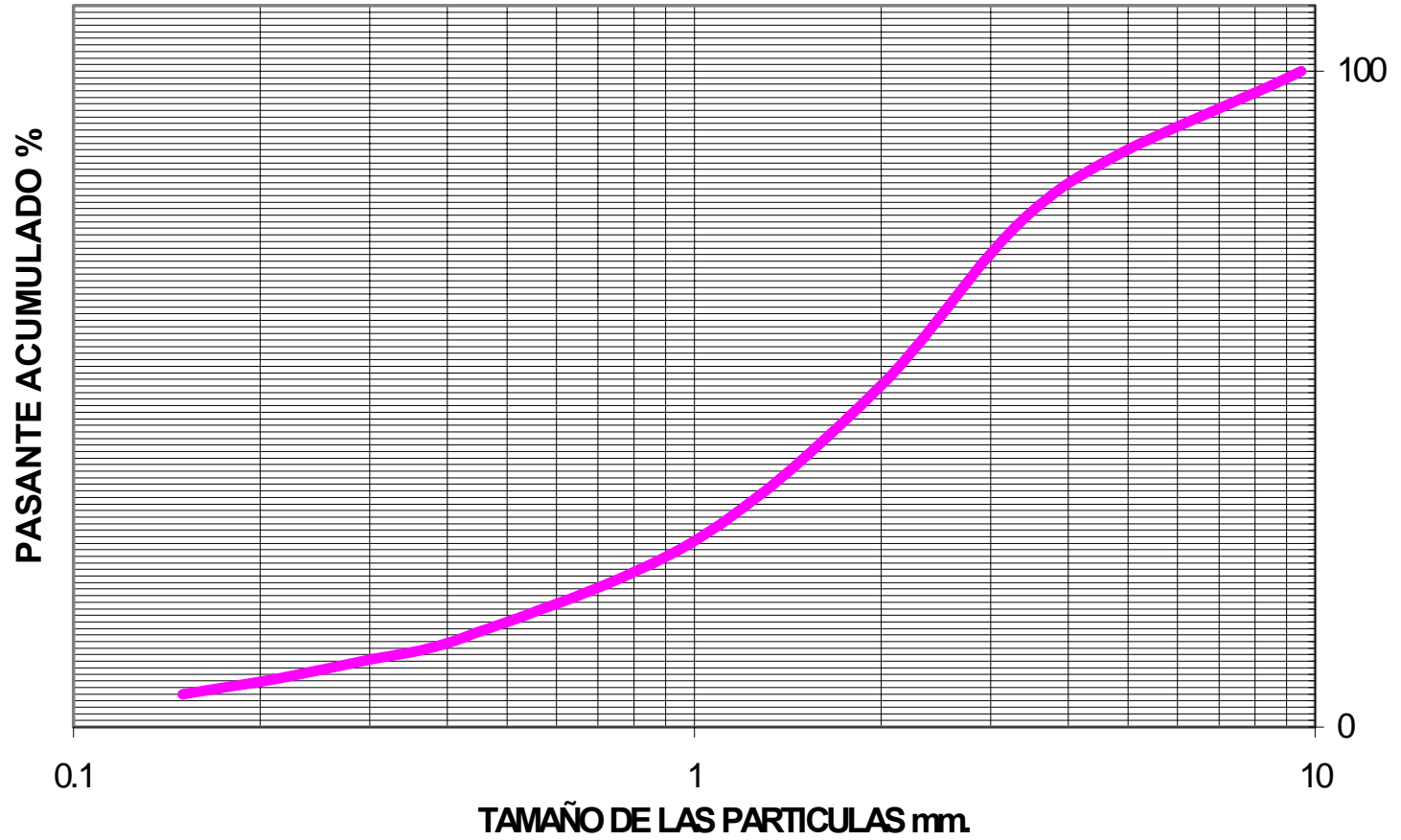
- **Cálculos.**

Calcúlese los porcentajes basándose en el peso total de la muestra.

**TABLA 5.3
RESULTADOS DE LA GRANULOMETRIA**

N° TAMIZ" ASTM	ABERTURA MALLA (mm)	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3/8"	9.5	0	0	0	100
5	3.758	298	29,5635	29,5635	80,0000
10	2,000	210	20,8333	50,3968	49,6032
18	1,000	222	22,0238	72,4206	27,5794
40	0,425	140	13,8889	86,3095	13,6905
50	0,300	34	3,3730	89,6825	10,3175
70	0,212	30	2,9762	92,6587	7,3413
100	0,150	24	2,3810	95,0397	4,9603
FONDO		50	4,9603	100,0000	0,0000
TOTAL		1008	100,0000		

CURVA GRANULOMETRICA



5.3.2 Ensayo de desgastes¹⁰

La resistencia a la abrasión de las rocas zeolitizadas se determinara por medio de la maquina los ángeles.

- **Alcance**

Este método cubre un procedimiento para ensayar los tamaños de agregado grueso mas pequeños que 3.8 cm (1 ½) para resistencia la abrasión usando la maquina de ensayo de los Ángeles.

- **Aparatos**

Máquina de los Ángeles.- Deberá usarse la máquina Los Ángeles para el ensayo de abrasión de acuerdo con todas sus características esenciales de diseño mostradas con las figuras 5.1. La máquina consiste de un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, de diámetro interior de 71 cm (28”) y una longitud interior de 51 cm (20”).

El cilindro se montará sobre unas flechas fijadas en sus extremos sin entrar en él , de tal forma que pueda girar con respecto a su eje en posición horizontal.

Deberá proveerse una abertura en el cilindro para la introducción de la muestra de ensaye. Se deberá promover una tapa adecuada que impida el paso del polvo por abertura , por medio de los pernos de la misma. La tapa será de tal diseño que se mantenga el contorno del cilindro de la superficie interior a menos que el anaquel se coloque para que ha estar en contacto con ella durante el ensaye . Un anaquel de acero removible se proyecta radialmente con

9 cm (3 ½) dentro del cilindro y extendiéndose en toda su longitud , se montará a lo largo de un de un elemento de la superficie interior del cilindro.

El anaquel será de tal espesor y se montará por pernos y otros medios aprobados , para que sea firme y rígido. La posición del anaquel será tal que la distancia desde el anaquel hasta la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro en la dirección de rotación , no será menor que 127cm (50').

Mallas de acuerdo con las especificaciones para mallas usadas en ensayos

- **Carga abrasiva.**

La carga abrasiva consistirá de esferas de acero de aproximadamente:

**TABLA 5.4
CARGAS ABRASIVAS**

Gradación	Numero de esferas	Peso de la carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3320 ± 20
D	6	2500 ± 15

TABLA 5.5
GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS

Abertura de Tamices			Peso en Gramos		
Pasante	Retenido	Gradación	Gradación	Gradación	Gradación
Tamiz	Tamiz	A	B	C	D
1 ½"	1"	1250 ± 25			
1"	¾"	1250 ± 25			
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10		
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	¼"			2500 ± 10	
¼"	Nº4			2500 ± 10	
Nº4	Nº8				5000 ± 10

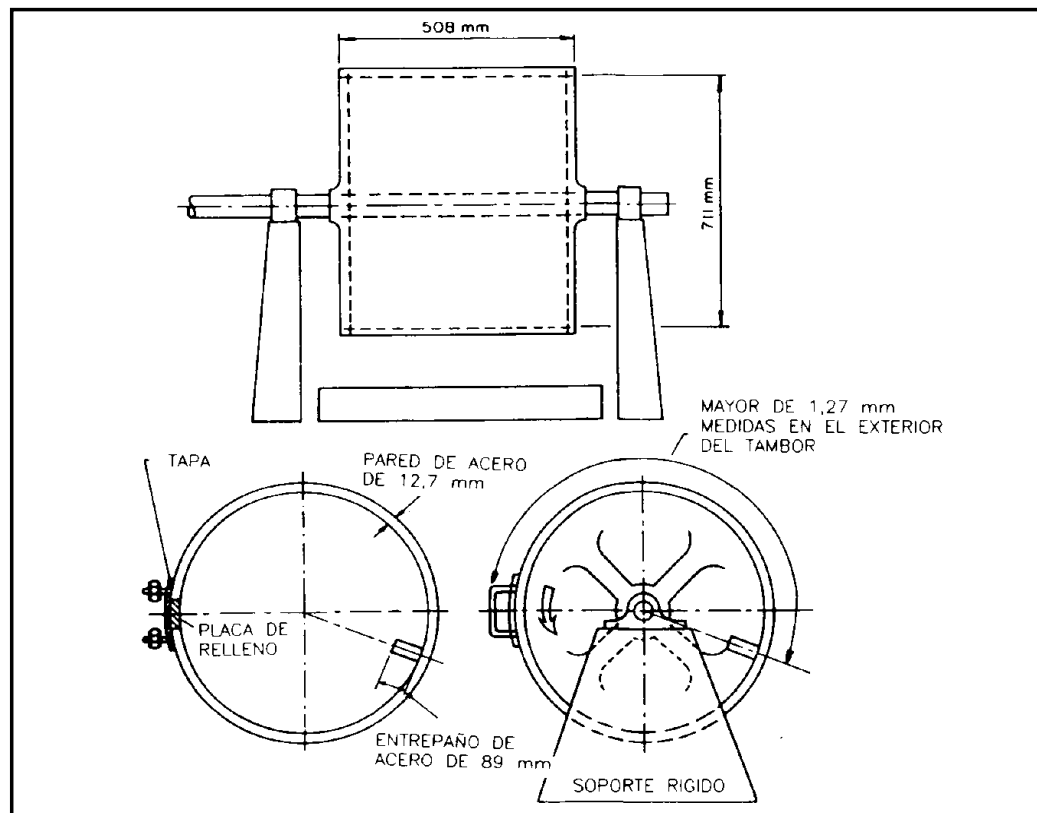


Fig 5.1 Maquina Los Angeles para Ensayos de Abrasión

TABLA 5.6
RESULTADOS DE ENSAYOS

Muestra	Peso inicial	Peso Final	Desgaste
AJ-1	5000	3206	36
AJ-2	5000	3500	30
AJ-3	5000	3300	34
Promedio			33

5.3.3 Trituración y/o molienda.

En 1951 Bond publico bajo el nombre tercera Teoría “la teoría dice que la energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la nueva longitud de fisura creada”. Traducida a formula de calculo esta teoría que ya se adapta bien a los casos reales, es al siguiente:

$$W = 10 * W_i * \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

Donde :

W: Consumo energético en Kwh. por tonelada corta.

(1 tonelada corta = 907,2 Kg)

d_{80} : Tamaño de malla por el que pasa el 80% del producto (mm).

D_{80} : Tamaño por el que pasa el 80% de la alimentación (mm) .

W_i : Work Index (Índice de trabajo o Índice de Bond). Indica la resistencia que ofrece cada material a ser triturado o molido y que depende de su naturaleza.

Su significado físico sería el del trabajo necesario para reducir una tonelada corta desde un tamaño “infinito” hasta 100 μm . El valor real se halla mediante ensayos normalizados adecuados. En la tabla 2 se muestra algunos ejemplos de este índice de Bond.

TABLA 5.7
Índices energéticos W_i

Baritina	6.24	Vidrio	12.31
Yeso	8.16	Caliza	12.54
Pirita	8.90	Porfido Cuprífero	12.73
Bauxita	9.45	Hematites	12.93
Cuarcita	9.58	Clinker	13.49
Fluorita	9.76	Cuarzo	13.57
Magnetita	9.97	Granito	14.39
Dolomita	11.31	Mineral de oro (conglomerado)	14.83
Mineral de Hierro oolítico	11.33	Lutita	15.7
Mineral de Plomo-Zinc	11.35	Andesita	22.13
Carbón	11.37	Sílice	26.16
Gres	11.53	Grafito	43.56
Feldespatos	11.67	Esmeril	58.18

La resistencia de una materia de fragmentación tiene una influencia mayor cuanto a la energía consumida. Esta resistencia a la fragmentación es un componente complejo de manejar dadas las distintas propiedades mecánicas de los materiales considerados, como, la abrasividad, la dureza, tenacidad, resistencia a la compresión, densidad, y otros. Cabe señalar que para el caso de la zeolitas naturales, se tomará un índice energético el de las lutita 15.7

En el proceso de trituración se pudo identificar el consumo energético empleando el molino de rodillo.

De acuerdo al análisis granulométrico mostrado en la tabla 5.3 se tiene un $d_{80} = 3.5$ mm.

Donde:

$$d_{80} = 3,5 \text{ mm}$$

$$D_{80} = 0,66 \times d_{100}$$

$$d_{100} = 9,5 \text{ mm}$$

$$D_{80} = 6,3 \text{ mm}$$

Aplicando la ley de Bond se tiene:

$$W = 10 * (15.7) * \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

$$W = 10 * (15.7) * \left(\frac{1}{\sqrt{3500}} - \frac{1}{\sqrt{9500}} \right)$$

$$W = 0.67 \text{ Kwh / Ton}$$

5.3.4 Pruebas de trituración¹¹

Las pruebas de trituración de las rocas zeolitizadas se las realizo en una trituradora de quijadas, con lo cual se determinó la forma de las partículas.

El método aplicado para determinar la forma de las partículas es el basado en la medida directa de sus dimensiones. Así se definieron los índices de lajas y de agujas como los porcentajes en pesos, respecto a la muestra total, de las partículas. Para la determinación de estos índices se aplicó la Norma Británica BS - 812

Procedimiento

- Para la realización del ensayo se tomaron 5000 g. de muestra fragmentada en trituradora de mandíbulas.
- Se procedió a realizar la operación del tamizado considerando las partículas entre 25.4 mm (1 pulg.) y 6.3 mm.
- La fracción a ensayar se hace pasar manualmente por cada una de las cribas, de modo independiente.
- La separación es a través de cribas metálicas, de ranuras especiales, para determinar el índice de lajas o de barras, y así determinar el índice de agujas o elongación.
- El cociente entre el peso de las partículas que pasa por el calibre de ranuras y el peso retenido de la muestra ensayada es el índice de lajosidad.
- El índice de agujas es el cociente entre el peso de la muestra retenida por el calibre de barras y el peso total de la muestra.

Tabla 5.8
ÍNDICE DE LAJOSIDAD

Material: Zeolitas Naturales			
Masa inicial: 5000 gr.			
TAMIZ		MASA RETENIDA	MASA QUE PASA CALIBRADOR
100% Que pasa (mm)	100% Retenido (mm)	(g)	(g)
25 (1 pulg)	20 (3/4 pulg)	129.5	102.5
20 (3/4 pulg)	12.5 (1/2 pulg)	903	537.5
12.5 (½ pulg)	10 (3/8 pulg)	1285,5	461,0
10 (3/8 pulg)	6.3	1042,5	538,5
TOTAL		M1=3360.5	M2=1639,5

IL = Índice de Lajosidad.
M1= Masa Remanente.
M2= Masa que pasa calibración.

$$IL = \frac{M 2}{M 1} * 100$$

Índice lajosidad = 48.78%

**TABLA 5.9
ÍNDICE DE ELONGACIÓN**

Material: Zeolitas Naturales				
Masa inicial: 5000 gr.				
TAMIZ		PARTÍCULAS ELONGADAS MASA RETENIDA	MASA QUE PASA CALIBRADOR	MASA TOTAL
100% Que pasa (mm)	100% Retenido (mm)	(g)	(g)	(g)
25 (1 pulg)	20 (3/4 pulg)	73	318.5	391.5
20 (3/4 pulg)	12.5 (1/2 pulg)	203	1021	1224
12.5 (½ pulg)	10 (3/8 pulg)	206	1511	1717
10 (3/8 pulg)	6.3	382	1285.5	1667.5
TOTAL		M3= 863.5	M2=4136.5	M1= 5000

I_e = Índice de elongación (porcentaje por peso de partículas alargadas)

M2 = Masa remanente.

M3 = Masa Total de partículas elongadas.

$$I_e = \frac{M_3}{M_1} * 100$$

Índice de elongación = 17 %

5.4. Clasificación

Para obtener un material zeolítico de alta pureza, es imprescindible emplear, en ocasiones especiales, métodos de beneficio a las zeolitas naturales, aplicando métodos de concentración por gravedad o empleando flotación de minerales.

Las zeolitas naturales según su destino de aplicación, precisan tener una granulometría determinada comprendida entre ciertos límites, como se muestra en la siguiente tabla 5.10.

Hay que señalar que normalmente los productos provenientes de la trituración y molienda no se ajustan directamente a las especificaciones granulométricas, por lo que se hace necesario, disponer de unos procedimientos de selección por tamaños que permitan obtener fracciones adecuados para los usos.

Considerando el empleo integral de la materia zeolítica y dependiendo de los procesos tecnológicos, se puede aprovechar las zeolitas naturales en todas sus fracciones, desarrollando una tecnología sin desechos, en la cual se puede utilizar las diferentes fracciones granulométricas para sus aplicaciones. Ver tabla 5.10.

TABLA 5.10
APLICACIONES DE LAS ZEOLITAS
NATURALES SEGÚN LA GRANULOMETRÍA

Fracción Granulométrica	APLICACIONES
Menor de 1 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento activo para suelos de las piscinas camaroneras, como activador biológico. • Aditivo mineral para la formulación de alimentos balanceados para todo tipo de animal • Captación de aflatoxinas en granos y semilla.
Entre 1 y 3 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclada con los fertilizantes químicos NPK sustituyendo un 25% de los mismos o con urea sustituyendo un 20 % para su aplicación en todo tipo de suelos y cultivos. Evita las pérdidas de los nutrientes y los libera lentamente según necesite la planta. • Producción de sustratos cargados con macro y micronutrientes (NPK, Cu, B, Mo, Zn, Mn). • Elaboración de compostos con materiales orgánicos de todo tipo. Desechos verdes de mercados, jardines, bosques, estiércol, líquido porcino, estiércol vacuno y otros. • Acelera el proceso de fermentativo y evita las pérdidas de nitrógeno. • Producción de zeolitas cargadas con NH_4^+ y K^+ y mezcladas con rocas fosfóricas (" sustratos lunares").
Entre 3 y 5 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de todo tipo de filtros para tratamiento de aguas (potabilización, residuales agrícolas e industriales, piscinas, etc). • Producción de sustratos cargados para cultivos zeopónicos en invernaderos.
Entre 5 y 12 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de cama de aves para engorde. • Producción de filtros para tratamientos de agua

Fuente: Sustrato Ecológico a Base de Zeolitas Naturales

5.5. Productos finales

De los resultados obtenidos se puede establecer que las zeolitas naturales se las puede clasificar por tipos tecnológicos según el porcentajes de zeolitas y los resultados de sus características y propiedades físicos, químicas y mecánicas según se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 5.11
CLASIFICACION TECNOLÓGICA DE LAS ZEOLITAS NATURALES

TIPO TECNOLÓGICO	Porcentajes de Zeolitas	CICT	USOS
A	>85	> 130	Especiales
B	entre 50 y 85	Entre 70 y 130	Masivos
C	entre 20 y 50	-	Material de construcciones
D	<20	-	Negativo

Fuente: Proyecto Sustrato Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales.

Los productos ha obtenerse estarán en función de la aplicación específica determinada por sus propiedades físico-químicas y mecánicas. Cabe señalar que un factor importante para su aplicación es la fracción granulométrica como se muestra en la tabla 5.10.

Según los resultados del Proyecto Sustrato Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales y de esta tesis se clasifica como tipo tecnológico B a las zeolitas que

ocurren en la ESPOL aprobado para usos masivo en la agricultura, acuicultura, industria, descontaminación ambiental y otros.

Otra aplicación importante que se estima que se puede dar a las zeolitas de la ESPOL es para el empleo como material puzolanico, así se pudo establecer de acuerdo a las características de las zeolitas naturales que son comparables a las utilizadas mundialmente en la construcción como se puede apreciar en la tabla 5.12

**TABLA 5.12
COMPARACIÓN DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS
ZEOLITAS NATURALES ESPOL CON LAS EMPLEADAS EN
CONSTRUCCIONES ANTIGUAS Y PAÍSES IBEROAMERICANOS.**

Puzolanas	Por ciento						
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O.	P,I
Tierra de Santorin	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5	3.5
Trass Renano	53.0	16.0	6.0	7.0	3.0	6.0	-
Fonolita	55.7	20.2	2.8	4.2	1.1	10.8	3.6
Toba Romana	44.7	18.9	10.1	10.3	4.4	6.7	4.4
Vidrio Napolitano	54.5	18.3	4.6	7.4	1.0	11.0	3.1
Esquisto Opalino	65.4	10.1	4.2	4.6	2.7	1.4	6.3
Diatomita	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4	5.2
Pómez Río lítica	65.7	15.9	2.5	3.4	1.3	6.9	3.4
Pómez Mexicana	68.7	14.8	2.3	-	0.5	9.3	5.6
Zeolita Tasajera Cuba	66.4	11.32	1.54	3.81	0.53	3.0	10.
Zeolita ESPOL	65.2	20.4	2.8	3.3	3.2	5.1	-

Fuente: Convención de zeolitas naturales-ESPOL
Uso racional y sostenible de zeolitas Naturales

5.6 Perspectiva de las zeolitas naturales

Las ocurrencias de las zeolitas naturales en las área de la ESPOL que justamente se encuentra ubicada dentro de la Formación Cayo, reflejan el potencial recurso con que cuenta la costa ecuatoriana. En la actualidad la única empresa dedicada exclusivamente a la explotación, comercialización y venta de productos zeolíticos es la empresa Zeolitas S.A. con reservas importantes de este mineral, aunque no se tienen datos concretos sobre producción y exportación de zeolitas en nuestro país. Por lo tanto los anuarios estadísticos de nuestro país no consideran cifras precisas ni confiables del mercado de este mineral.

El consumo de minerales zeolíticos en el Ecuador es limitado, por el hecho de que no se ha efectuado una acción de difusión seria, ni una estimación de zeolitas a nivel nacional. Sin embargo, la presencia de clinoptilolita y estilbita en las áreas de la ESPOL y considerando otros lugares cercanos con este tipo de zeolitas es un argumento a favor, con miras a su utilización en la industria agrícola, ganadera, acuicultura y otros, como uso práctico debido a su capacidad de adsorción e intercambio iónico.

Cabe señalar que la ESPOL cuenta con reservas importantes de rocas zeolitizadas y que con un buen manejo se puede desarrollar una extracción optima y racional de este recurso, para así obtener el mayor aprovechamiento en las labores de remoción de tierras y poder financiar el terraceo para todas las construcción de las edificaciones del Parque Tecnológico.

⁹Tomado de la Norma ASTM C136-53

¹⁰Tomado de la Norma ASTM C131-64 T

¹¹Centro Técnico del Hormigón (CTH) – CIA. LA CEMENTO NACIONAL

CAPITULO 6
PRESUPUESTO

6.1 Introducción

El problema que se enfrenta sobre las decisiones en las inversiones de proyectos en el sector minero, no reside solamente en la dificultad de sintetizar toda la información en la rentabilidad esperada del proyecto, sino en la conciencia de que la información que para ello se debe utilizar nunca es ideal.

Por lo tanto siempre queda una incertidumbre sobre esa rentabilidad, que al fin y al cabo no es sino un pronóstico. Un proyecto minero presupone resumir, en un número, la rentabilidad esperada de un proyecto considerando un sinnúmero de datos tanto geológicos, mineros, químicos, económicos como financieros, que permiten la caracterización de un proyecto. El propósito básico y principal en este estudio es determinar la factibilidad de la extracción de zeolitas naturales a partir del movimiento de tierras que se va a desarrollar por la construcción del Parque Tecnológico Campus-ESPOL, para lo cual se dispondrá de información que permita llegar a una decisión sobre si es posible llevar a la práctica este proyecto.

6.2 Datos básicos de las actividades de movimiento de tierras para el aprovechamiento de las zeolitas naturales.

Se proyecta las actividades de movimiento de tierras para 7 años a un ritmo de explotación de 306599 toneladas de material entre roca zeolitizadas y el estéril, de las cuales se extraerán las rocas que presenten mayores concentraciones de zeolitas naturales que se venderán a un precio promedio de 13 dólares la tonelada.

6.3 Presupuesto de gastos por actividades

Para las actividades de extracción de zeolitas naturales se requerirá la prestación de servicios a empresas que ejecuten labores de perforación, de voladura, de arranque y transportación etc. La inversión esta dada en base a valores referenciales actuales y que comprenden a los costos de inversión fija inicial, costos de preparación de terreno, costos operativos anuales y otros que se detallan a continuación.

6.3.1 Inversión fija

La inversión fija comprende:

**TABLA 6.1
INVERSIÓN FIJA**

INVERSION FIJA			
CONSTRUCCIONES CIVILES			
DESCRIPCION	Costo Anual	Tiempo de Uso	Precio total
Uso del terreno	\$ 20.000	7 años	\$ 140.000
	Área	Precio / m2	
Diseño de Ingeniería			\$ 77.358
Preparación de terreno para instalaciones civiles	500 m2	\$ 20	\$ 10.000
Preparación de vías de acceso	5000 m2	\$ 50	\$ 250.000
Construcción de oficinas	60 m2	\$ 120	\$ 7.200
Equipo de oficina			\$ 20.000
Construcción local de planificación	100 m2	\$ 120	\$ 12.000
Bodegas	100 m2	\$ 40	\$ 4.000
Taller	100 m2	\$ 40	\$ 4.000
Preparación de un Patio de Almacenamiento	500 m2	\$ 20	\$ 10.000
2 Vehículo 4x4			\$ 50.000
Seguros contra accidentes			
sub. Total			\$ 584.558
Contingencia (20 %)			\$ 116.912
Total			\$ 701.469

6.3.2 Costos de maquinaria para el movimiento de tierras.

**TABLA 6.2
COSTO DE ALQUILER MAQUINARIA**

COSTO ANUAL DE ALQUILER DE MAQUINARIA				
Descripción	Precio/Hora	Cantidad	Costo/Día	Costo/Año
Excavadora 8 horas diarias efectivas	\$ 60	1	\$ 480	\$ 144.000
Bulldózer 8 horas diarias efectivas	\$ 80	1	\$ 640	\$ 192.000
Volquetas 8 horas diarias efectivas	\$ 30	6	\$ 1.440	\$ 432.000
Cargadora	\$ 50	1	\$ 4.00	\$ 4.000
Costo Total			\$ 2.960	\$ 772.000

6.3.3 Costos de administración técnica.

**TABLA 6.3
COSTO DE ADMINISTRACION TECNICA**

COSTOS DE ADMINISTRACION TECNICA ANUAL		
Descripción	Cantidad	Costo/Año
Jefe de Proyecto	1	\$ 8.400
Asistente	1	\$ 6.000
Ayudantes	2	\$ 6.204
Secretarias	2	\$ 4.800
Control de exploración y muestreo	2	\$ 7.200
Control Topográfico	2	\$ 7.200
Chóferes	2	\$ 4.800
Costo Total Anual		\$ 44.604

6.3.4 Costos de Perforación y voladura

**TABLA 6.4
COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA**

GASTO DE PERFORACION		
DESCRIPCION	Cantidad	Unidad
Perforadora Manual de 1,5"		
Capacidad de la Maquina		
Altura de perforación	3,4	m
Numero de huecos	337	
V = volumen	2800	m ³
Perforación Especifica	0,4	m/m ³
Volumen a perforar	2800	m ³
Tiempo de alquiler	104	Hora
Precio de alquiler	20	\$ / Hora
Costo Total de alquiler	2080	\$
Costo por metros cúbicos	0,74	\$ / m ³
Costo por Tonelada	0,44	\$

GASTOS DE VOLADURA		
DESCRIPCION	Valor	Unidades
Explosivo	0,54	\$ / m ³
Mano de obra (20% explosivo)	0,11	\$
Subtotal	0,65	\$ / m ³
Costo Total	0,38	\$/Ton

6.3.5 Costos anuales de control de medio ambiente

**TABLA 6.5
COSTO DE CONTROL DE MEDIO AMBIENTE**

COSTOS ANUALES DE CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE	
DESCRIPCION	COSTO
Riego de Agua	\$ 3.000
Mantenimiento de vías de acceso y cunetas	\$ 2.000
Consultaría medio ambiental	\$ 2.500
Mediciones de contaminación Ambiental	\$ 4.000
Programas de Monitoreo y Control Ambiental	\$ 5.000
Costo Total	\$ 16.500

6.3.6 Costo de mano de obra indirecta

**TABLA 6.6
COSTO DE OBRA INDIRECTA**

COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA ANUAL	
Descripción	Costo
Material de oficina	\$ 5.000
Energía Eléctrica	\$ 1.200
Análisis químicos en determinación CI	\$ 25.000
Análisis en Cuba	\$ 10.000
Guardianía	\$ 4.800
Costo total	\$ 46.000

TABLA 6.7
COSTO TOTAL DE OPERACIONES ANUALES

6.4 Flujo de Caja

Todo lo concerniente a el movimiento de fondos considerando la inversión inicial, el conjunto de ingresos o entradas monetarias y la serie de pagos o salidas monetarias. Generan el flujo de caja de este proyecto que se expone en la tabla 6.8.

6.4.1 Determinación dela tasa mínima aceptable de actualización.

Se considerara para este proyecto una tasa de actualización aplicable, que será la rentabilidad mínima aceptable (RMA) para decidir si es factible invertir. Con lo cual al actualizar los flujos de fondos de este proyecto, se decidirá si es aceptable o no, según el valor actualizado neto total resultante fuese positivo o negativo. Entonces par el presente estudio se considerara un RMA de 20%, ya que este en términos económicos es el coste de oportunidad del capital el cual viene dado por:

- Tasa de interés bancario comercial (EEUU) es igual a 4.75 %
- Riesgo país Ecuador es igual al 12%
- Inflación de EEUU. Es igual al 3%

TABLA 6.8
FLUJO DE CAJA NETO

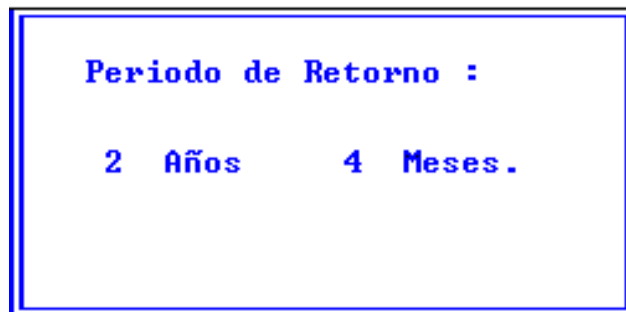
6.4.2 Criterios de evaluación

Toda valoración económica de un proyecto ha de considerar, en principio, el valor temporal del dinero, ya que lo que se trata de juzgar son serie de flujos de fondos en el tiempo. Por lo tanto, habrá que recurrir habitualmente al empleo de la actualización. Para este estudio se considerara los siguientes criterios:

- Periodo de retorno.
- Tasa de rentabilidad interna (TIR).
- Valor actualizado neto. (VAN).

6.4.2.1 Periodo de retorno

Este criterio aplicado en este estudio es con la finalidad de tener una observación preliminar de la posibilidad de acceder a la financiación. Con lo cual se recurrió a el tratamiento informatico del flujo de caja de la tabla 6.8, con el software EVALECO, obteniendo los siguientes resultados.



Periodo de Retorno :

2 Años 4 Meses.

The image shows a screenshot of a software output window with a blue border. The text is displayed in a blue, monospaced font. It reads "Periodo de Retorno :" on the first line and "2 Años 4 Meses." on the second line.

Fig 6.1 Resultado del software EVALECO

6.4.2.2 Tasa de rentabilidad interna (TRI)

La rentabilidad interna o tasa interna de retorno de un proyecto, es aquel valor que hace igual a cero el flujo de fondos acumulado actualizado al final de la vida de un proyecto. Para este estudio se aplicó la hoja de cálculo (Excel), con lo cual se determinó la TRI del proyecto que se expone en la tabla 6.9.

Cabe señalar que una vez establecida la TRI, el criterio corresponde a decidir que será aceptable económicamente el proyecto si la TRI es mayor que la RMA. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados del análisis del flujo de caja que se muestra en la tabla 6.9 se tiene un TRI igual al 80%, y dado que el RMA bordea el 20% es factible el proyecto y consecuentemente empezar a ejecutar el proyecto.

6.4.2.3 Valor actualizado neto (VAN)

Un proyecto es aceptable desde el punto de vista económico si, al actualizar los flujos de fondos aplicando la RMA, la suma algebraica (VAN) de los valores así obtenidos es positiva. Para este estudio tenemos un VAN positivo como se muestra en la tabla 6.9, lo cual indica que la inversión en el proyecto estudiado es ventajosa.

6.5 Análisis de sensibilidad.

Los análisis de sensibilidad sirven para investigar la influencia de una variación en el valor de alguno o algunos de los parámetros o variables (inversiones, costos de operación, ingresos, vida, etc.) sobre los diferentes índices que miden

la rentabilidad del proyecto (VAN, TIR, etc.). También permite identificar aquellas variables que presentan mayor impacto en el resultado, frente a distintos grados de error en su estimación ayudando a decidir acerca de la conveniencia de realizar estudios mas profundos de esas variables criticas, con el objeto de mejorar esas estimaciones, reducir el grado de riesgo por error, o buscar otra estrategia de actuación.

El análisis de sensibilidad permitirá determinar la influencia de alguna variación de los parámetros o variables contempladas en este estudio como son:

- costos de minado
- reservas de roca extraída.
- precio de venta
- costes indirectos
- roca zeolítica vendible

El acto de decidir emprender o rechazar este estudio dependerá de los índices que miden la rentabilidad de la extracción de las zeolitas naturales en el sector J del Parque tecnológico Gustavo Galindo Velasco-ESPOL. Los indicadores que medirán las condiciones de factibilidad de este estudio son el: TIR y VAN que determinaran si es atractivo o no la extracción de las zeolitas naturales. En las siguientes tablas a continuación se muestra el análisis de sensibilidad.

TABLA 6.9
ANÁLISIS DEL TIR Y VAN

Fig 6.2 Análisis de sensibilidad (VAN)

Fig 6.3 Análisis de sensibilidad (TIR)

6.5 Resultados

De los resultados obtenidos indican que el proyecto es económicamente viable si se mantiene las proyecciones antes analizadas, sin embargo las variables que presentan mayor sensibilidad son:

- Las reservas de rocas zeolíticas
- Las rocas zeolíticas vendibles
- Los precios de venta

Cabe señalar que estas variables muestran el mismo comportamiento de sensibilidad, o sea que cualquier variación en cualquiera de estas tres variables afectaría al proyecto, por lo tanto estas variables son las que se deben de conocer e investigar con mayor detalle.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El Campus Politécnico está emplazado sobre la Formación Cayo constituyendo estructuralmente un homoclinal con un rumbo preferencial de Norte 110° Azimut, y un buzamiento variable entre 10° - 25° hacia el Sur.
- Se ha detallado toda la Geología donde se va a construir el Parque Tecnológico del Campus-ESPOL, con lo cual se ha podido confirmar la secuencia de depositación vulcanoclastica de los diferentes tipos de roca.
- De acuerdo a los estudios Geológicos realizados en área del Parque Tecnológico del Campus ESPOL, se tiene básicamente los siguientes tipos de roca: Lutitas tobáceas, Areniscas de grano fino, Tobas, Aglomerados y esporádicamente brechas volcánicas. Que son representativos de la Formación Cayo.
- Todas las rocas del área se encuentran zeolitizadas en diferentes grados de concentración del mineral (>60%).
- Los resultados obtenidos de la temperatura de hidratación en las rocas de la zona de estudio resulta favorable en contenido de zeolitas para las lutitas tobáceas, ya que presentan temperaturas mayores a 8°C, indicando un valor favorable indirecto a la presencia de zeolitas (60-98%).
- En los análisis de difracción realizados a las rocas lutitas tobáceas se identificaron las fases cristalinas de clinoptilolita, estilbita, albita, cuarzo, smectita y calcita. Con lo cual se deduce que la clinoptilolita y estilbita son los tipos de zeolitas existentes.

- Los estudios preliminares permiten determinar la presencia de una fase zeolítica predominante, correspondiente a la clinoptilolita rica en sodio, pero también se tiene zeolitas del tipo estilbita en menor proporción.
- La clinoptilolita, cuya fórmula genérica es $\text{Na}_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})\cdot 20 \text{H}_2\text{O}$ pertenece al grupo de la heulandita (sistema monoclinico).
- Se observa la presencia de albita, cuarzo calcita y smectita como fases cristalinas minoritarias.
- De acuerdo a los datos generales de caracterización del macizo rocoso, las rocas volcano-sedimentaria (a excepción de los aglomerados) presentan un fuerte tectonismo, donde se ha confirmado la existencia de tres familias de diaclasas predominante que son: F1: NS/90°, F2: N / 75° E/85° - 90°, F3: N 60° W/90°.
- Resultados en los ensayos de rocas establecen una resistencia mecánica de 50 MPa para rocas lutitas tobáceas y tobas, y de 37 MPa para los aglomerados, lo que las clasifica como rocas blandas.
- De acuerdo a la evaluación geomecánicas se determinó que las rocas lutitas tobáceas tienen generalmente un índice RMR de 60 y un índice SMR 63, clasificándose como un macizo de calidad buena.
- El índice excavabilidad en el macizo rocoso establece que para las lutitas es de 50 y para los aglomerados de 115. Con lo cual se puede decidir la excavabilidad del macizo rocoso varia de fácil a extremadamente difícil, con

lo cual amerita utilizar perforación y voladura cuando exista dificultades de excavabilidad.

- La maquinaria mínima seleccionada para las labores de movimiento de tierras son las que presenten características iguales o similares a las mencionadas a continuación: p Ej. buldózer CAT D9, Excavadoras CAT 345, cargadoras CAT 950F y volquetes de 14 o 20m³. En el caso de aplicar voladuras se utilizara compresor neumático XA(S)146 perforadoras manuales RH 658 LS, barrenos integrales de hasta 6 metros, y explosivos convencionales.
- Los bancos de trabajo deben de tener una altura de 5 m de altura, lográndose con esto que en las labores de explotación en donde se tenga la menor dilución posible.
- En el sector donde se va a desarrollar el Parque Tecnológico, y que por motivos de construcción se va ha realizar una remoción de tierras de alrededor de 3527713 m³.
- Las estimación de reservas totales es de 1423375 m³ de rocas zeolitizadas y 2104338 m³ entre aglomerados y areniscas(estéril).
- De todos los sectores a terracear, el sector J se ha elegido para la proyección de diseño principal para la extracción de zeolitas naturales dado que esta área muestra buenos resultados en cuanto a reservas (cantidad de roca) características de zeolitas (ΔT 10 - 16 °C) y mas de 100meq/100g.

- El ratio medio económico determinado es de 0.8. Por lo tanto se pronostica que en el sector J se puede extraer hasta 223965 m³ material zeolítico manteniendo una rentabilidad económica.
- Se ha proyectado para 7 años las labores de movimiento de tierras solamente en el sector J. Pero cabe señalar que se ha realizando una optima gestión y dependiendo la demanda, se podría extrae los demás sectores.
- Estudios realizados en la fragmentación de rocas zeolitizadas muestran que utilizando aparatos que actúan por compresión (trituradora de mandíbulas), se producen partículas alargadas y con bordes filosos. Con lo cual se estableció un índice de lajas de 48.78% y un índice de elongación de 17%.
- El consumo energético se estableció en el laboratorio es de 1.1 Kwh.
- De acuerdo a las características y propiedades de las zeolitas naturales encontradas, se establece que se las puede aplicar principalmente para consumos masivos en agricultura.
- El análisis económico estudiado al sector J muestra que con una inversión fija inicial de aproximadamente USD. 806701 se empezaría las labores de movimientos de tierras para la extracción y aprovechamiento de las zeolitas existentes.
- El análisis económico, muestra que el proyecto es viable, considerando los criterios de rentabilidad lo que establecen un índice de evaluación de un TRI 80% y un VAN \$ 1223280.

- El análisis de sensibilidad establecen que las variables que muestran gran sensibilidad son: las reservas de rocas zeolíticas, las rocas zeolíticas vendibles, y el precios de venta.
- Con estos trabajos de movimientos de tierras se estaría aprovechando racionalmente las zeolitas naturales y al mismo tiempo adecuando la superficie para la construcción de las edificaciones del Parque Tecnológico Campus-ESPOL.

RECOMENDACIONES

- Emplear la metodología que se aplicó en la evaluación de zeolitas naturales en el parque tecnológico a otros sectores de la Cordillera Chongón Colonche.
- Empezar la ejecución de los trabajos de movimiento de tierras en el sector J.
- Definir las reservas explotables en los lugares plenamente señalados e identificados.
- Realizar un estudio a detalle sobre la ubicación del material estéril que será producido en las labores de movimiento de tierras y extracción de zeolitas naturales.
- Realizar un estudio de mercado para establecer la demanda concretas de las zeolitas naturales.
- Establecer una norma de control de calidad para la producción de productos zeolíticos.
- Investigar con mayor detalle la aplicación de las zeolitas naturales del Parque Tecnológico Campus-ESPOL.
- Desarrollar un programa de control y manejo ambiental de las actividades de extracción de zeolitas naturales.
- Realizar pruebas de fragmentación en molinos que actúen por impacto y comparar los índices de lajas y elongación para los productos zeolíticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Antenor Alemán, Informe Geológico de la Cuenca Progreso (Informe no publicado para la Compañía Duke Energy, Guayaquil, 1999).
2. Mular, Bhapu, Diseño de Plantas de Procesos Minerales, (Edit Rocas y Minerales, Madrid, 1982), pp. 86 -119.
3. Instituto Tecnológico Geominero de España. Manual de Arranque Transporte y Carga, (Edit, Cartografías Madrid S. A., edic segunda, Madrid, 1995) pp.31-43.
4. Gerardo Rodríguez Fuentes / José Andrés González, Memorias de la 3ª Conferencia Internacional Sobre Ocurrencia, Propiedades y Usos de las Zeolitas Naturales, (La Habana - Cuba. 1991 Abril 9-12), pp. 55-60.
5. Varios Autores, Manual de Áridos: Prospección, Explotación y Aplicaciones, (E.T.S de Ingenieros de Minas, LOEMCO, Madrid, 1995) pp. 343-357.
6. Marland P. Billing, Structural Geology (third edition, Prentice-Hall. Inc, 1972) pp. 495-505.
7. Gustavo Medina Posada, Tesis de Grado, Estudio Geológico del Campus Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1982 pp 20-25.
8. Julio Cesar Romero, Informe de Proyecto Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-2000.

9. Frederick A. Mumpton. Mineralogy and Geology of Natural Zeolites (1993) pp. 45-50.
10. M. Bustillo Revuelta - C. López Jimeno, Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. (Madrid 1997), pp. 267-330.
11. Edited by D .W. Ming and F. A.,. Mumpton Natural Zeolites'93. Occurrence, Properties, Use. (International Comité on Natural Zeolites), pp. 5-10.
12. Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. (Editorial Instituto Tecnológico Geominero de España 1996), pp. 23-43.
13. Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de Ingeniería de Taludes, (Editorial Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid 1991), pp. 69 –115.
14. Luis Fueyo, Equipos de Trituración Molienda y Clasificación: Tecnología, Diseño y Aplicación (Edit. Rocas y Minerales Industriales, Madrid, 1999), pp. 23-54.
15. Núñez del Arco, Francois Dudas, Guía Geológica del Suroeste da la Costa Ecuatoriana, (ESPOL, CONUEP, INSTITUTO FRANCES DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS PARA EL DESARROLLO EN COOPERACION Guayaquil, 1985), pp 11-27.
16. M Regueiro González-Barros, M Lombardero Barceló, Innovación y Avance en el sector de las Rocas y Minerales Industriales, (Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, Madrid 1997), pp. 69-71.

17. Leland T. Blank, Anthony J. Tarquin. Ingeniería Económica, (Edit. McGraw-Hill, México 1992), pp. 60-189.
18. International Center For Diffraction Data, Mineral Power Diffraction File Data Book (USA 1986), pp. 241-1115.
19. J. Pernia, M Abad, C López J, F Pla Toledo. Factores que influyen en la Selección de Equipos de Arranque , Minas y Obras a Cielo Abierto, (Edit, Instituto, Geológico y Minero de España, Madrid 1987), pp. 23-56.
20. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Aprovechamiento Integral de los terrenos del Campus Gustavo Galindo Velasco, (FICT-ESPOL, Guayaquil, 2002), pp. 25-68.
21. Internet: paginas web,
www.atlascopco.com
www.cat.com
www.cconstruccion.org
www.info@gsaresources.com
www.info@empremin.com
www.monografias.com/trabajos/zeolitas/zeolitas.shtml
www.iza-structure.org/databases/