

T  
549.68  
BAS



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Estudio Geológico y Caracterización de las Zeolitas Naturales  
existentes en la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

## TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

### INGENIERA EN GEOLOGÍA

Presentada por:

MARIA FERNANDA BASTIDAS GAIBOR

GUAYAQUIL - ECUADOR

2002



D-27913

## DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



María Fernanda Bastidas G

María Fernanda Bastidas Gaibor

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por haberme dado la formación profesional.

Al director de Tesis Ing. Jorge Calle por su orientación en el desarrollo de esta Tesis, quien demostrando su capacidad, experiencia y conocimiento, dedicó con mucha paciencia su precioso tiempo en la dirección de cada uno de los capítulos.

Al Ing. Julio César Romero quien con sus vastos conocimientos sobre zeolitas naturales y minerales técnicos, propio de un profesional responsable y abnegado supo motivarme para llevar a la práctica el presente trabajo, pues se constituyó en mi Asesor Científico – Técnico sin el cual no hubiera logrado mis objetivos.

A la DINAGE por su valiosa colaboración y ayuda técnica en la Identificación Mineralógica de Rayos X.

A mis padres y hermana que con amor, sacrificio y apoyo incondicional hicieron posible la culminación de esta etapa estudiantil.

Mi reconocimiento a muchas personas que de una u otra forma participaron y contribuyeron con entusiasmo en el desarrollo de esta Tesis.

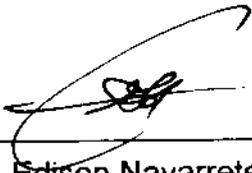
## **DEDICATORIA**

**A MI PADRE**

**A MI MADRE**

**A MI HERMANA**

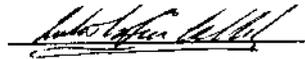
# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Edison Navarrete C.

**DECANO DE LA FICT**

**PRESIDENTE**



Ing. Jorge Calle

**DIRECTOR DE TESIS**



Ing. Julio César Romero

**VOCAL PRINCIPAL**



Ing. Enrique Luna

**VOCAL**

## RESUMEN

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral se han encontrado rocas con contenidos de zeolitas atractivos para su estudio. Las zeolitas naturales están consideradas como el mineral del futuro, debido a sus características excepcionales, en la variedad de propiedades en sí misma, y por la diversificación de su uso en más de 100 aplicaciones en todas las ramas de: la Agricultura, Industria, Descontaminación Ambiental, Materiales de Construcción, Medicina, Productos para el hogar y otras.

En el presente trabajo se resumen los resultados de las investigaciones realizadas en el campo y laboratorio relativas a la posible utilización de las zeolitas naturales localizadas en el Campus Politécnico "Gustavo Galindo Velasco"



La investigación abarca un reconocimiento geológico, en el que se incluye una apreciación del potencial del depósito y su caracterización química, así como ensayos tecnológicos realizados en laboratorios de la ESPOL y la DINAGE.



## INDICE GENERAL

	Páginas
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	IX
 <b>CAPITULO 1</b>	
<b>1. ANTECEDENTES</b>	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Metodología.....	3
 <b>CAPITULO 2</b>	
<b>2. CARACTERIZACION DE LAS ZEOLITAS NATURALES</b>	
2.1 Introducción.....	8
2.2 Ocurrencia.....	10
2.3 Mineralogía y Origen.....	11
2.4 Propiedades de las Zeolitas Naturales.....	19

2.5 Tipos de Zeolitas Naturales.....	23
2.6 Aplicaciones.....	30
2.7 Yacimientos.....	33

## **CAPITULO 3**

### **3. GEOLOGIA**

#### 3.1 Fisiografía del Área de Estudio

3.1.1 Ubicación.....	35
3.1.2 Accesibilidad.....	36
3.1.3 Hidrografía.....	38
3.1.4 Clima.....	38
3.1.5 Ecología y Vegetación.....	43
3.1.6 Suelos.....	46

#### 3.2 Geología Regional.....47

#### 3.3 Geología del Área de Estudio

3.3.1 Geomorfología.....	53
3.3.2 Litoestratigrafía.....	55
3.3.3 Geología Estructural.....	66
3.3.4 Génesis y Mineralogía.....	67

## **CAPITULO 4**

### **4. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES BASICAS DE LAS ZEOLITAS**

4.1 Recolección y Preparación de muestras.....	71
4.2 Análisis Petrográfico.....	74
Análisis de la composición mineralógica.....	76
4.3 Calor de inmersión ó adsorción.....	86
4.4 Capacidad de Intercambio Catiónico Total.....	87
4.5 Evaluación de los Análisis Realizados.....	88
4.6 Bloque Tecnológico Experimental de Zeolitas.....	103

## **CAPITULO 5**

### **5. CALCULO DE RESERVAS**

5.1 Cálculo de reservas.....	108
5.2 Importancia económica para la ESPOL de los estudios de zeolita.....	138

## **CAPITULO 6**

<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>139</b>
---	------------

## **ANEXOS Y MAPA**

## **BIBLIOGRAFIA**

## ABREVIATURAS

Å	Amstrong
A	Ancho.
cal/g	Calorías por gramo.
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono.
° C	Grados Celsius
Ej.	Ejemplo
Fig.	Figura
g	Gramos
g/cm <sup>3</sup>	Gramos por centímetro cúbico
h	Horas
Kg	Kilogramo
L	Longitud
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metros Cuadrados
m <sup>2</sup> /g	Metros cuadrados por gramo
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
meq/100 g	Mili equivalentes por cien gramos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
RX	Rayos X
T1	Temperatura del agua.
T2	Temperatura del agua más la muestra.
Δ T	Diferencia de temperatura.
Tm.	Toneladas métricas

## INDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Estructura general de una zeolita.....	12
Figura 2. Clinoptilolita.....	13
Figura 3. Mordenita.....	13
Figura 4. Laumontita.....	13
Figura 5. Formación de las zeolitas en la naturaleza.....	18
Figura 6. Ubicación del Área de Estudio.....	37
Figura 7. Datos Meteorológicos (Resumen Estadístico Multianual).....	41
Figura 8. Mapa del Suroeste de la Costa (Según D.G.G.M.).....	49
Figura 9. Columna Estratigráfica de la Costa Ecuatoriana.....	50
Figura 10. Porcentaje de Zeolitas Naturales presente en las rocas.....	69
Figura 11. Diagrama de Flujo para Rayos X.....	78
Figuras 12 -16. Difractogramas.....	81
Figura 17. Mapa de Ubicación de Terrazas de Explotación.....	109
Figuras 18 - 28. Detalles de las 11 Terrazas de Explotación.....	112
Figuras 29 – 39. Perfiles diseñados para las 11 Terrazas de Explotación.....	113

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Páginas
Foto # 1. Afloramiento de Aglomerados.....	59
Foto # 2. Afloramiento de Areniscas.....	59
Foto # 3. Afloramiento de Lutitas.....	59
Foto # 4. Afloramiento de Lutitas.....	60
Foto # 5. Afloramiento de Tobas.....	60
Foto # 6. Afloramiento de Tobas.....	60
Foto # 7. Afloramiento de la Perimetral.....	61
Foto # 8. Diaclasamiento en las rocas.....	61
Foto # 9. Diaclasamiento en las rocas.....	61

## INDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Composición de zeolitas naturales más comunes.....	15
Tabla 2. Vértices del polígono que forman el área de estudio.....	36
Tabla 3. Datos Meteorológicos (Resumen Estadístico Multianual).....	41
Tabla 4. Análisis Petrográfico.....	75
Tabla 5. Cartillas principales de elementos encontrados.....	79
Tabla 6. Patrones de yacimientos cubanos.....	79
Tabla 7. Patrones de yacimientos de Zeolitas en USA.....	80
Tabla 8. Resultados de análisis de difracción de rayos X.....	83
Tabla 9. Calidad de las Zeolitas Naturales.....	88
Tabla 10. Descripción macroscópica de las rocas y resultados de laboratorio.....	90
Tabla 11. Calor de inmersión y porcentaje de zeolita.....	101
Tabla 12. Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico Total.....	102
Tabla 13. Resultados de las muestras del BTEZ.....	104
Tabla 14. Parámetros de Calidad del BTEZ.....	104
Tabla 15. Estimación de Volúmenes para la Terraza 5.....	135
Tabla 16. Volumen total de rocas para remoción.....	136
Tabla 17. Estimación de Volúmenes de Zeolita por el Método de los Perfiles Geológicos.....	137

# **CAPÍTULO 1**

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1 Introducción**

Para cumplir con el propósito de la tesis y partiendo de la información existente, se organizó un plan de trabajo para realizar estudios preliminares que permitan evaluar técnicamente las capacidades y las potencialidades que tienen los terrenos del Campus Politécnico "Gustavo Galindo Velasco", tomando en cuenta desde el punto de vista geológico-minero lo importante que es conocer y entender bajo este aspecto la existencia de las zeolitas y definir sus características mineralógicas, sobre todo su calidad y condiciones tecnológicas a fin de valorar las posibilidades que lo conviertan en un depósito de rendimiento económico.

El presente trabajo transmite un enfoque sobre el hallazgo de ocurrencias y caracterización básica de zeolitas, y propone la base

para un posterior diseño y ejecución de la explotación tomando en cuenta la disponibilidad superficial de este recurso, con miras a plantear el mejor control y aprovechamiento del mismo, de acuerdo a los requerimientos de desarrollo de la ESPOL y en armonía con la conservación del medio ambiente.

El estudio preliminar de campo se realizó con ayuda del plano topográfico escala 1:2000, con un recorrido por casi toda el área del Campus "Gustavo Galindo", dando especial énfasis a la observación de los afloramientos rocosos existentes. Estos primeros resultados del reconocimiento sirvieron para definir algunas de las zonas de interés cuyos rasgos distintivos coincidían con las características fundamentales establecidas para estos tipos de yacimiento.

Recorridos posteriores, toma de muestras, análisis de laboratorio comparados con la información existente, permitieron en definitiva, determinar con mayor precisión las investigaciones que se han debido realizar y que se expresan en el desarrollo de este trabajo.

## **1.2 Objetivo General**

El objeto del estudio es realizar la evaluación preliminar, caracterizar las propiedades básicas y la posible aplicación de las zeolitas existentes.

### **Objetivos Específicos**

Realizar un trabajo en el cual se pueda aplicar las técnicas disponibles, que permitan:

1. Efectuar una evaluación preliminar de la zeolita en la propiedad de la ESPOL.
2. Contribuir con la Investigación minera, mediante la aplicación de técnicas directas e indirectas para el reconocimiento de zeolitas.

## **1.3 Metodología**

La investigación se inicia tomando como base una recopilación y análisis de la bibliografía disponible, tanto de la zona como del mineral a investigar.

El estudio de campo se lo realizó por el método tradicional de geología que consistió en la prospección de los afloramientos rocosos existentes a lo largo de la Vía Perimetral del Campus Politécnico, así como también de las vías principales anexas a la perimetral y los causes de la red hidrográfica. Esta exploración permitió obtener un conocimiento de las características de interés geológico mediante levantamientos geológicos y mapeo de quebradas con ayuda de brújula y cinta.



La investigación se dividió en dos etapas: la primera que consistió en la prospección geológica general de todo el Campus Politécnico que abarca un área de 690 hectáreas con estudios de indicios de mineralización y definición de las zonas con interés; y la segunda en la cual se delimita y profundiza el estudio del área más prospectiva para el hallazgo de zeolitas naturales ubicado en el sector destinado al Parque Tecnológico cuyos datos se presentan en el desarrollo de la tesis y cubren aproximadamente un área de 200 hectáreas.



El trabajo de campo se ejecutó utilizando el mapa topográfico del Campus Prosperina a escala 1:2000 proporcionado por la unidad de planificación de la ESPOL.



Se elaboró una columna litológica representativa del Campus realizando el levantamiento geológico a detalle del sector ubicado cerca de la Perimetral, además de quebradas que presentaban la mayor cantidad de afloramientos y considerando que el rumbo de los estratos siguen una dirección preferencial E-W los recorridos se realizaron en sentido norte-sur siguiendo los causes principales de las mismas, determinando el espesor de cada unidad litológica encontrada y sus relaciones estratigráficas. Como en el sector no se encuentran rasgos estructurales que conviertan la zona en un área geológicamente complicada se toma los rumbos y buzamientos como constantes considerando un buzamiento regional de 20° hacia el sur.

Para el mapeo geológico se trató fundamentalmente de definir las unidades litológicas mayores, en base a las características litológicas, estructurales, petrográficas y geoquímicas de las rocas estudiadas.

El mapa geológico final, producto de la investigación, se compiló y se presenta a escala 1:5000 en formato digital e impreso.

Durante las salidas de campo se procuró el muestreo de rocas en los afloramientos, a lo largo de cortes en las carreteras, calicatas,

trincheras, y drenajes de primero y segundo orden; las cuales se posicionaron con la ayuda del GPS.

Se seleccionó un grupo de rocas para:

- La elaboración de láminas delgadas con su respectivo análisis petrográfico.
- Análisis de fases por Difractometría de Rayos X.

A la totalidad de las muestras se procedió a su respectiva molienda y clasificación por los tamices de 0.425 mm, 0.212 mm y 0.063 mm, para efectuar los análisis de laboratorio los mismos que incluyeron:

- Pruebas de calor de inmersión que determinó el  $\Delta T$  y el porcentaje semicuantitativo de zeolita.
- Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT en meq/100g).

Los procedimientos de muestreo, analíticos y de laboratorio empleados y anteriormente expuestos son los establecidos internacionalmente para la determinación de zeolitas naturales.

La estimación de reservas de las rocas zeolitizadas se realizó por el método de los perfiles geológicos, tomando como cotas de base

las diseñadas en cada terraza donde se realizará la remoción de tierras para la construcción del Parque Tecnológico y de esta manera aprovechar las zeolitas naturales presentes.

Simultáneamente al trabajo de laboratorio y de oficina se desarrolló y redactó la tesis.

# CAPÍTULO 2

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES

### 2.1 Introducción

El presente capítulo presenta los aspectos más sobresalientes de estudios realizados sobre zeolitas naturales en el ámbito mundial, los mismos que fueron tomados de la bibliografía especializada en esta materia, y que fue posible gracias al avance tecnológico y la utilización del Internet.

Las zeolitas son una familia de minerales de aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos perteneciente al grupo de los tectosilicatos y constan de un andamiaje de tetraedros de  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ , sustituidos por un tetraedro de  $(\text{AlO}_4)^{-5}$  conectados de forma tal, que cada átomo de oxígeno pertenece a dos tetraedros los cuales cumplen con la Regla de Loewenstein, que asegura que dos

tetraedros de  $(\text{AlO}_4)^{-5}$  no pueden ser vecinos cercanos y por tanto en una zeolita: la relación Si/Al, no puede ser menor que 1. La carga negativa del enrejado aniónico de Al-O-Si se compensa con cationes intercambiables, que ocupan sitios específicos en las cavidades y canales de la zeolita, estos cationes pueden ser: Ca, Mg, Na, K, Ba, etc. Esta estructura es menos compacta que la de los feldespatos. En los huecos abiertos de la estructura se introducen las moléculas de agua sin participar en la cohesión de la red; se trata del "agua zeolítica".

Estos minerales fueron descubiertos en 1756 por el científico sueco Freiherr Axel Frederick Crönstedt quien 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 y formando espuma. [13]

El interés económico de las zeolitas e importancia de su estudio reside en que debido a las particularidades excepcionales de su estructura físico-química, la convierte en el único mineral en la naturaleza que posee 5 propiedades en sí misma que son: adsorción, intercambio catiónico, tamiz molecular, actividad catalítica y estimulación biológica, esta particularidad hace que las zeolitas tengan una amplia gama de

aplicaciones en la Industria, la agricultura, descontaminación ambiental, medicina y otras.

## 2.2 Ocurrencia

Se encuentran en la naturaleza en rocas de varios tipos, edades, y ambientes geológicos, principalmente en rocas sedimentarias y son particularmente abundantes en estratos volcanoclásticos. Trabajos realizados de zeolitas en rocas ígneas, particularmente formadas en cavidades de columnas basálticas muestran la formación de cristales de este mineral. Trabajos posteriores, usando difracción de rayos X muestran que la gran abundancia de zeolitas es en rocas sedimentarias.

Las especies y cantidades de zeolitas varían en función de la textura y composición de la roca huésped, composición del agua intersticial, edad y temperatura. Se forman durante y después de la deposición y enterramiento, generalmente por la reacción de los poros con agua y materiales aluminosilicatos. (Ej. : vidrio volcánico, feldespatos, sílice biogénico, y minerales de arcilla).

De más de 40 zeolitas naturales conocidas las más comunes son: Clinoptilolita, Mordenita, Heulandita, Erionita, Chabazita, Phillipsita y

Laumontita las cuales se tienen en cantidades y pureza razonablemente alta y están disponibles como productos comerciales.

[3]

Las zeolitas (Clinoptilolita y Phillipsita) son comúnmente precursoras de otras zeolitas (Heulandita, Analcima, Laumontita).



### 2.3 Mineralogía Y Origen

Las tres cuartas partes corteza pétreo terrestre está constituida por minerales formados alrededor de un armazón tridimensional de tetraedros  $\text{SiO}_4$  enlazados. Estos minerales pertenecen a la clase de los tectosilicatos, que provienen de un proceso denominado "desvitrificación" de origen de cristal volcánico [2], en los que todos los iones oxígeno de cada tetraedro  $\text{SiO}_4$  están compartidos con los tetraedros vecinos, dando lugar a una estructura con fuertes enlaces, en la que la relación Si:O es 1:2. En este tipo se encuentran las zeolitas.



#### Estructura



Se caracterizan por un entramado tridimensional básico de tetraedros  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  (Fig. 1) sustituido por  $(\text{AlO}_4)^{5-}$ , balanceados eléctricamente por

los cationes, en donde las moléculas de agua se alojan con un elevado grado de libertad en las cavidades y canales de comunicación, esto explica la gran capacidad de cambio catiónico y la deshidratación reversible que las caracteriza.

Esquemáticamente se presenta la estructura general de una zeolita.

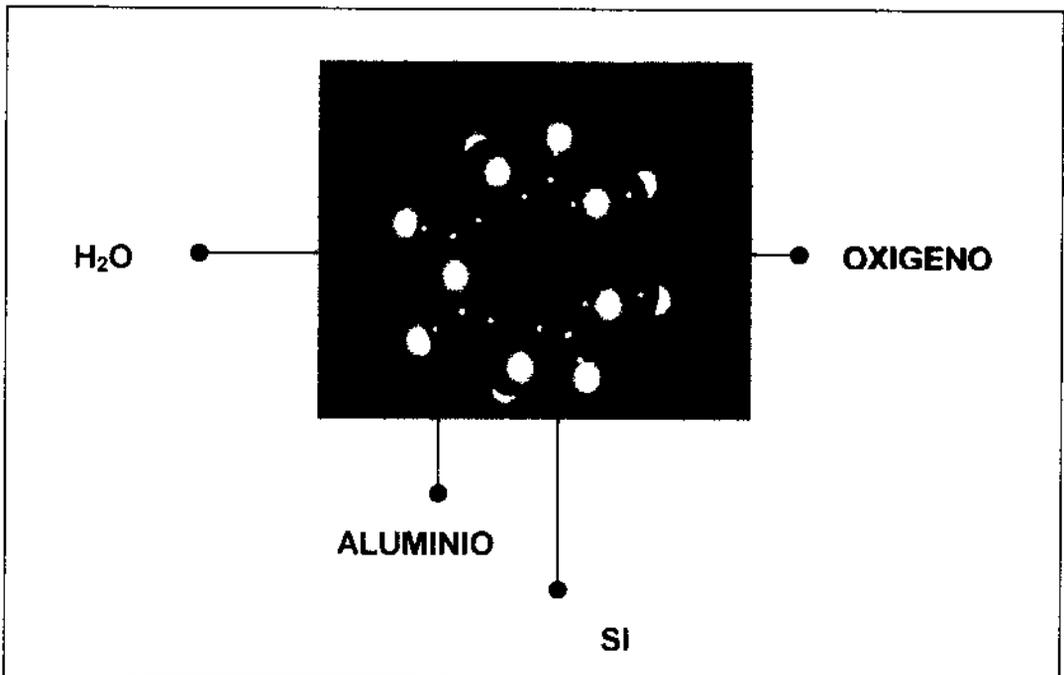


Figura 1. Estructura general de una zeolita

La figura muestra un fragmento en forma de corona, que representa la "entrada" de un canal que facilita el intercambio de iones. La bola magenta representa a un átomo de aluminio en el ciclo de átomos de

silicio (representados por bolas azul celeste). El oxígeno (bolas rojas) asociado a este átomo presenta la capacidad de fijar un protón adicional (bola blanca).

Como ejemplo se presentan las estructuras teóricas de las zeolitas Clinoptilolita , Mordenita, y Laumontita.

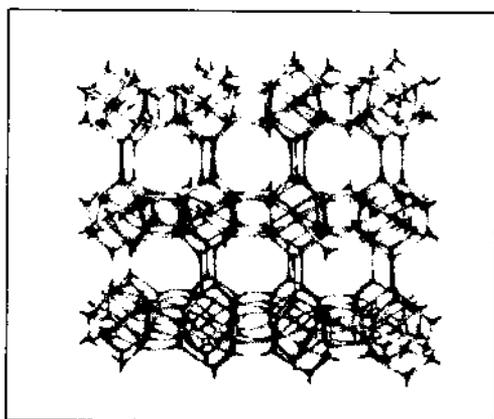


Figura 2. CLINOPTILOLITA

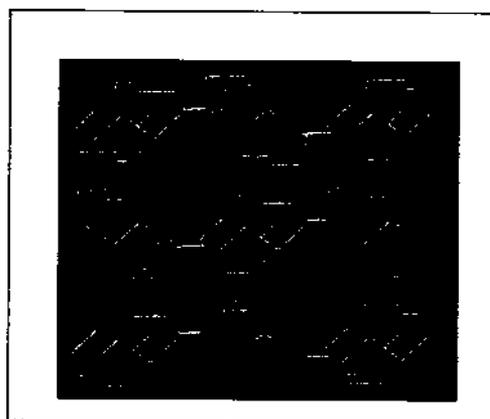


Figura 3. MORDENITA

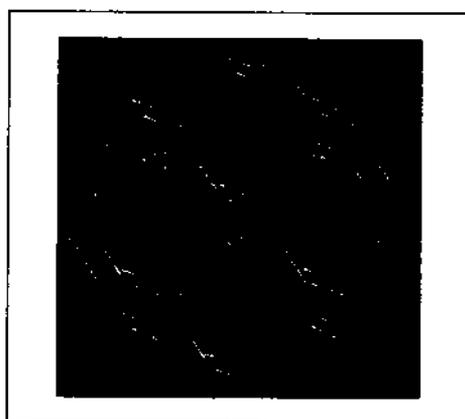
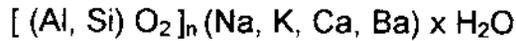


Figura 4. LAUMONTITA

### Composición Química

Las zeolitas son aluminosilicatos con elementos alcalinos y alcalino-térreos, cuya fórmula general corresponde a:



Se caracterizan por las relaciones:

$$O/(Al+Si) = 2 Al_2O_3/(Ca, Sr, Ba, Na_2, K_2)O = 1$$

El más importante entre los alcalino-térreos es el Ca y, en menor proporción el Ba. Los elementos alcalinos presentes son Na y K (en menor medida).

Aspectos sobresalientes de la composición de las zeolitas se encuentran en la tabla 1, donde son listadas en orden decreciente en la relación  $Si/Al + Fe^{3+}$ .

Se puede observar de esta tabla que las zeolitas con mayor contenido de sílice son también las más hidratadas.  $Si/Al + Fe^{3+}$  varia mucho en diversas zeolitas ricas en álcali tal como la Phillipsita y Chabacita. Las de mayor variedad de sílice de estas zeolitas, contienen

principalmente  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , mientras que las de menor variedad en sílice contienen generalmente  $\text{Ca}^{2+}$  [13]

TABLA 1. Composición de zeolitas naturales más comunes

Nombre	Si/Al + Fe	Catión dominante	Moléculas de H <sub>2</sub> O por átomo de Al
Clinoptilolita	4.0 - 5.1	K > Na	3.0 - 3.5
Mordenita	4.3 - 5.3	Na > K	3.2 - 3.5
Heulandita	2.9 - 4.0	Ca, Na	2.5 - 3.0
Erionita	2.9 - 3.7	Na, K	3.0 - 3.4
Chabazita	1.7 - 3.8	Ca, Na	2.7 - 4.1
Phillipsita	1.3 - 3.4	K, Na, Ca	1.7 - 3.3
Analcima	1.7 - 2.9	Na	1.0 - 1.3
Laumontita	2	Ca	2
Wairakita	2	Ca	1
Natrolita	1.5	Na	1

Las zeolitas se forman por la reacción en los poros de materiales sólidos con agua. El reactante común es vidrio volcánico, pero otros reactantes son: arcilla, montmorillonita, plagioclasa, nefelina, sílice biogénico, y cuarzo.

Minerales de arcilla y zeolitas, pueden formarse a partir de iguales materiales, pero si el mineral de arcilla o zeolita es formado esto depende de un ambiente físico-químico y particularmente de las actividades de especies de disolventes existentes tal como  $H^+$ ,  $H_4SiO_4$  y  $Al(OH)^4$ .

La principal característica de las *zeolitas* es que su contenido en agua es variable. La pérdida de agua por calentamiento es progresiva, sin que varíe esencialmente la estructura, sin embargo, las propiedades ópticas varían con la cantidad de agua.

Otras características físicas y *químicas* de las *zeolitas* son:

- Las coloraciones que presentan son variadas dependiendo de la presencia de pequeñas cantidades de óxidos de Fe y de otros metales. Aparecen en la naturaleza desde blancas hasta colores tenues (proporcionalmente a la deshidratación).
- Brillo sedoso a nacarado.
- La densidad suele estar comprendida entre 2.0 y 2.3 g/cm<sup>3</sup>, pero si contienen Ba puede llegar a 2.8 g/cm<sup>3</sup>.
- Los índices de refracción son bajos, comprendidos entre 1.47 y 1.52. Birrefringencia débil (menor que 0.015). Son frecuentes las anomalías ópticas.
- Funden fácilmente al soplete.

- Son menos duras que otros *silicatos hidratados* (3.5 - 5.0).
- Todas las *zeolitas* son atacables por los ácidos en mayor o menor medida, en especial por el HCl, separándose sílice gelatinosa y en algunos casos polvo de sílice.

## ORIGEN

El origen de las *zeolitas* es muy diverso (Figura 5), fundamentalmente secundarias, como producto de la acción de aguas termales sobre aluminosilicatos (feldespatos y otros) a través de grietas y cavidades. *Zeolitas* hidrotermales, como la Natrolita, son producto de la cristalización a partir de soluciones magmáticas residuales. Otras *zeolitas* son producto del metamorfismo de grado muy bajo de ciertas rocas básicas. Algunas *zeolitas metamórficas* son la Laumontita (considerada como termómetro del *metamorfismo*), la Heulandita y la Wairakita. Con frecuencia las *zeolitas* aparecen en yacimientos de cobre, plata, pirrotina y magnetita, encontrándose relacionadas con los productos de la alteración de tales materiales mediante soluciones alcalinas.

Las *zeolitas* que provienen de sedimentos se caracterizan por ser aglomerados de cristales de muy pequeñas dimensiones y a menudo



con caras cristalinas mal desarrolladas. Son este tipo de formaciones las que han dado los grandes depósitos de interés tecnológico [3].

Cinco zeolitas ocurren más comúnmente en rocas sedimentarias: Analcima, Clinoptilolita, Heulandita, Laumontita y Phillipsita. Un grupo adicional de zeolitas existe en grado de abundancia: Chabazita, Erionita, Mordenita, Natrolita (con Gonardita) y Wairakita. [14]

Las especies de zeolitas dependerán de la temperatura, presión y varios parámetros químicos: actividad de la relación de Si para Al, actividad de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , también la actividad (o presión parcial) del  $\text{H}_2\text{O}$ .

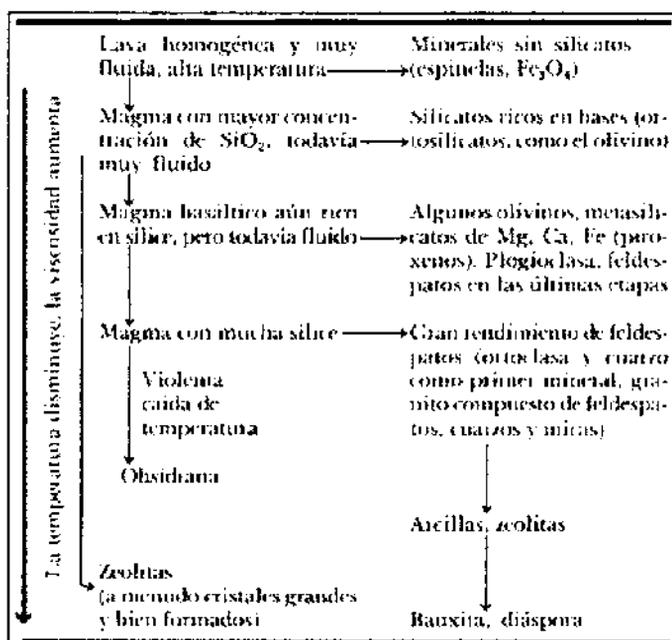


FIGURA 5. Formación de zeolitas en la naturaleza.

## 2.4 Propiedades de las Zeolitas Naturales

Las aplicaciones de las zeolitas se hallan en función de sus propiedades físico-químicas, tales como su capacidad de intercambio iónico, la adsorción y la deshidratación-hidratación como procesos físicos. Todas estas propiedades están asociadas, tal como se ha indicado anteriormente a su estructura, armazón molecular y a su posición catiónica.

- **ADSORCIÓN**

En condiciones ambientales la cavidad central, así como sus canales se hallan repletos por moléculas de agua en forma de esferas, que rodean a los cationes intercambiables. Si el agua es desplazada a temperatura adecuada (según el tipo de zeolita), estos serán capaces de adsorber moléculas cuyo diámetro sea inferior al de los canales y cavidad central, reteniéndolas dentro de las mismas. Ejemplo de esto es su selectividad por gases como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , y otros.

Además de su capacidad para separar moléculas gaseosas en función de sus tamaños y formas, por la distribución de cargas dentro de su cavidad y canales deshidratados (presencia de

cationes libres) debido a la sustitución del aluminio por el silicio, dan lugar a momentos dipolares, capaces de adsorber de forma selectiva a compuestos de moléculas polares tales como el  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $SH_2$ , siendo adsorbidos preferentemente a las moléculas no polares.

Para el caso particular del agua este es un proceso de hidratación-deshidratación o físico de adsorción – desorción, que varía en función de la presión, temperatura, así como del tipo de zeolita, siendo el efecto directo endotérmico y la rehidratación exotérmica, la importancia de esta propiedad está dada porque ocurre sin que se produzca alteración estructural de estos minerales.

- **INTERCAMBIO CATIONICO**

La capacidad de intercambio catiónico de las zeolitas naturales puras es elevada, siendo normalmente de 250 meq/100g. para el caso particular de la Clinoptilolita y Mordenita e inferior en rocas o tobas zeolitizadas, las cuales alcanzan valores de intercambio en función de su contenido zeolítico, de 100 a 180 meq/100g o más mientras que los materiales arcillosos no sobrepasan de los 30-50 meq/100g. En la práctica del intercambio iónico, Mumpton (1977) nos indica que este se encuentra sometido a una serie de factores

tales como el tamaño y carga del catión, temperatura, concentración del catión de la solución en contacto y a las características estructurales del tipo de zeolita.

- **TAMIZ MOLECULAR**



La esencia consiste en que según el tipo de zeolita, estas son capaces de permitir que moléculas cuyo diámetro sea inferior al de los canales y cavidad central puedan pasar al interior y que las de diámetro mayor no. Las moléculas que pasen al interior de la zeolita podrán ser adsorbidas internamente. De esta manera hidrocarburos tales como pentano y octano que tienen diámetros de 4,3 Å pueden ser retenidos por zeolitas con cavidades similares, mientras los isopropanos e iso-butanos con 5 Å no podrán ser retenidos por estas. Basados en esta propiedad se han desarrollado un sinnúmero de tecnologías por el método de Pressure Swing Adsorption (PSA) para la obtención y separación de gases puros como: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar, H, etc.



- **ACTIVIDAD CATALITICA**

Las zeolitas modificadas mediante intercambio catiónico adquieren cationes metálicos como: Ni, Co, Cu, Zn, etc. logrando obtener

centros activos catalíticos que sirven para acelerar diferentes procesos químicos, tanto en sistemas líquidos como gaseosos y biológicos.

Por la propiedad de catálisis se han presentado trabajos de descontaminación básicamente en purificación de gases de automotores, para la eliminación de:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , utilizando zeolitas del tipo Mordenita y dopadas con elementos metálicos como Co, Ni, Cu, etc.

Eliminación de emisiones pestilentes de fábricas harina de pescado (putresina) han sido tratadas con zeolitas activadas con cationes ácidos.

Varios procesos en la industria de refinación del petróleo usan actualmente las zeolitas como soportes catalíticos.

- **ESTIMULACIÓN BIOLÓGICA**

Las zeolitas estimulan biológicamente diferentes procesos tanto aeróbicos como anaeróbicos, disminuyendo los tiempos de

residencia en las reacciones fermentativas, así como interactúan con los microorganismos.

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

## **2.5 Tipos de Zeolitas Naturales**

La mayor parte de los yacimientos explotables de zeolitas naturales son situados en las formaciones detríticas de origen volcánico inicialmente ricas en fase vítrea, frecuentemente ligada a un volcanismo de tendencia ácida.

La zeolitización se desarrolló en detrimento de la fase de silicato amorfo, unido por epigénesis al terminar el depósito, o a los fenómenos posteriores tales como el metamorfismo o hidrotermalismo.

Según Sand-Mumpton, (1973) los yacimientos de zeolita en función del criterio geológico y genético, se pueden clasificar de la siguiente forma [3]:

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

### **ZEOLITAS EN LAGOS SALINOS ALCALINOS.**

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 de poco espesor (algunos centímetros a metros). [3]

Las zeolitas son minerales muy comunes y difundidos en depósitos de lago salinos y alcalinos formados en regiones áridas y semiáridas que

poseen un pH de cerca del 9.5 como resultado de disolver carbonato de sodio.

La extensa variedad de materiales reacciona para producir zeolitas en este ambiente alcalino, reflejando la solubilidad del detrito aluminosilicato con alto pH. Entre los reactantes más comunes se encuentra el vidrio volcánico, sílice biogénico, arcillas pobremente cristalinas, montmorillonita, caolinita, plagioclasa y cuarzo. En adición a las zeolitas se encuentran asociados silicatos de sodio y feldespatos. Las reacciones son relativamente rápidas en donde la toba vítrica puede alterarse a zeolita en 100 años.

La zeolita más común formada por vidrio silíceo en este ambiente es la Phillipsita, Clinoptilolita, y Erionita; menos comunes son la Chabazita y la Mordenita.

Capas monominerálicas de Phillipsita, Clinoptilolita, y Erionita que son formadas por tobas riolíticas son muy difundidas en el Plio-Pleistoceno en depósitos de lagos del oeste de los Estados Unidos (Sheppard, 1971). Estas zeolitas alteran la analcima en agua en moderadas cantidades de salinidad. Todas las zeolitas se alteran principalmente en feldespatos. En otras palabras, el vidrio se altera a zeolita como a

Phillipsita, el cual puede ser alterado a analcima y este es reemplazado por feldespatos.

## **ZEOLITAS EN SUELOS Y EN SUPERFICIES TERRESTRES.**

Recientemente el sistema de clasificación fue propuesto por Ming y Mumpton basado en el origen de las zeolitas en ambientes de suelos. Hay dos orígenes de las zeolitas naturales en suelos, las cuales pueden tener cristalización durante la formación del suelo (pedogénico) o pueden haber heredado de la roca madre o algún otro origen distinto (litogénico). Como en depósitos sedimentarios de zeolita, mucho suelo zeolítico tuvo alguna influencia de actividades volcánicas previas, sin embargo estos volcanismos previos no son necesarios. [14] Los diversos tipos de ocurrencias zeolíticas en suelos son:

1. Zeolitas pedogénicas en suelos salinos, alcalinos de origen no volcánico.
2. Zeolitas pedogénicas en suelos salinos, alcalinos de origen volcánico.
3. Zeolitas litogénicas en suelos de residuos volcánicos de materiales madres.



4. Zeolitas litogénicas en suelos de adición eólica o deposición fluvial.
5. Zeolitas en otros ambientes de suelos.



## ZEOLITAS EN SEDIMENTOS MARINOS

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 relativamente comunes en algunos estratos. Algunas zeolitas son formadas a poca profundidad y bajas temperaturas, pero otras se forman en respuesta a un incremento sustancial de temperatura. Aquí solo se trata de las zeolitas de bajas temperaturas, las de altas temperaturas son discutidas en otra parte bajo entierro diagenético.



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 volcanoclásticos, especialmente en ceniza vítrea, y este forma como mucho un 80 % de los depósitos de tefra alterada. La Phillipsita es comúnmente asociada con roca silícea, generalmente basáltica, tefra, y Clinoptilolita con tefra silícea.

Veintidós especies de zeolitas han sido descubiertas en depósitos marinos cuaternarios. Aguas dulces, no marinas contienen las mismas especies.

## **ZEOLITAS EN SISTEMAS ABIERTOS**

En sistemas hidrológicos abiertos, secuencias de tefra muestran comúnmente mayor o menor zonación vertical de zeolitas y otros minerales autógenos que reflejan el cambio químico en aguas meteóricas moviéndose a través del sistema.

Minerales de arcilla, mas comúnmente smectitas, son formados por hidrólisis de ceniza volcánica en la parte superior del sistema, incrementándose el pH y disolviendo sólidos en el punto donde el vidrio altera en zeolita.

El espesor de acumulaciones no marinas de tefra silícea puede contener una zona más elevada, 200 a 500 m de espesor, conteniendo vidrio nuevo, montmorillonita y ópalo. La zona más baja alcanza como mucho 500 o más metros de espesor, es generalmente caracterizada por zeolita silícea como Clinoptilolita. En la zona más baja se encuentra analcima con feldespatos y cuarzo.

### **ZEOLITAS HIDROTERMALES**

Las zeolitas son difundidas en áreas de alteración hidrotermal y pueden exhibir un patrón de zonación. La zonación mineralógica representa primariamente una deshidratación progresiva con incremento de la temperatura. Estos yacimientos son considerados como frecuentes y comunes. Clinoptilolita o Mordenita caracterizan a la zona de menor temperatura y de poca profundidad, encontrándose progresivamente en zonas más profundas contenidos importantes de analcima o Heulandita, Laumontita o Wairakita.

Yacimientos encontrados de este tipo de zeolitas se pueden mencionar: Yellowstone Park, Wyoming; Wairakei: Nueva Zelanda; Orikobe, Japón.

## **ZEOLITAS METAMORFICAS**

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

En un inicio, las zeolitas se agruparon en función de su apariencia externa. Hoy se hace también en función de las características estructurales y de las propiedades fisicoquímicas, aunque la clasificación y nomenclatura todavía están en proceso de cambio y refinamiento. De acuerdo a esta clasificación se divide a las zeolitas en nueve grupos de: Analcimas, Natrolitas, Philipsitas, Heulanditas, Mordenitas, Chabasitas, Faujasitas, Laumontitas y Pentasil. En el Anexo 1 se pueden ver detalles de la clasificación de las zeolitas.

### **2.6 Aplicaciones**

**Agricultura y ganadería:** (zeolitas al estado natural, trituradas, molidas y cribadas).

- Las propiedades de intercambio iónico de las zeolitas permiten en la agricultura un mejor aprovechamiento de los fertilizantes. Como agregado en alimento de aves y ganado permite un aprovechamiento de nutrientes, aumentando sustancialmente el peso en los animales además de desodorizar las heces de los mismos.
- Nutrición animal y vegetal: aceleración, crecimiento y aumento de peso.
- Reciclaje de los desechos sólidos y sólido-líquidos.
- Tratamiento de suelos: aereación, prevención de lavado de nutrientes, corrección de pH y canje iónico de los suelos.

**Industria:**

- Las zeolitas de tipo industrial con alto contenido en sílice pueden ser utilizadas por su gran resistencia térmica y estabilidad frente a la acción de los ácidos en procesos de adsorción de gases ácidos.
- Se utilizan también en procesos de desecado, purificación de la materia prima y de algunos productos de petróleo, en la obtención de amoníaco, hidrocarburos insaturados y aromáticos, en la

eliminación del  $\text{SO}_2$  contenido en residuos industriales de instalaciones químicas, refinación del petróleo, en la obtención del nitrógeno y argón.

- Tratamiento de aguas y de efluentes, principalmente la recuperación del  $\text{NH}_4^+$  en las aguas residuales (Clinoptilolita).
- Aplicaciones ligadas a su capacidad de absorción.
- Deseccación: poder deshidratante muy elevado aire, gas portador de calor y gases diversos)
- Climatización (calentamiento y refrigeración).
- Tratamiento y separación de gases: separación de  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  del aire.

#### **APLICACIONES ESPECIALES:**

- Catalizadores y soporte de catalizadores.
- Filtros depuradores de motores de combustión automotriz.
- Productos farmacéuticos.
- Productos veterinarios.
- Relleno para las industrias de: goma, papel, cartón, plástico y pinturas.

- Secado de gases.
- Sistemas de refrigeración y preservación con fuentes de bajo potencial térmico.
- Tratamiento y descontaminación de gases tóxicos industriales.

Muchas aplicaciones más...

## 2.7 Yacimientos

El anexo 2 muestra reportes de ocurrencias de zeolitas de sedimentarias en el mundo, presentándolas por continentes en orden de ocurrencias: Europa, África, Asia y Australia, América del Sur, América del Norte, Antártida; especificando el país, la especie de zeolita reportada, número de depósitos, ocurrencias y posibilidades hacia el futuro basadas en los ambientes geológicos de la región. Mumpton (1981, Tabla 16), y modificada por Mumpton (1983).

El anexo 3 muestra los países que explotan actualmente zeolitas naturales, en la cual puede observarse que la Clinoptilolita es la más abundante de las zeolitas sedimentarias, por lo menos hasta lo que concierne en explotación comercial, seguido por Mordenita, Phillipsita, Chabazita, Erionita, y Analcima.

Aunque la producción comercial se ha incrementado en los últimos años, la capacidad de producir zeolitas desde depósitos sedimentarios todavía está lejos de exceder el actual consumo industrial de este material. [19]

# **CAPÍTULO 3**

## **3. GEOLOGÍA**

### **3.1 Fisiografía**

#### **3.1.1 Ubicación**

El Campus "Gustavo Galindo", de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se encuentra localizado al Noroeste de la ciudad de Guayaquil en el Km. 30.5 de la vía Perimetral. El área de 200 hectáreas descrita en este trabajo, cubre el sector del Parque Tecnológico. (Figura 6)

Las coordenadas UTM que forman los vértices del polígono regular que comprende el área de estudio dentro de los terrenos de la ESPOL se muestran en la tabla 2 :

Tabla 2 : Vértices del polígono que forman el área de estudio

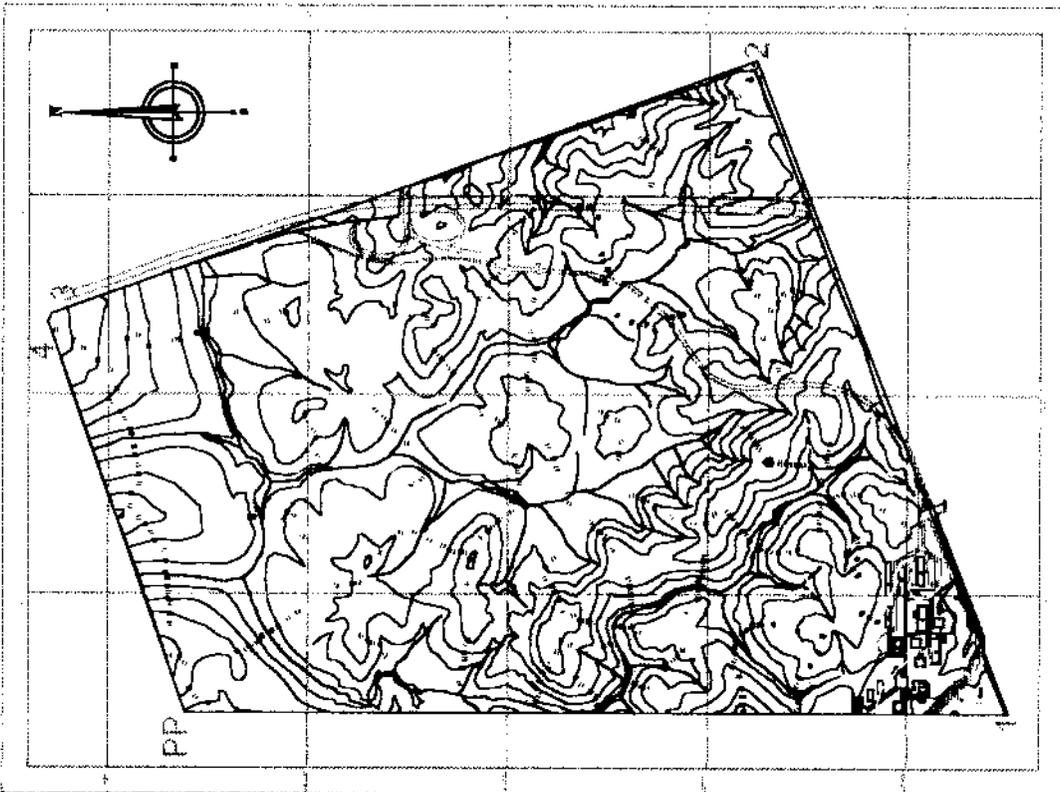
VERTICE	COORDENADAS UTM	
	X	Y
PP	616200	9764309
1	616201	9762245
2	617840	9763880
3	617202	9764642
4	617182	9764651

### 3.1.2 Accesibilidad

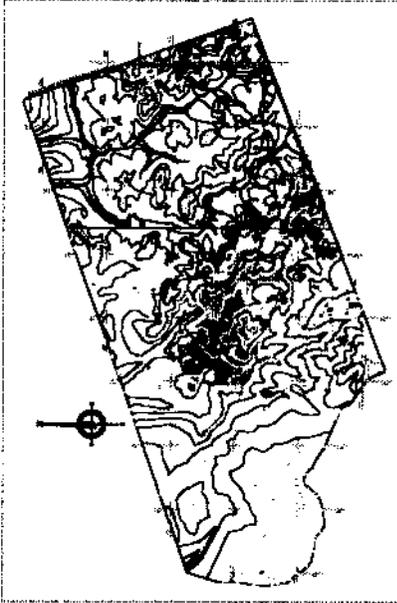
El acceso a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Campus Prosperina) se realiza por la Vía Perimetral a la altura de la intersección con la avenida principal de la urbanización Los Ceibos.

La ESPOL cuenta con una vía perimetral interna de primer orden que se comunica con vías de segundo y tercer orden anexas que permiten llegar con mayor facilidad al área de trabajo del Parque Tecnológico, continuando luego por los causes hidrográficos principales y secundarios hacia la parte central de la misma.

AREA DE ESTUDIO



PLANO TOPOGRAFICO DEL CAMPUS POLITECNICO



**SIMBOLOGIA**

- limite del Parque Tecnológico ESPOL (Area de Estudio)
- curvas de nivel
- cauces

	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: MAPA DE UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO			
FIGURA: 6	AUTOR: ING. JORGE CALLE	DIRECTOR: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL/2002 ESCALA: 1:2000



### **3.1.3 Hidrografía**

El modelo de drenaje dentro del área de estudio se presenta en forma rectangular y alargada con un patrón predominante dendrítico poco profundo , modelado sobre tobas, areniscas, lutitas y aglomerados potentes (Formación Cayo, Miembro Cayo s.s.) en diferentes niveles topográficos, que varía desde los 100m hasta 25 m. de altura.

La dirección de flujo de aguas predominantemente es hacia el Norte, la naturaleza de las mismas es estacionaria presentándose en la época de invierno, pero en los sectores más bajos existe agua de encharcamiento por aportes naturales de las precipitaciones y aguas de desagües, siguiendo los causes naturales.

### **3.1.4 Clima**

El Ecuador presenta una amplia variación climática. Según la tabla de clasificación del Mapa de Bioclimas del Ecuador, la zona 7 donde está ubicada el área de estudio es clasificada como "Tropical - Muy Seco", con 2 estaciones climáticas bien definidas:



La lluviosa (invierno) caracterizada por precipitaciones abundantes y altas temperaturas en los meses de enero – abril.

La seca (verano) que comprende desde mayo a diciembre, con precipitaciones muy escasas y clima templado.

De acuerdo al mapa de ubicación de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, la estación de Guayaquil ubicada en el aeropuerto Simón Bolívar es la más cercana al sitio de estudio. La información proporcionada por el INAMHI resume los eventos meteorológicos que se tiene para Guayaquil. La tabla 3 muestra los valores estadísticos multianuales obtenidos dentro de un período normal que corresponde a los años (1990 – 1999), en la figura 7 se observa la representación gráfica para estos valores.



La temperatura y precipitación se correlacionan en gran parte, los dos alcanzan sus mínimos a mediados del año. La temperatura media anual en la zona es del orden de los 25.9° C, con temperaturas fluctuantes entre 16.5° y 37.3° C. La precipitación multianual varía desde 0.1 mm a 280.9 mm con un valor máximo de 971.1 mm al final del año, en aproximadamente



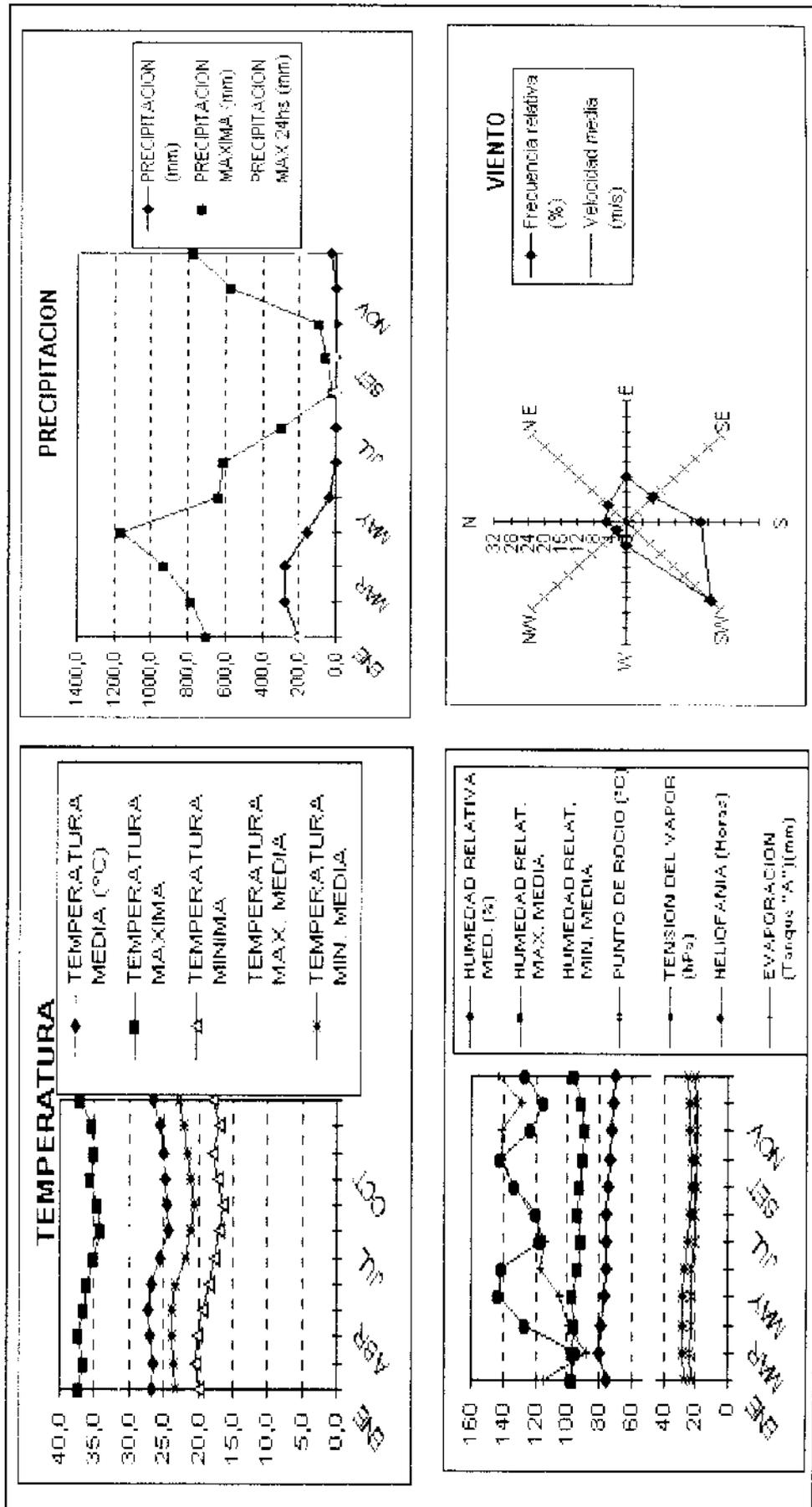
89 días con precipitación . La humedad relativa media alcanza un valor promedio multianual de 75 %. La heliofanía, es decir los días con sol anualmente suman 1479.2 horas. La dirección del viento predominante es hacia el SW con una frecuencia relativa del 29 % y con una velocidad media de 2 m/s.

Tabla 3 : Datos Meteorológicos (Resumen Estadístico Multianual)

DATOS METEOROLOGICOS (RESUMEN ESTADISTICO MULTIANUAL)														
ESTACION: GUAYAQUIL AEROPUERTO														
PROVINCIA: GUAYAS														
PERIODO: 1959 - 1999														
LATITUD: 02°09'12"S														
LONGITUD: 79°53'00"W														
ELEVACION: 5m														
DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
TEMPERATURA MEDIA (°C)	26,7	26,6	27,1	27,2	26,7	25,4	24,4	24,5	24,9	25,1	25,4	26,5	25,9	
TEMPERATURA MAXIMA	37,2	36,6	37,3	36,6	36,0	35,1	34,1	34,7	35,7	35,1	35,4	37,0	37,3	
TEMPERATURA MINIMA	19,8	20,3	20,2	19,4	18,5	17,6	17,0	16,5	17,2	17,8	17,0	18,0	16,5	
TEMPERATURA MAX. MEDIA	31,4	31,1	32,0	32,0	31,6	30,3	29,7	30,2	30,9	30,7	31,1	31,9	31,1	
TEMPERATURA MIN. MEDIA	23,3	23,6	23,9	23,7	23,2	21,9	21,0	20,7	21,2	21,6	22,0	22,9	22,4	
HUMEDAD RELATIVA MED. (%)	76	80	79	77	75	76	75	74	73	72	71	70	75	
HUMEDAD RELAT. MAX. MEDIA	97	97	96	97	94	91	93	92	90	89	91	96	94	
HUMEDAD RELAT. MIN. MEDIA	49	58	52	54	51	53	51	50	49	47	47	44	50	
PUNTO DE ROCIO (°C)	22,1	23,2	23,0	23,0	22,1	20,8	19,9	19,5	19,5	19,7	19,7	20,5	21,1	
TENSION DEL VAPOR (hPa)	26,7	28,5	28,4	28,2	27,1	24,9	23,3	22,8	22,8	23,1	23,2	24,4	25,3	
PRECIPITACION (mm)	198,6	280,9	272,8	152,3	38,4	3,3	0,1	0,0	0,1	0,7	0,5	23,4	971,1	
PRECIPITACION MAXIMA (mm)	701,3	783,3	929,3	1158,7	638,8	612,2	292,5	19,7	58,2	89,6	571,9	772,0	4230,7	
PRECIPITACION MAX 24hs (mm)	204,7	122,1	151,2	221,8	116,3	124,6	64,4	7,3	18,1	46,6	168,3	190,6	221,8	
DIAS CON PRECIPITACION	16	18	19	14	8	3	1	0	1	1	2	6	89	
NUBOSIDAD (Octavos)	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
HELIOFANIA (Horas)	98,1	94,2	126,6	143,6	140,5	117,1	119,9	133,2	142,2	122,4	114,7	126,7	1479,2	
EVAPORACION (Tanque "A")(mm)	114,5	88,2	99,0	105,1	117,3	114,3	121,9	132,7	141,3	140,4	128,3	142,9	1445,9	
VIENTO VELOCIDAD MEDIA (m/s)	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,1	1,4	1,2	
VIENTO VELOC. MAX. MEDIA	5,0	4,1	4,1	3,9	4,0	4,4	4,8	5,8	5,5	5,8	5,4	5,2	4,8	
VIENTO DIRECCION														
N	5	6	12	9	18	29	6	3	Calma					
NE	0,7	0,9	1,2	1,2	2,1	2,0	0,8	0,6						
E														
SE														
S														
SW														
W														
NW														
Frecuencia relativa (%)														
Velocidad media (m/s)														

FUENTE: ANUARIOS Y BOLETINES METEOROLOGICOS INAMIHI

Figura 7: Datos Meteorológicos (Resumen Estadístico Multianual)



### 3.1.5 Ecología y Vegetación

Ecológicamente el área se encuentra en una zona de transición entre “bosque seco y bosque muy seco Tropical” según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967).

Según la nueva clasificación propuesta por Sierra (1999) el Bosque deciduo de tierras bajas tiene correspondencia con el Bosque seco Tropical, y el Matorral seco de tierras bajas se corresponde al Bosque muy seco Tropical.

En base a lo anteriormente descrito:

El Bosque deciduo de tierras bajas se ubica entre las formaciones de matorrales secos de tierras bajas y los bosques semidecíduos o húmedos tropicales, en una franja altitudinal entre los 50 y 200 m.s.n.m. La vegetación se caracteriza por perder las hojas durante una parte del año. Los árboles más conspicuos son de la familia *Bombacaceae*, tienen troncos abombados y copa ancha. La vegetación en el estrato medio incluye varias especies de cactus y de plantas espinosa de orden Fabales. Se localiza entre las provincias de Manabí en el Parque Nacional Machalilla y en el flanco bajo del Cerro

Montecristi, en la provincia del Guayas en Cerro Blanco y los flancos bajos de los cerros Masvale, Cimalón, Perequete, Mate y Pancho Diablo en la Reserva Ecológica Manglares-Churute.

El Matorral seco de tierras bajas ocurre en la cercanía del mar, a altitudes inferiores a los 100 m.s.n.m. La vegetación se caracteriza por ser seca, baja y extendida de hasta 6 metros de altura y espinosa, con notable presencia de cactus columnares. Familias bien representadas son *Capparaceae*, *Euphorbiaceae*, *Boraginaceae* y *Convolvulaceae*, y el orden Fabales. Se puede encontrar en el Parque Nacional Machalilla, cerca de Manta, San Mateo, en la provincia de Manabí, y en Santa Elena y alrededores bordeando el océano Pacífico en la provincia del Guayas.

La flora sobresaliente está compuesta por árboles de *Muntingia calabura*, *Bruxera grabeoloens*, *Albissia guachapele*, *Triplaris americana*, *Tabebuia crisantha*, *Cordia alliodora*, *Centrolobium paraensis*, *Mitoxilum balsamun*, *Ochroma pyramidalis*, *Brosimum guianensis*, *Libidibia corimbosa*, *Amarantus sp.*

La fauna de esta zona está representada por las especies siguientes: aves, reptiles, anfibios y mamíferos; en las pozas de agua permanente de algunas quebradas están presentes muchas especies acuáticas. Los roedores y las aves son muy abundantes.

Las especies más sobresalientes son: *Alloutta palliata* (Mono aullador), *Cebus albifrons* (Mico), *Mazama americana* (Venado cervicabra), *Odocoileus virginianus* (Venado cola blanca), *Tayassu pecari* (Saino), *Tayassu tajuca* (Saino), *Felix pardalis* (Gato), *Felix yagouaroundi* (Gato), *Poton llavus* (Cusumbo), *Nassau narica* (Cuchucho), *Sciurus granatensis* (Ardilla), *Sciurus stramineus* (Ardilla), *Proenchimys decumanus* (Rata espinosa), *Quiropteraspp.* (Murciélago), *Dasytus spp.* (Armadillo), *Carduelis spp.* (Jilguero), *Calhartes aurea* (Gallinazo), *Tito alba* (Lechuza), *Iguana iguana* (Iguana verde), *Brothops atrox* (Coral), *Boa constrictor* (Matacaballo), *Oxyrhopus petola* (Equis).

En el área del Campus Politécnico también se encuentran especies endémicas de árboles como son el *Pseudo bombaxmillei* (Beldaco) y *Centrolobium chroxylum* (Amarillo);

además de especies amenazadas: Palo Santo, Cabo de Hacha y Guayacán. (Comunicación Personal Biólogo Juan Álava).

### **3.1.6 Suelos**

En el área ocurren suelos tanto residuales como transportados.

Los suelos residuales tienen diferentes características dependiendo del tipo de roca, en los aglomerados el suelo es más potente al igual que en las areniscas limo-arenoso color café oscuro a claro, con fragmentos redondeados; y con menor desarrollo en las lutitas, de suelo limo arenoso de color café a rojizo con fragmentos de la misma roca.

Los depósitos recientes (suelos transportados) que ocurren en el área de estudio están integrados por terrenos aluviales y coluviales, los mismos que presentan diferentes características.

Los terrenos aluviales se distribuyen en las depresiones y quebradas y están constituidos por: limo-arcillas y una mezcla de arena y arcilla, con cantos de roca del sector. La baja permeabilidad de los mismos está favorecida por grietas de desecación. Su espesor es variable y no está bien definido. Las

propiedades hidrogeológicas varían, de mala a buena porosidad y permeabilidad.

Los depósitos coluviales se encuentran en varios sitios, las acumulaciones más importantes se ubican al pie de los cerros constituidos por bloques de varios tamaños desde decimétricos a métricos, angulosos con matriz variada de arcilla o arena, poco o medianamente consolidados. Los materiales más gruesos tienden a concentrarse en la vecindad de las montañas que la rodean, mientras las arenas finas y los limos se recolectan en la parte central de la llanura de inundación.

### **3.2 Geología Regional**

La Región Costera ubicada entre la zona de subducción (fosa Colombia – Ecuador – Perú) y el arco volcánico de la Cordillera de los Andes, es una cuenca de ante-arco emergida (Lonsdale 1978), con una extensión mayor a los 500 Km. y un ancho promedio de 120 Km. Está compuesta por una base de rocas basálticas, sobre la cual se han depositado formaciones geológicas de origen marino y posteriormente formaciones recientes de origen sublitoral-continental.

En el Suroeste de la Costa [ Fig. 8- 9] un levantamiento de tipo horst perpendicular a la zona de subducción actual, dio lugar a la formación de la Cordillera Chongón – Colonche (Dugas F., 1986), llevando a la superficie rocas basálticas de la Formación Piñón (antiguo piso oceánico de edad Cretáceo inferior a medio) y su primera cubierta de rocas detríticas la Formación Cayo, que separan dos cuencas: la cuenca de Manabí orientada paralelamente a la zona de subducción, y la cuenca de Progreso graben asimétrico muy fracturado con varias fallas (Falla-flexura, Falla La Cruz) abierta probablemente durante el término del Eoceno y el comienzo del Oligoceno, de rumbo paralelo a la Cordillera de Chongón Colonche.

[1]

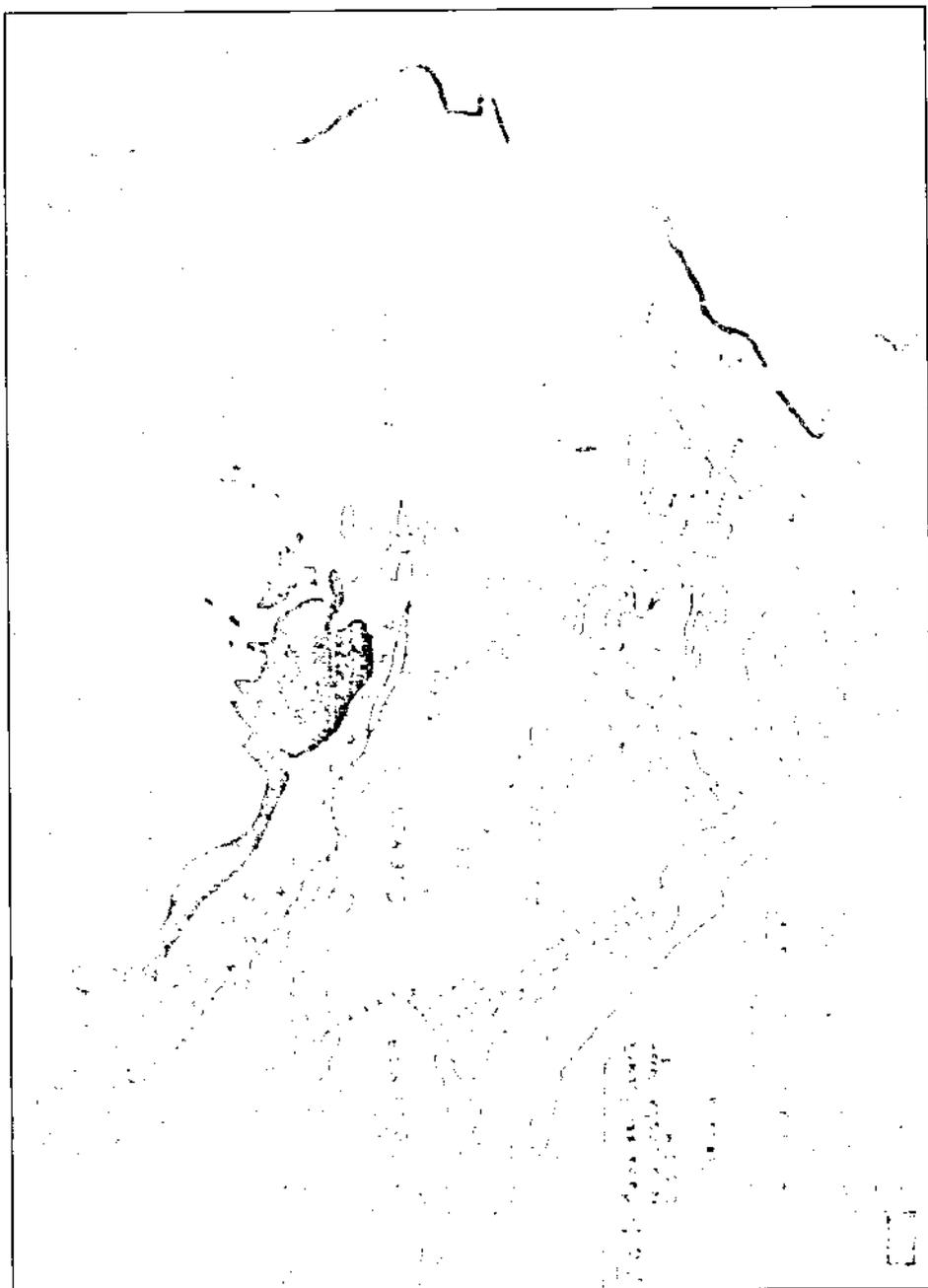


Figura 8. Mapa del Suroeste de la Costa (Según D. G. G.M.)

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA

ERA	SISTEMA	SERIE	ETAPA	LITOLOGIA	DEFINICION	POTENCIA		
CENOZOICO	CUATERTARIO	HOLOCENO	PLAÑAN	0.0.0	DEPOSITO ALUVIAL	20 m		
		PLEISTOCENO			DEPOSITO COLUVIAL	30 m		
		PLIOCENO			formacion TABLAZO	70 m		
	MIOCENO	MIOCENO SUPERIOR	SARMA TIANO			formacion PROGRESO	2700 m	
			VINDO BONION					
		MIOCENO INFERIOR		miembro ZACACHUN		SUBIBAJA	550 m	
				miembro SAISA				
				formacion TOSASUA		DOS Bocas	2400 m	
				miembro VILLINOTA				
		miembro LAS CANAS						
	EOCENO	OLIGOCENO SUPERIOR	TATIANO			formacion ZAPOTAL	500 m 1200 m	
		OLIGOCENO INFERIOR	SANOLSA					
			SUP	RIA		ARENISCA PUNTA ANCON	SECA	1200 m
			MED	LUTETIA		SANTO TOMAS		
			INF	YPRESTIA		formacion SAN EDUARDO		100 m
	PALEOCENO		ESTANCIA		ENGABAC	GRUPO AZUCAR	2000 m	
			CHANDUY					
	MESOZOICO	CRETACICO	MONTE			SUAYAGUIL CHERT	2800 m	
			DANIANO					
			MAESTRICH					
			COMPO					
SANTON								
TARDIO		CONIAC			formacion CAYO			
		TURONIA						
		GENOMA			subf. = CALENTUAS			
JURASICO	SUPERIOR	TEMPERANO			COMPLEJO RANON	2700 m		
		TITON						

FUENTE: TESIS DE M. URUA

Figura 9. Columna Estratigráfica de la Costa Ecuatoriana

Los rasgos geomorfológicos más importantes que se presentan dentro del área de estudio son: la Cordillera Chongón - Colonche pequeña cordillera vulcano-sedimentaria (700 – 800 m) con orientación NO – SE se alarga en forma de arco, discontinuo al Norte y continuo al Sur, con una topografía muy accidentada y valles jóvenes en forma de V. Las elevaciones medias de Pascuales, sin un alineamiento preferencial no superan una altura de 80 m y forman un relieve suave aflorando en las colinas diferentes litologías, todas pertenecientes a la Formación Cayo. La llanura aluvial del río Guayas área de topografía muy plana, de altura relativamente cercana al nivel del mar, interrumpida ocasionalmente por pequeñas elevaciones como las de Samborondón y Pascuales; y los depósitos estuarinos del delta del Guayas compuestos por sedimentos limo-arenosos a arenosos que forman los manglares, salitrales y acumulación de lodos. [12]

Debido al tectonismo, el fracturamiento regional se manifiesta siguiendo dos direcciones principales  $N110^{\circ} - 130^{\circ}$ , observado a gran escala, en los escalones del flanco Sur de la Cordillera de Chongón Colonche, en el borde Norte y Sur de la Cuenca de Progreso (horsts Chongón, Azúcar-Playas) y en la línea de Costa del Suroeste; corresponde a los accidentes más antiguos por lo que limitan desde el Paleoceno las áreas de sedimentación. El rumbo es



aproximadamente N-S observado principalmente en las cuencas post-Oligocénicas, orientación más reciente paralela a las grandes estructuras actuales (zona de subducción, Cuenca de Manabí, Cuenca del Guayas, Cordillera de los Andes). De los otros rumbos se destaca la orientación  $N50^{\circ}W$  paralela a la red de fallas Dolores-Guayaquil y a probables movimientos de bloques. La mayoría de las fallas muestran varias redes de estrias indicando varias fases de inclinación de los bloques. Las fallas observadas son normales, con pequeños desplazamientos, y direcciones predominantes N y N-NE subverticales. Los pliegues son más frecuentes en las lutitas del Miembro Guayaquil.

La Formación Cayo donde se encuentra emplazada el área de estudio se subdivide en tres miembros (Feininger, 1980) [5]:

- Miembro Calentura compuesto de rocas volcánicas de tamaño variable desde polvo volcánico hasta bloques piroclásticos de gran tamaño; consiste de argilitas, areniscas silicificadas, limonitas y lutitas de color gris oscuro o rojo.
- Miembro Cayo sensu strictu (s.s.) es el más representativo de esta formación compuesto por alternancia de brechas sedimentarias con bloques constituidos principalmente de

areniscas finas y gruesas frecuentemente grawáquicas y lutitas. Fragmentos de arenisca verdosa dominan la base de la secuencia y al tope se intensifican las lutitas.

- Miembro Guayaquil formado por material volcánico de textura muy fina que se depositó en un ambiente acuático y fue enriquecido de sílice dando lugar a lutitas silicificadas en diferente grado hasta llegar a chert, en este caso con el máximo contenido de sílice.

### **3.3 Geología del Área de Estudio**

#### **3.3.1 Geomorfología**

El área de estudio geomorfológicamente constituye una zona colinada que presenta tres unidades claramente diferenciadas:

La primera unidad al Este, que comprende el sector cercano a la Perimetral, se caracteriza por varias colinas, algunas de ellas adyacentes y cuyas alturas alcanzan los 70 m.s.n.m., tienen perfiles suaves relacionados con terrenos volcano-sedimentarios donde hay predominio de aglomerados masivos que modelan

crestas redondeadas, con laderas de baja pendiente, alineadas al rumbo de los estratos de las unidades litológicas existentes.

La segunda se ubica en el sector central del Campus, cuyas colinas alcanzan los 180 m.s.n.m. Las colinas son alargadas, con un desarrollo de terrazas planas y pendientes suaves a ligeramente pronunciadas, debido a la resistencia mecánica de los estratos rocosos que afloran en el sector.

La tercera unidad, al Oeste del Campus se caracteriza por colinas altas con pendientes pronunciadas y crestas agudas que van desde los 180 m.s.n.m. hasta los 450 m.s.n.m. relacionadas con el tipo de litología presente en el lugar (lutitas, lutitas silicificadas). En la parte baja de este dominio se han formado depósitos coluviales que tienen en general una pendiente ligeramente pronunciada. El drenaje está controlado por fracturas, siendo el poder erosivo y de arrastre mayor, lo que genera pequeños encañonados por los que circulan las corrientes de agua con saltos hidráulicos.

En estos dominios geomorfológicos, aflora el Miembro Cayo S.S. de la Formación Cayo y la Formación Guayaquil Chert.

### 3.3.2 Litoestratigrafía

Las rocas mapeadas son parte de la secuencia de depositación vulcano-sedimentaria de la Formación Cayo correspondientes al miembro Cayo s.s. que afloran en la localidad, cuyo rango de edad varía desde el Turoriano Tardío – Maestriliano Temprano. Las principales litologías observadas son: aglomerados, areniscas de grano fino, lutitas, y tobas formando franjas de orientación Noroeste-Sureste las cuales forman secuencias de depositación que se repiten constantemente. Estas secuencias se estudiaron con detenimiento y se encontró contactos gradacionales entre los aglomerados masivos y las lutitas bien laminadas, entre ellas aparece en determinados sectores las areniscas como gradación de los aglomerados hacia el contacto.

Se describen a continuación los tipos de rocas:

**Los Aglomerados** son de aspecto masivo, constituyen la facie piroclástica más relevante del área, no presentan estratificación

aparente, pero siguen en la secuencia de depositación la dirección de los estratos de lutita. El color varía de amarillo a café y verde claro a muy intenso, presenta clastos angulosos a subangulosos y redondeados a subredondeados de tamaños variables desde unos pocos milímetros a centímetros de fragmentos de roca (lutita, arenisca, toba, vidrio volcánico, andesitas, basaltos), minerales (cuarzo, glauconita, feldespatos, calcita en relleno de fracturas, cericita), en unos sectores es compacto, y en otros la matriz es arcillosa. El aglomerado es mal clasificado pero se nota una gradación grano decreciente cerca de los contactos con las areniscas y las lutitas. [fotografía 1 ]

**Las Areniscas** que se encuentran en el área de estudio, ocurren en menor proporción, se presentan en los contactos entre aglomerados y lutitas. Un estrato potente de areniscas aflora en el sector de la Perimetral. La textura varía de muy fina a gruesa, con granos de composición variable. La coloración es verde oscura o amarilla. Están muy meteorizadas en algunos sectores en donde se confunde con los aglomerados de aspecto masivo. [fotografía 2]

**Las Lutitas** presentan estratificación centimétrica a decimétrica, muy meteorizadas en superficie, fuertemente diaclasadas, de

grano muy fino a medio, de color variable desde amarillo claro casi beige a café oscuro, verde agua hasta verde esmeralda, nódulos de chert de color verde oscuro ocurren en algunos estratos. Pátinas de manganeso distribuidas en casi todos los estratos confirman un ambiente de depositación marino profundo para esta unidad. En algunos sectores se las encuentra en bancos potentes y en otros como laminaciones formando un espesor medio de 50 cm intercaladas en los aglomerados.

Las lutitas presentan una fracturación concoidea demostrándose así el alto contenido de sílice en las rocas. Las lutitas más silicificadas son las más resistentes y se encuentran en la parte más alta del sector [fotografías 3 - 4 ].

En las lutitas se encuentran zeolitas como parte integrante de la misma roca, la coloración varía de verde claro a verde más oscuro; de café claro a café oscuro.

**Las tobas** se presentan de colores variados, desde verde agua hasta verde oscuro, café claro, rojizo y gris. Análisis de petrografía en secciones delgadas (Capítulo 4) indican que en el

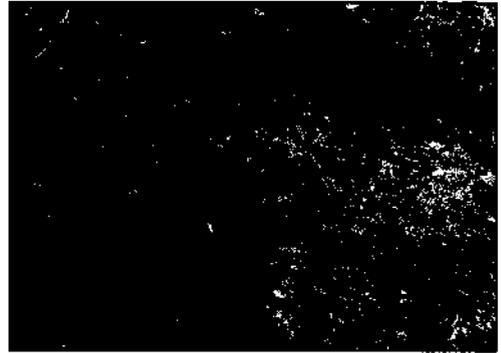
Campus Politécnico se encuentran varios tipos de estas con granulometría y composición variable. En las tobas de grano muy fino y de color verde es donde se encuentran de preferencia las zeolitas con contenidos de hasta el 90 %. [fotografías 5 - 6]

Depósitos aluviales de arcillas negras afloran en determinados sectores hacia la parte Norte del Campus.

Depósitos coluviales de suelos limo arcillosos con clastos se encuentran acumulados irregularmente en las partes bajas de las colinas.

La columna litológica representativa del Campus Politécnico se obtuvo a partir del levantamiento geológico a detalle del sector a lo largo de la Perimetral el cual presentaba la mayor cantidad de afloramientos, lo que permitió determinar el espesor de cada unidad litológica encontrada. Como no se encontraron rasgos estructurales que conviertan la zona en un área geológicamente complicada se tomó los buzamientos verdaderos. (ver columna litológica del Campus Politécnico)

Fotografía 1. Afloramiento de Aglomerados, de color verde con clastos de diferentes tamaños en esta foto se observa una delgada capa de suelo.



Fotografía 2. Afloramiento de Areniscas ubicadas a lo largo de la perimetral. Se observa el contacto entre areniscas (techo) y lutitas (base).

Fotografía 3. Afloramiento de lutitas en el cual se observa diaclasamiento de las rocas, pátinas de manganeso y fracturas concoidales.



Fotografía 4. Afloramiento de Lutitas silicificadas con nódulos de chert.



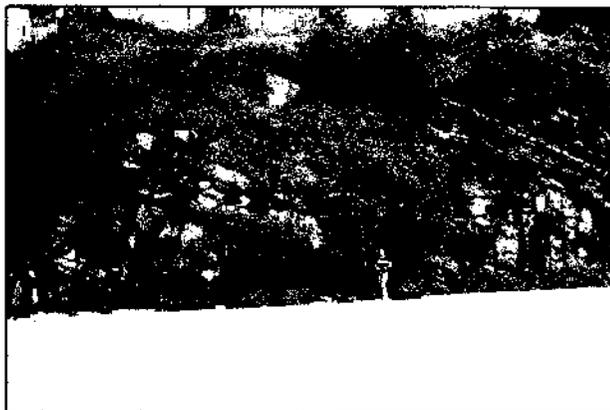
Fotografía 5. Afloramiento de Tobas de color café claro en el sector ubicado en la Perimetral. Se observa un diaclasamiento muy marcado en las rocas



Fotografía 6. Afloramiento de Tobas. Se observa un estrato potente de 7 m de altura de tobas de color verde claro y crema, las rocas se encuentran diaclasadas y muy fracturadas.



Fotografía 7. Corte en la vía Perimetral. Los estratos presentan un rumbo Noroeste – Sureste dispuestos homoclinalmente. El buzamiento es hacia el Sur con una inclinación variable entre 12° y 20°.



Fotografía 8. Roca diaclasada con intensidad variable. El diaclasamiento en este sector ocurre en todas las direcciones.

Fotografía 9. Diaclasamiento en las tobas de color café claro.



Espesor (m)	Formación	Muestra	COLUMNA LITOLOGICA DEL CAMPUS POLITECNICO		DESCRIPCION
			LITOLOGIA	TEXTURA	
				CUBIERTO LUTITA MISCHA TOBA MISCHA AGLOMERADO	
280	Fm. CAYO (s. s.)	MF13		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CON CLASTOS ANGULOSOS DE FRAGMENTOS LÍTICOS MUY PEQUEÑOS.	
270					
260					
250					
110				CUBIERTO	
100			AGLOMERADO CON 50 % DE GLAUCONITA, COLOR MARRON.		
90			LUTITA DE COLOR DE COLOR CAFÉ OSCURO		
80					
70					
60			DIACLASAMIENTO CON RELLENO DE FRACTURAS (CALCITA)		
50			NODULOS DE CHERT DE COLOR VERDE OSCURO, CERCA DEL CONTACTO.		
40			AGLOMERADOS CON MATRIZ ARCILLOSA, ROCA MUY ALTERADA		
30		MF12		LUTITAS DE COLOR ROJIZO, PRESENCIA DE HIERRO.	
20	MF10		LUTITAS DE COLOR VERDE CLARO, DE GRANO FINO		
10	MF9		AGLOMERADOS DE COLOR VERDE, MASIVOS, CON INTERCALACIONES DE TOBA.		
0					

Espesor (m)	Formación	Muestra	COLUMNA LITOLÓGICA DEL CAMPUS POLITECNICO				DESCRIPCION			
			LITOLOGIA	TEXTURA						
				CLASIFICADO	LUTITA	ARENISA		TOBA	ARENISCA	AGLOMERADO
4.30	Fm. CAYO (s. s.)									
4.20										
4.10										AGLOMERADO DE COLOR CAFE. METEORIZADO. PRESENTA FRAGMENTOS LITICOS DE LUTITAS
4.00										
3.90										
3.80										ARENISCA DE COLOR CAFE OSCURO CON INTERCALACIONES DE LUTITA LAMINADA
3.70										
3.60			MF 16							LUTITAS TOBACEAS CON PATINAS DE MANGANESO.
3.50										TOBAS DE COLOR VERDE CLARO CON CLASTOS DE POMEZ.
3.40										
3.30										
3.20								TOBAS CON INTERCALACIONES DE LUTITAS.		
3.10	MF 15							AGLOMERADOS DE COLOR CAFÉ OSCURO. MUY METEORIZADA, CON INTERCALACIONES DE ARENISCA DE COLOR AMARILLO.		
3.00								LUTITAS DE COLOR CAFÉ CLARO. CON FRACTURA CONCOIDAL.		
2.90										
2.80	MF 14							LUTITAS DE COLOR CAFÉ CLARO, BIEN DIACLASADA		

Espesor (m)	Formación	Muestra	COLUMNA LITOLÓGICA DEL CAMPUS POLITECNICO					
			LITOLÓGICA	TEXTURA				DESCRIPCIÓN
				CUBIERTO	LUTITA	MEZCLA	ARENISCA	
580	Fm. CAYO (s. s.)	MF17						
570								LUTITAS LAMINADAS, DIACLASADAS. CON PÁTINAS DE MANGANESO.
560								
550								AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ, METEORIZADO, PRESENTA ALTERNANCIA CON ARENISCAS, GRADACIÓN HACIA EL CONTACTO CON LAS LUTITAS.
540								
530								
520								AFLORAMIENTO DE BRECHAS DE COLOR VERDE OSCURO.
510								
500								
490								AGLOMERADOS DE COLOR CAFÉ OSCURO, CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS DE COLOR CAFÉ OSCURO, PRESENCIA DE GLAUCONITA.
480								
470								
460								
450						CUBIERTO		
440								
430								

Espesor (m)	Formación	Muestra	COLUMNA LITOLÓGICA DEL CAMPUS POLITECNICO					
			LITOLÓGICA	TEXTURA				DESCRIPCION
				CUBIERTO	LUTITA	MEZCLA	TIEN	
700	Fm. CAYO (s. s.)							
690								
680								
670								
690								
680								
670								
660								
650								
640								
630								
620		MF20						AGLOMERADOS DE COLOR CAFÉ CLARO, MUY DURO, METEORIZADO, CON INTERCALACIÓN DE ARENISCAS.
610								
610		MF19						LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO, FRACTURA CONCOIDAL EN SUPERFICIE FRESCA DE COLOR AMARILLA.
600								
600								
590		MF18						LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO BIEN LAMINADA, DIACLASADA.
580								



### 3.3.3 Geología Estructural

Los estratos presentan un rumbo Noroeste – Sureste dispuestos homoclinalmente. El buzamiento es hacia el Sur con una inclinación variable entre  $12^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ . [fotografía 7]

Todas las rocas están diaclasadas, con intensidad variable. Menos afectados se encuentran los aglomerados y las areniscas que no presentan diaclasamiento visible por el alto grado de meteorización, a diferencia de las lutitas que poseen un diaclasamiento muy marcado; que ocurre en todas las direcciones, siendo las preferenciales N-NO, N-NE, N con un buzamiento entre los  $70^{\circ}$  y  $90^{\circ}$  hacia el Este y el Oeste. Son de origen tectónico y en su mayoría están cerradas y ocultas, las que se evidencian al romper la roca, generalmente rellenas de material triturado (arcilla), y pocas veces por sílice o calcita. El carácter litológico modela la forma, continuidad y rugosidad de las diaclasas, que se presentan onduladas poco continuas a discontinuas y rugosas en los aglomerados; planas, continuas y rugosas en las areniscas; planas de poca continuidad y lisas en las lutitas.

La separación del diaclasamiento es muy variado, desde muy cerrado (menor a 5 cm) a muy amplio (0.90 a 3 m) con frecuencia

variable desde 20-25/m a menos de 1/m; relacionadas respectivamente con las lutitas o areniscas y aglomerados. [ver Fotografías 8 - 9]

En el sector estudiado no se encuentran evidencias de un tectonismo importante. Las familias de fracturas encontradas frecuentemente son tres: F1: NS/90° F2: N/75° E/85° - 90° F3: N 60° W/90°

#### **3.3.4 Génesis Y Mineralogía**

La zeolitización se encuentra presente en todas las litologías estudiadas del Campus Politécnico, tiene un carácter masivo pero la intensidad y las especies mineralógicas varían según la composición y textura de las rocas.

Las especies mineralógicas encontradas son: mordenita, clinoptilolita-heulandita, laumontita y estilbita, siempre presentes con minerales acompañantes de cuarzo, feldespatos, smectita (saponita) y montmorillonita en pequeñas proporciones.

Las lutitas y tobas contienen zeolitas hasta un 98%. Pero su contenido va desde 45% dependiendo de la granulometría y la

presencia de minerales acompañantes. Los aglomerados y las areniscas son las litologías menos zeolitizadas presentando hasta un 45% del mineral.

El origen de las zeolitas puede estar asociado principalmente al ambiente de depositación de las rocas volcano-sedimentarias del Cretácico y Terciario donde más comúnmente han sido encontradas, las mismas que han sufrido procesos de zeolitización de capas específicas por percolación meteórica (alteración supérgena) o hidrotermal y por metamorfismo de bajo grado. Por este motivo su distribución es variable existiendo zonas más ricas en términos de cristalización.

El mineral se encuentra en concordancia con las rocas encajantes siguiendo preferentemente la forma de los estratos, en algunos sitios se puede apreciar intercalaciones de los diferentes tipos litológicos y su grado de zeolitización. Algunas capas finas de lutita se encuentran casi con un 90% de zeolitas de color café claro a oscuro. Estas forman hasta 50 cm de espesor.

Reconocimientos de campo y análisis de laboratorio se procesaron con ayuda de programas de computación, revelando

que las variedades de litologías zeolitizadas descritas anteriormente se encuentran por todas partes dentro de la propiedad de la ESPOL, llegándose a demostrar así que el sector Este del Campus Politécnico es la parte más perspectiva para la localización de depósitos de zeolitas naturales. La Fig. 10 muestra un modelo en 3 D realizado con el programa Surfer 6 en el cual las rocas más zeolitizadas se presentan en los sectores marcados de color rojo; el color verde representa zonas con un bajo contenido del mineral. Este sector estudiado constituye una superficie aproximada de 200 hectáreas dentro del conjunto de la propiedad que abarca un total de 690 hectáreas.

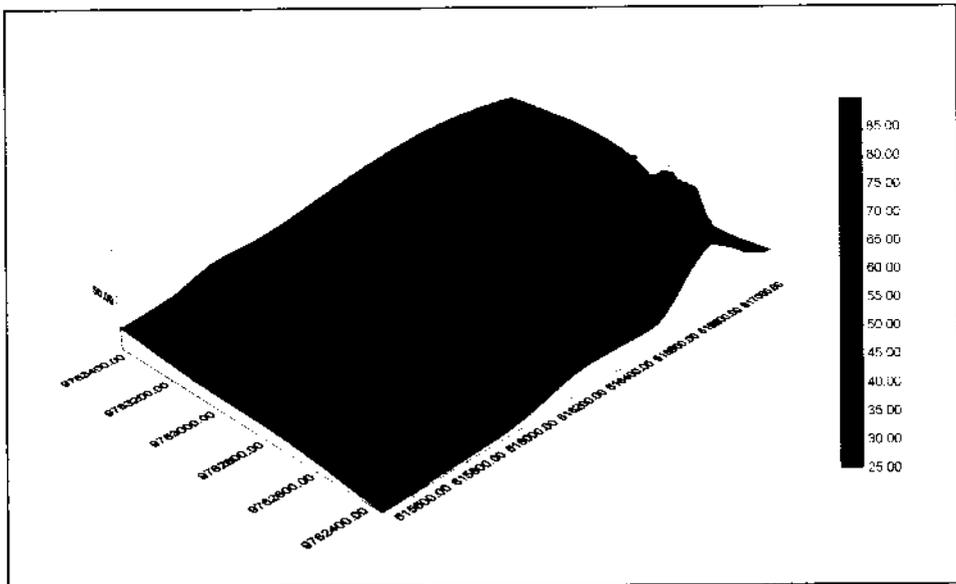


Figura 10. Porcentaje de Zeolitas presente en las rocas.

Con los datos anteriores del trabajo de campo y el estudio detallado de las litologías todas las muestras se sometieron a un ciclo de análisis, tales como, petrografía, difracción de rayos X, análisis termoquímico y de capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los resultados se analizan en el siguiente capítulo.



# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES BASICAS DE LAS ZEOLITAS



### 4.1 Recolección y Preparación de Muestras

En el trabajo de campo se generaron un total de 120 muestras de roca tomadas de afloramientos en cortes de las carreteras, quebradas, calicatas y trincheras dentro del área del Campus Politécnico. (Ver el mapa de ubicación de puntos de muestreo)

El método seguido es el de muestreo puntual por tipo litológico, en el cual se toma la muestra del mismo tipo de roca en un solo lugar específico del afloramiento, al cambiar la litología se toma otra muestra puntual.

En los sectores donde se ha realizado los análisis termoquímicos previos y han dado resultados positivos en concentraciones de zeolita, se ha regresado al campo y se ha muestreado en canaletas para profundizar los estudios. El procedimiento para este tipo de muestreo es como sigue:

- 1.- Se limpia el afloramiento.
- 2.- Se toma la muestra en canal, con las dimensiones siguientes:
  - Longitud = máx. 2 m.
  - Amplitud = 8 – 10 cm
  - Profundidad = 10 – 15 cm
- 3.- La orientación del canal es perpendicular al estrato o a las fracturas.

El peso de la muestra tomada es de 1 Kg. aproximadamente con el fin de que se pueda realizar con ella los análisis respectivos de: petrografía, difracción de rayos x, calor de inmersión e intercambio catiónico total.

Una vez separada la muestra para archivo, se establece el método para la preparación de las muestras, mediante trituración y cuarteos simultáneos que permite la obtención de porciones representativas de la muestra original, para proceder a la realización de los ensayos de

laboratorio. Para ello se utiliza la expresión de Richard – Chechett.

[7]

$$Q = kd^2$$

Donde:

Q = cantidad mínima de materia que se puede extraer. (Kg.)

K = coeficiente que depende de la homogeneidad de la muestra

(K = 0.1 kg/mm<sup>2</sup>).

D = diámetro de la partícula mayor de la muestra molida (1mm).

La representatividad de la muestra original, se garantiza, pasando la muestra bruta por la trituradora de mandíbulas con 5 mm de abertura de salida y luego por el molino de rodillos con abertura de 1 mm. Se homogeniza, y mediante cuarteo, se obtienen 100 g.

La porción representativa de la muestra se tamiza en la malla de 0.5 mm. El retenido se muele hasta que pase toda la muestra en el tamiz de 0.5 mm, la misma que nuevamente se pasa por el tamiz de 0.1 mm y se obtiene 2 fracciones: una sobre 0.1 mm y otra bajo 0.1 mm.

La muestra que está sobre 0.1 mm es utilizada para:

- Calor de inmersión ( $\Delta T$ )

La muestra que está bajo 0.1 mm se muele en el mortero de porcelana y el material molido resultante se pasa por el tamiz de 0.045 mm.

Se utiliza esta muestra para las determinaciones de :

- Capacidad de intercambio catiónico total y cationes intercambiables.
- Análisis de Fases por Rayos X (RX).

#### **4.2 Análisis Petrográfico**

Las muestras recolectadas durante el trabajo de campo se clasificaron por tipo litológico para conformar los principales grupos de rocas, de ellos se seleccionó un grupo limitado para ejecutar la revisión petrográfica a detalle. Su selección fue en función del tipo de roca y el contenido en porcentaje de zeolita determinado por análisis termoquímicos previos.

A continuación se presentan los resultados de la petrografía de 5 muestras de rocas de granulometría y composición variable indistintamente tomadas de la secuencia de depositación, ya que las mismas tienen el propósito de llevar un control del tipo de rocas existentes en el área; además de determinar si existe una asociación entre la textura, composición mineralógica y la presencia de zeolitas en las mismas.

Tabla 4. Análisis Petrográfico

MUESTRA	DESCRIPCION
MB19B	Lutita tobácea de color crema a verde claro con laminación paralela, presenta oxidación, roca muy dura. Presenta matriz criptocristalina de composición que no ha sido determinada, ligeramente calcárea con fragmentos de mayor tamaño posiblemente calcáreos.
MB13	Toba cristalina lítica de matriz fina, de color verde oscuro de grano fino. La mayor parte de la roca está constituida por cristales minerales angulosos de feldespato, calcita, clinopiroxenos, plagioclasas, cuarzo. Presencia de fragmentos líticos angulosos no orientados.
MB3B	Lutita limosa de matriz muy fina, de color amarillo, macroscópicamente no se observan cristales ni vidrio volcánico, presenta pátinas de manganeso. Se encuentra medianamente meteorizada. No posee vidrio volcánico, con minerales subangulosos de cuarzo, feldespato y calcita.
MB10A	Lutita tobácea de matriz finamente bandeada, meteorizada de color café claro a oscuro con fractura concoidal, presenta matriz muy fina de composición indeterminable, con fragmentos de mayor tamaño.
MB20A	Aglomerado de color gris y verde oscuro con puntos blancos posiblemente de feldespatos alterados, presenta fragmentos líticos, calcita, cuarzo, vidrio volcánico. Roca mal clasificada, con granos medios de 0.5 cm, masiva, compacta.

## **Análisis de la composición mineralógica**

Para complementar la información obtenida por las técnicas anteriormente descritas en el estudio de las zeolitas naturales en depósitos de origen sedimentario es básico utilizar la difracción de rayos X (DRX), ya que el mineral zeolítico se encuentra en forma muy dispersa y las otras técnicas no proporcionan información. Con la DRX se puede identificar y caracterizar los tipos de zeolita y los minerales acompañantes aun cuando se encuentre mezclado íntimamente con estos, y caracterizar la estructura cristalina de los minerales presentes.

Un diagrama de difracción de rayos X, consiste de un sinnúmero de reflejos distintos (peaks) que se diferencian entre si por su posición (ángulo  $2\theta$ ), en el eje X y por su intensidad (impulsos por segundo) en el eje Y. Donde cada substancia cristalina tiene una posición diferente en las distancias reticulares (valores  $d$ ) dentro de su retícula cristalina, debido a su composición química y sistema cristalino específico, de manera tal que cada fase se distingue nítidamente de otras. A cada valor  $d$  corresponde un determinado ángulo  $2\theta$ , que se puede leer en el eje X del diagrama. [6]

Para efectuar los análisis de difracción de rayos X se seleccionó dos grupos de muestras: un primer grupo se analizó en las instalaciones de la

DINAGE, institución en la cual la autora de esta tesis realizó una pasantía en el mes de Noviembre del 2001 sobre: trituración, molienda, homogenización, cuarteo y pulverización, manejo del equipo de difracción de RX e interpretación de difractogramas; y un segundo grupo se envió a la Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

Para el análisis de difracción de rayos x del primer grupo de rocas, el proceso técnico seguido en la preparación de muestras es diferente al utilizado para otros ensayos; el diagrama de flujo se muestra en la figura 11.

A continuación se describe brevemente las especificaciones técnicas del equipo utilizado en las instalaciones de la DINAGE:

Difractómetro de RX: SIEMENS D 500

Radiación:  $K\alpha$  de Cu y filtro de Ni específico para zeolitas.

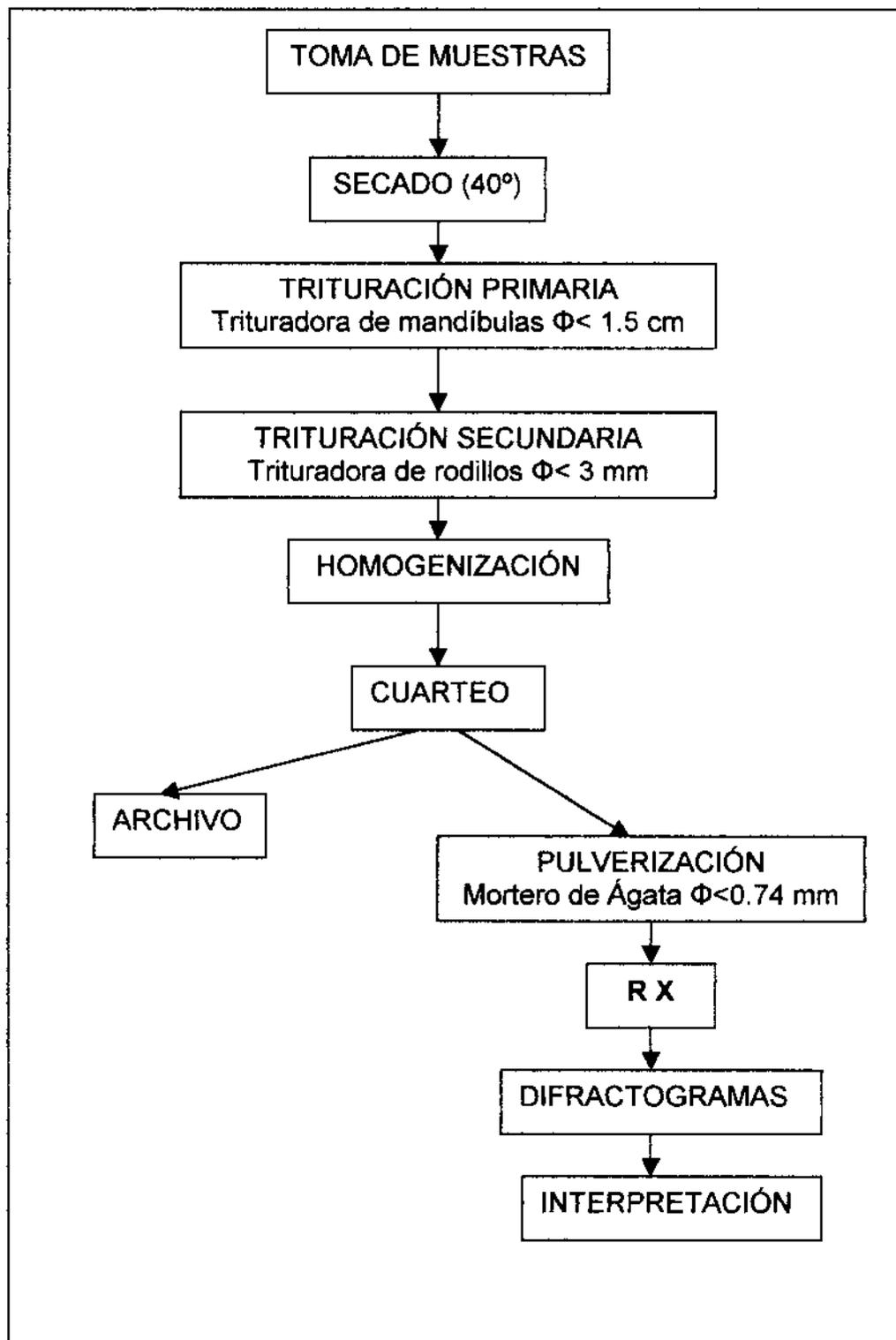
Intervalo:  $3^\circ$  a  $40^\circ$  en  $2\theta$

Método: Polvo

Muestra: 100% menos malla 200 (0.074 mm).

Para la determinación del tipo de zeolita presente en cada una de las muestras se utilizó 3 diferentes patrones internacionales de difracción de RX.

Figura 11. Diagrama De Flujo Para Rx



Patrones tomados del libro "Selected Powder Diffraction Data for Minerals" (1974) del cual se seleccionó las cartillas principales para los elementos encontrados:

Tabla 5. Cartillas principales de elementos encontrados

MINERAL	CARTILLA
Calcita	5-586
Chabazite	19-208
Clinoptilolite	22-1236
Cuarzo	5-0490
Erionita	22-854
Glauconita	9-439
Eulandit	24-182
Eulandite	21-131
Laumontite	15-276
Montmorillonite	13-259
Mordenita	6-0239
Phillipsite	20-923

Patrones de difracción de Rayos X de zeolitas naturales de yacimientos cubanos:

Tabla 6. Patrones de yacimientos cubanos

YACIMIENTO	CODIGO
Piojillo	ZPI - 86
Tasajeras	ZT - 92 - 3096
Tasajeras	ZTI 86 - B
Z - Castilla	

Fuente: Ing. Julio Cesar Romero

Patrones de difracción de Rayos X de yacimientos de zeolitas naturales de Estados Unidos:

Tabla 7. Patrones de yacimientos de Zeolitas en USA

MINERAL	PROCEDENCIA	CODIGO
Analcima	Barstow – California	25606
Analcima	Wikiemp	25608
Clinoptilolita		25522
Clinoptilolita	Barstow California	25528
Clinoptilolita	Buckhorn	25524
Clinoptilolita	Castle Creek	25525
Clinoptilolita	Hector California	25523
Clinoptilolita	Mountain Creen	25520
Chabazita	Beaver-Divide	
Chabazita	Bowie	25311
Chabazita	Christmas	25310
Erionita	Piney Valley	25214
Erionita	Rome	25211
Erionita	Shoshone	25219
Erionita	Weedle Peak	25216
K – Feldespato	Barstow - California	25606
K – Feldespato	Sand Drak	25805
Mordenita	Love Lock	25409
Mordenita	Beatly	25419
Mordenita	Crooked – Creek, Rome	25411
Mordenita	Union Pass	25418
Phillipsita	Shoshone	25705
Phillipsita	Pine Valley	25706

Fuente: Ing. Julio Cesar Romero

Los diagramas de difracción tratados presentan resultados de la composición mineralógica en las rocas. Los difractogramas de cada una de las muestras analizadas se pueden observar en el anexo 4.

Una selección de los difractogramas patrones y de las referencias de las muestras puede observarse a continuación:

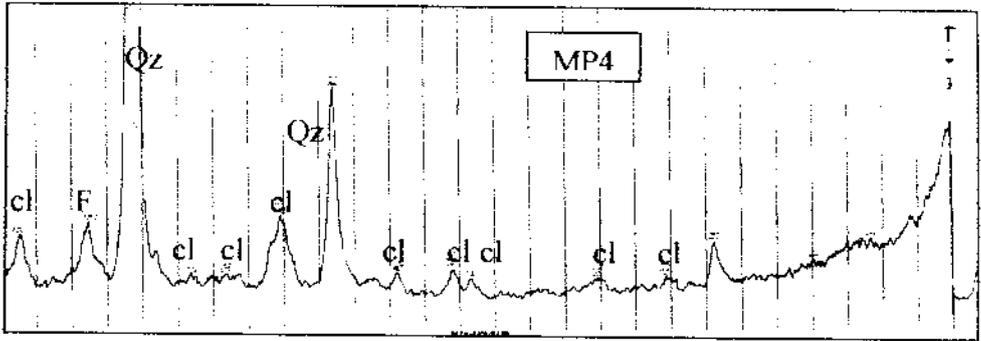


Figura 12. Difractograma de una toba zeolitizada contenida por clinoptilolita, cuarzo, y feldespato en menores proporciones.

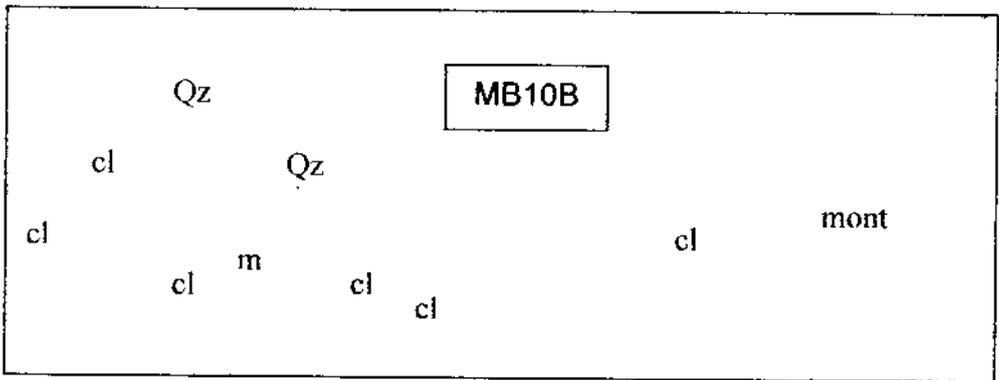


Figura 13. Difractograma de una roca zeolitizada que presenta Clinoptilolita - heulandita, mordenita con minerales acompañantes de cuarzo y montmorillonita.

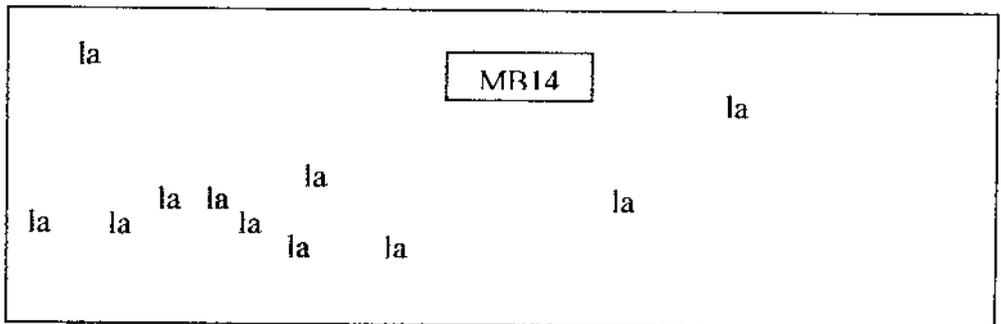


Figura 14. Difractograma de una roca con zeolitas del tipo laumontita y mordenita.

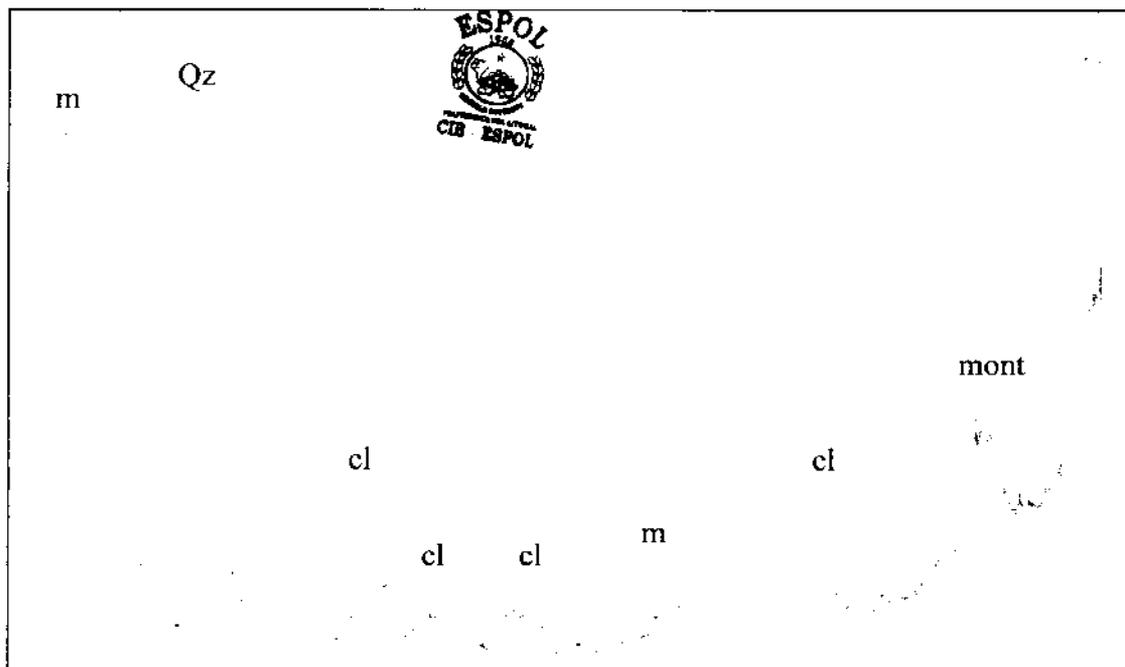


Figura 15. Difractograma de una zeolita del tipo Clinoptilolita – Mordenita.

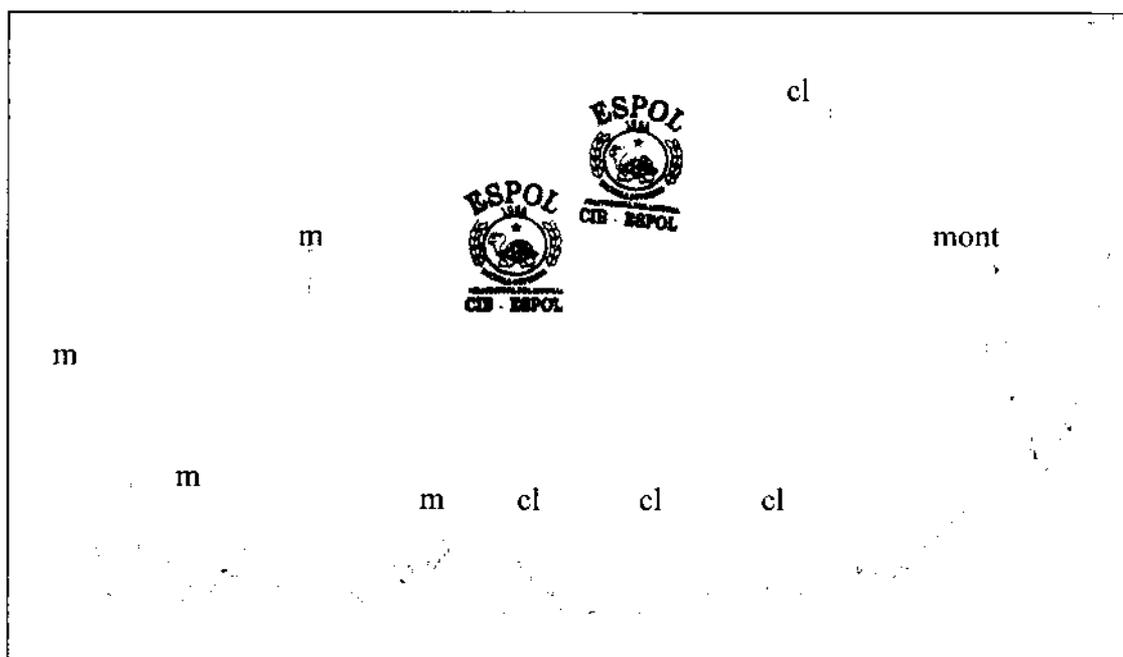


Figura 16. Difractograma de una zeolita del tipo Clinoptilolita y Mordenita.

De la Interpretación de los difractogramas se tienen los siguientes resultados en cuanto a la determinación de los tipos de zeolitas existentes y los minerales acompañantes en cada muestra de roca analizada.

Tabla 8. Resultados de análisis de difracción de rayos X

MUESTRA	DESCRIPCION
MB2	Compuesta básicamente por cuarzo, feldespato, zeolita del tipo clinoptilolita-heulandita y algo de montmorillonita.
MB3B	Compuesta básicamente por mezclas de zeolita del tipo clinoptilolita-heulandita, mordenita con predominio de la primera, cuarzo, y cantidades adicionales de feldespato y montmorillonita.
MB7A	Compuesta básicamente por plagioclasa, cuarzo, zeolita del tipo clinoptilolita-heulandita, montmorillonita y calcita en cantidades menores.
MB10B1	Presenta clinoptilolita-heulandita, mordenita como componente principal de la roca con minerales acompañantes de cuarzo y montmorillonita.
MB13	Compuesta fundamentalmente por plagioclasa y cuarzo, en menor cantidad zeolita del tipo clinoptilolita-heulandita, algo de mordenita y montmorillonita
MB14	Zeolita del tipo laumontita y montmorillonita

MB15	Compuesta fundamentalmente por cuarzo, clinoptilolita-heulandita, mordenita, poco feldespato y montmorillonita.
MB16	Zeolita del tipo laumontita y montmorillonita
MB19B	Contenida fundamentalmente por clinoptilolita-heulandita, cuarzo y en cantidades menores montmorillonita.
MB23	Compuesta por zeolita del tipo mordenita y clinoptilolita-heulandita, plagioclasa y montmorillonita.
MF10	Presenta picos intensos de cuarzo y calcita, con picos débiles de feldespato (Albita), smectita (Saponita) y estilbita.
MF22	Presenta picos intensos de cuarzo y feldespato (Albita), además picos débiles de estilbita, smectita (Saponita) y calcita (Trazas)
MF24	Compuesta por cuarzo, feldespato (Albita), calcita con picos débiles de smectita (Saponita) y estilbita.
MP1	Compuesta básicamente por una mezcla de clinoptilolita-heulandita, mordenita, además de cuarzo y cantidades menores de plagioclasa y montmorillonita. Se observa la presencia de vidrio volcánico que se evidencia por alteración de la línea de fondo.
P4	Contenida básicamente por clinoptilolita-heulandita, cuarzo y feldespato en menores proporciones
MP6	Está compuesta básicamente por clinoptilolita-heulandita y cuarzo, acompañado de cantidades menores de mordenita.
MJN015	Compuesta básicamente por minerales de cuarzo, con

	picos débiles de feldespato (Albita), smectita (Saponita) y estilbita.
MJN022	Presenta cuarzo y calcita, con picos débiles de estilbita, smectita (Saponita) y feldespato.
MJMF33	Presenta picos intensos de cuarzo, feldespato (Albita) y calcita, con picos débiles de estilbita y smectita (Saponita).
MJN2B	Presenta picos intensos de cuarzo, feldespato (Albita) y picos débiles de estilbita y smectita (Saponita).
MJN013	Especies químicas y mineralógicas encontradas con picos intensos de cuarzo, feldespato (Albita), con picos débiles de smectita (Saponita), estilbita, y trazas de calcita.
MJMF35	Presenta picos intensos de cuarzo, feldespato (Albita) con picos débiles de smectita (Saponita), estilbita (Indicios).
MJN001	Presencia de cuarzo, feldespato (Albita) con picos débiles de smectita (Saponita), estilbita.

Generalmente las zeolitas están asociadas al vidrio volcánico, cuestión que no se pudo abordar en tema debido a no contar con las técnicas y equipos necesarios para la identificación.

### 4.3 Calor de Inmersión o Adsorción

#### Fundamento del método

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, CO<sub>2</sub> y otros.

La propiedad del alto calor de inmersión de las zeolitas (con excepción de la analcima) 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  $\Delta T$  de la muestra en estudio con el  $\Delta T$  del patrón con un contenido de zeolita conocido. [8]

El método de calor de inmersión que determina la presencia de zeolita y semicuantifica el porcentaje de la misma en las rocas se basa en el

incremento de temperatura  $\Delta T$ , en la muestra de zeolita previamente deshidratada.

El procedimiento del método termoquímico se encuentra en el Informe Final del Proyecto: "Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales"

#### **4.4 Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)**

##### Fundamento del Método

La porción de ensayo micro pulverizada ( $< 0.045$  mm) se trata varias veces con una disolución de acetato de amonio, el catión de amonio es el encargado de sustituir en la red cristalina de la zeolita a los cationes intercambiables básicamente de calcio, sodio, potasio, magnesio y otros. Una vez lavada la muestra con alcohol para eliminar residuos del reactivo, se trata con una disolución de cloruro (varias veces) con el fin de desplazar el amonio de la red cristalina de la zeolita. Finalmente se determina el contenido de nitrógeno en la solución recogida por el método Kjendahl.

Este procedimiento también se encuentra en el Informe del Proyecto señalado anteriormente [7].

#### 4.5 Evaluación de los análisis realizados

Al total de las muestras se les aplicó el ensayo de calor de inmersión como etapa preliminar para discriminar las rocas que no presentan interés para su explotación industrial y se basa en aceptar con posibilidades a las rocas que presenten valores de calor de inmersión superiores a 8° C.

#### Evaluación de la Calidad de las Zeolitas Naturales

La calidad de las zeolitas se la clasifica en tipos tecnológicos según el porcentaje de zeolita y valores de sus propiedades según la siguiente tabla [7]:

Tabla 9. Calidad de las zeolitas naturales

TIPO TECNOLÓGICO	$\Delta T$	%Z	CICT	USOS
A	> 12	> 85	>130	Especiales
B	> 8	50 - 85	70 - 130	Masivos
C	< 8	20 - 50	-	Materiales de construcción

$\Delta T$ : calor de inmersión

%Z: porcentaje de zeolitas (semicuantitativo)

CICT: capacidad de intercambio catiónico total



La tabla es válida para los tipos de zeolita clinoptilolita y mordenita.

Tomando en cuenta estas consideraciones, las muestras que contienen valores de  $\Delta T$  superiores a 8 °C (+Z), se las ha clasificado

como rocas con interés industrial para su aplicación como zeolitas en usos masivos (agricultura, industria, descontaminación ambiental, etc). Los valores de  $\Delta T$  menores a  $8^{\circ}\text{C}$  evaluados como +C, pueden ser utilizados para la fabricación de cementos especiales, material activo, para disminuir los costos de producción en las fábricas de cemento (en la molienda) e incrementar la producción (cementos Pórtland-puzolánicos y cementos puzolánicos), cemento "romano" o como áridos ligeros.

La descripción macroscópica de las rocas y sus resultados de laboratorio se presentan en la tabla 10, en la cual se detalla: número, muestra, descripción macroscópica, y resultados de laboratorio en:  $\Delta T$ , % Z y evaluación.

Los resultados de los análisis de calor de inmersión para muestras positivas como zeolita se muestran en la tabla 11.

Tabla 10

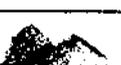
## DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION MACROSCOPICA	RESULTADOS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
MP 1		TOBA DE GRANO MUY FINO. COLOR VERDE CLARO.	13,9	87	+Z
MP2		TOBA DE GRANO MUY FINO. COLOR VERDE CLARO.	14,4	90	+Z
MP3		TOBA DE GRANO FINO A MEDIO. COLOR VERDE CLARO. PATINAS DE MANGANESO	11,1	69	+Z
MP4		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO. COLOR AMARILLO.	7,7	48	+C
MP5		LUTITA DE GRANO FINO. COLOR AMARILLO. PRESENTA OXIDACION. MUY METEORIZADA	7,7	48	+C
MP6		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO MEDIO. COLOR CAFÉ OSCURO. MUY METEORIZADA.	12	75	+Z
MP7		AGLOMERADO. COLOR AMARILLO A CAFÉ OSCURO.	6,4	40	+C
MP6-1		AGLOMERADO. COLOR AMARILLO A CAFÉ OSCURO.	7,5	47	+C
MP6-2		TOBA DE GRANO FINO. COLOR VERDE.	13,5	84	+Z
MP9		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANOS MEDIOS. COLOR VERDE OSCURO.	12,2	76	+Z
MP10		AGLOMERADO. COLOR VERDE A CAFÉ. MUY METEORIZADA.	6	37	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA	RESULTADOS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
MB 1		TOBA DE GRANO FINO CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS. COLOR VERDE CLARO.	8	50	+Z
MB2		ARENISCA DE GRANO MEDIO. MUY COMPACTA. COLOR CAFÉ CLARO.	8,6	54	+Z
MB3A		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO. COLOR AZULADO. PRESENTA OXIDACION	8,1	51	+Z
MB3B		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. COLOR AMARILLO CLARO.	9	56	+Z
MB4A		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. COLOR AMARILLO Y AZUL.	10	62	+Z
MB4B		ARENISCA DE GRANO MEDIO. MUY COMPACTA. COLOR AZULADO. OXIDADA(COLOR NEGRO).	10,4	65	+Z
MB5		ARENISCA Y TOBAS ALTERNANTES. MUY COMPACTA. COLOR AZUL, VERDE.	15	94	+Z
MB6		AGLOMERADO CON PRESENCIA DE CUARZO, GLAUCONITA.	7,8	49	+C
MB7A		ARENISCA DE GRANO MEDIO. COLOR CAFÉ CLARO. MUY COMPACTA.	6,9	43	+C
MB7B		ARENISCA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. COLOR CAFÉ CLARO.	7,3	46	+C
MB8		TOBA DE COLOR CAFÉ OSCURO. MUY FRACTURADA.	7,5	47	+C
MB9		AGLOMERADO DE GRANO FINO. MUY METEORIZADA. COLOR CAFÉ VERDOSO.	7,5	47	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION MACROSCOPICA	RESULTADOS DE LABORATORIO		
			DT	% Z	EVALUACION
MB10A		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO. MEDIANAMENTE FRACTURADA. COLOR CAFÉ CLARO.	7,5	47	+Z
MB10B		LUTITA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. MEDIANAMENTE FRACTURADA. COLOR CAFÉ OSCURO.	14,4	90	+Z
MB10-B1		LUTITA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. MEDIANAMENTE FRACTURADA. COLOR CAFÉ OSCURO.	15,1	94	+Z
MB10-B2		ARENISCA DE GRANO MEDIO. MUY COMPACTA. COLOR AMARILLO.	14,2	89	+Z
MB10-B3		LUTITA DE GRANO FINO. MUY COMOPACTA. COLOR VERDE CLARO CON AMARILLO(OXIDACION).	14,8	92	+Z
MB10-B4		ARENISCA DE GRANO MEDIO. MUY COMPACTA. COLOR VERDE Y CAFÉ. PRESENCIA DE GLAUCONITA.	8,9	66	+Z
MB10-B5		TOBA DE GRANO FINO. COMPACTA. COLOR AMARILLO TOSTADO. OXIDADA.	13	81	+Z
MB10-B6		LIMOLITA. COLOR VERDE AMARILLO CON PRESENCIA DE OXIDO. MUY COMPACTA.	11,6	72	+Z
MB10-B7		TOBA DE GRANO FINO. COMPACTA. COLOR CAFÉ CLARO.	13,4	84	+Z
MB11		AGLOMERADO DE GRANO FINO. COLOR CAFÉ CLARO, MUY DEZLENABLE. PRESENCIA DE CUARZO Y FELDESPATOS.	7,5	47	+C
MB12		AGLOMERADO. COLOR VERDE A CAFÉ. ROCA MUY METEORIZADA. MUY FRACTURADA.	6	37	+C
MB13		AGLOMERADO. COLOR VERDE A CAFÉ. ROCA MUY METEORIZADA. MUY FRACTURADA.	6	37	+C

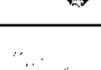
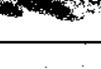
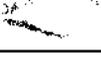
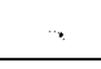
## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACIÓN
MB14		AGLOMERADO. PRESENCIA DE CUARZOS, FELDSPATOS. ROCA MUY METEORIZADA. DEZLENABLE. GLAUCONITA.	6	37	+C
MB15		LUTITA DE GRANO FINO. COLOR CAFÉ OSCURO. MUY COMPACTA.	6	37	+C
MB16		AGLOMERADO COLOR CAFÉ MEDIO CON INTERCALACIONES DE SUELO. MUY METEORIZADA. MUY FRACTURADA.	7	44	+C
MB17		ARENISCA DE GRANO MEDIO. COLOR CAFÉ OSCURO. PRESENCIA DE GLAUCONITA. MUY FRÁGIL.	8,1	51	+Z
MB18		LUTITA DE GRANO MUY FINO. COLOR AMARILLO TOSTADO. MUY COMPACTA.	5,5	34	+C
MB19A		ARENISCA MICROCONGLOMERÁTICA. COLOR VERDE.	6	37	+C
MB19B		LUTITA MUY FINA DE COLOR VERDE CLARO. MUY COMPACTA. MEDIANAMENTE FRACTURADA.	15	94	+Z
MB20A		ARENISCA DE GRANO MEDIO.	5,5	34	+C
MB20B		LUTITA DE GRANO FINO. MUY COMPACTA. COLOR AMARILLO PALIDO Y VERDE CLARO.	5,5	34	+C
MB21		AGLOMERADO. COLOR CAFÉ CLARO. MUY METEORIZADA.	5	31	+C
MB22		ARENISCA DE GRANO MEDIO. COLOR CAFÉ OSCURO.	5,5	34	+C
MB23		AGLOMERADO DE GRANO GRUESO. MUY METEORIZADO. COLOR CAFÉ OSCURO A VERDE.	5,5	34	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACIÓN
MB24		AGLOMERADO. MUY METEORIZADO. COLOR CAFÉ OSCURO.	5,5	34	+C
MB25		LUTITA COLOR VERDE OSCURA INTERCALACIONES CON SEDIMENTOS DE GRANO MEDIO A GRUESO (AGLOMERADOS).	8,7	54	+Z
MB26		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ OSCURO CON VERDE OSCURO.	6,5	41	+C
MB29A		LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO.	10	62	+Z
MB29B		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ OSCURO.	5	31	+C
MB29C		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO CON PATINAS DE MANGANESO. NODULOS DE CHERT	11,3	71	+Z
MB30B		SEDIMENTOS MUY FINOS DE COLOR VERDE OSCURO A GRIS. FRACTURA CONCOIDEA	10,1	63	+Z
MB30C		SEDIMENTOS MUY FINOS DE COLOR VERDE OSCURO. LAMINADOS. FRACTURADOS.	10,6	66	+Z
MB32B		LUTITAS DE COLOR CAFÉ OSCURO FRACTURADAS. DIACLASADAS.	13,5	84	+Z
MB32C		LUTITAS DE COLOR CAFÉ OSCURO CON PÁTINAS DE MANGANESO.	10	63	+Z
MB32E		TOBAS DE COLOR VERDE CLARO A AMARILLO EN CONTACTO CON ARENISCAS.	10,8	68	+Z
MB33		LUTITA DE COLOR CAFÉ OSCURO MUY FRACTURADA. DIACLASADA.	10,2	64	+Z

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
MB34A		AGLOMERADO DE GRANO FINO DE COLOR AMARILLO MUY COMPACTA PRESENTA GLAUCONITA	10,2	64	+Z
MF1		LUTITA DE COLOR VERDE CLARO, CAFÉ CLARO, Y AMARILLO CON PÁTINAS DE MANGANESO.	4	25	+C
MF2		TOBA DE COLOR VERDE CLARO. BIEN FRACTURADA. PRESENCIA DE MANGANESO.	5	31	+C
MF3		ARENISCA MASIVA (Aglomerado?) DE COLOR AMARILLO.	5	31	+C
MF4		LUTITA DE COLOR VERDE AGUA. SE PRESENTA EN ESTRATOS DECIMÉTRICOS.	5	31	+C
MF5		LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO Y VERDE CLARO, MUY FRACTURADA	3	19	+C
MF6		ARENISCA DE COLOR CAFÉ CLARO A VERDE.	6	38	+C
MF7		ROCA SEDIMENTARIA DE GRANO FINO COLOR CAFÉ OSCURO HACIA EL TOPE CAMBIA DE COLORACIÓN. ROCA MUY DURA.	4	25	+C
MF8		LUTITA DE COLOR VERDE Y CREMA DE GRANO MUY FINO. DIACLASADA.	4	25	+C
MF9		AGLOMERADO DE CLASTOS MUY FINOS (Arenisca?) CON INTERCALACIONES DE TOBA	3	19	+C
MF10		TOBA CAFÉ OSCURA Y GRIS INTERCALADA CON LUTITAS DE COLOR VERDE CLARO DE GRANO FINO	3	19	+C
MF11		AGLOMERADO CON MAYOR CONTENIDO DE GLAUCONITA. ROCA MUY ALTERADA.	5	31	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION LITOLOGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
MF12		LUTITA DE COLOR ROJIZO. PRESENCIA DE HIERRO	3	19	+C
MF13		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ PRESENTA CLASTOS ANGULOSOS DE FRAGMENTOS LITICOS MUY PEQUEÑOS	3	19	+C
MF14		LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO Y GRIS. DIACLASADA.	4	25	+C
MF15		AGLOMERADO CON INTERCALACIÓN DE ARENISCAS DE COLOR AMARILLO CLARO.	4	25	+C
MF16		LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO CON PATINAS DE MANGANESO.	9,5	59	+Z
MF17		AGLOMERADO CON CLASTOS DE LUTITA CENTIMÉTRICOS. MATRIZ ARCILLOSA.	7	44	+C
MF18		LUTITA DE COLOR CAFÉ OSCURA, DIACLASADA. EN SUPERFICIE FRESCA DE COLOR AMARILLA.	2	13	+C
MF19		LUTITA DE COLOR AMARILLO CLARO. FRACTURADA.	4	25	+C
MF20		LUTITA DE COLOR CAFÉ OSCURA, FRACTURA CONCOIDEA.	4	25	+C
MF21		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CLARO CON FRAGMENTOS DE FELDESPATOS.	4	25	+C
MF22		LUTITA EN CONTACTO CON ARENISCAS DE COLOR CAFÉ OSCURO. INTERCALADAS.	5	31	+C
MF23		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CLARO Y VERDE OSCURO. PRESENCIA DE GLAUCONITA.	8,1	51	+Z

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACIÓN
MF24		LUTITA DE COLOR CAFÉ OSCURO, FRACTURA CONCOIDEA.	8,7	54	+Z
MF25		LUTITA DE COLOR AMARILLO, POCO FRACTURADA CON PRESENCIA DE MANGANESO.	5	31	+C
MF26		AGLOMERADO MAL CLASIFICADO CON CLASTOS DE TODOS LOS TAMAÑOS	4	25	+C
MF27		LUTITA DE COLOR CAFÉ CLARO	7	44	+C
MF27A		AGLOMERADO MUY METEORIZADO DE COLOR CAFÉ CLARO A OSCURO.	6	38	+C
MF28		AGLOMERADO CON CLASTOS DE LUTITA.	4	25	+C
MF29		LUTITA DE COLOR CAFÉ, LAMINADA, MUY FRACTURADA.	4	25	+C
MF30		LUTITA CAFÉ OSCURA, FRACTURADA	8,6	54	+Z
MFMJ32		AGLOMERADO DE COLOR VERDE CON CLASTOS DE VARIOS TAMAÑOS. MUY COMPACTO. RELLENO DE CALCITA.	4	25	+C
MFMJ33		LUTITA DE COLOR CAFÉ Y AMARILLO EN SUPERFICIE METEORIZADA. VIDRIO VOLCÁNICO.	8	50	+Z
MFMJ34		AGLOMERADO. MUY METEORIZADO, CLASTOS ANGULOSOS. PRESENCIA DE HIERRO, MANGANESO.	4	25	+C
MFMJ35		LUTITA TOBACEA DE COLOR CAFÉ OSCURO, FRACTURA CONCOIDEA, MUY FRACTURADA.	12,7	79	+Z

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
JN001		LUTITA DE GRANO FINO, DE COLOR VERDE CLARO, MUY FRACTURADA, DIACLASADA CON NODULOS DE CHERT	9,5	59	+Z
JN002		AGLOMERADO. COLOR VERDE A CAFÉ. ROCA METEORIZADA.	9,4	59	+Z
JN003		AGLOMERADO. COLOR CAFÉ OSCURO. ROCA MUY DURA, CON CLASTOS DE LUTITAS.	6	38	+C
JN004		ARENISCA DE GRANO MEDIO, MUY COMPACTA, DURA.	4	25	+C
JN005		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CLARO A OSCURO, METEORIZADO.	6	38	+C
JN006		TOBA DE GRANO MEDIO. FRACTURADA, PÁTINAS DE MANGANESO.	5	31	+C
JN007		ARENISCA DE GRANO MEDIO. MUY COMPACTA. COLOR GRIS. OXIDADA(COLOR NEGRO).	4	25	+C
JN008		TOBA DE GRANO MEDIO, COLOR CAFÉ OSCURO, VIDRIO VOLCÁNICO	9,7	61	+Z
JN009		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CLARO A OSCURO, METEORIZADO, PRESENCIA DE GLAUCONITA, GRANOS MEDIOS.	5	31	+C
JN010		AGLOMERADO MUY METEORIZADO, DEZLENABLE, MATRIZ ARCILLOSA.	6,4	40	+C
JN011		TOBA DE GRANO MEDIO, COLOR CAFÉ CLARO, ROCA MUY DURA.	6	38	+C
JN012		AGLOMERADO. COLOR VERDE A CAFÉ. ROCA MUY METEORIZADA. MUY FRACTURADA.	6	37	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
JN013		LUTITA SILICEA DE COLOR VERDE, MUY METEORIZADA, DIACLASADA, FRACTURADA.	7,6	48	+C
JN014		LUTITA DE COLOR CLARO. MUY FRACTURADA METEORIZADA.	5	31	+C
JN015		LUTITA CAFÉ OSCURA. METEORIZADA, DIACLASADA, DURA.	8	50	+Z
JN016		LUTITA DE GRANOS FINOS A MEDIOS, INTERCALADA CON ARENISCA DE GRANOS MEDIOS.	7	44	+C
JN017		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ CLARO A OSCURO EN CONTACTO CON ARENISCAS DE GRANO MEDIO.	8	50	+Z
JN018		AGLOMERADO DE COLOR CAFÉ OSCURO CON FRAGMENTOS DE LUTITAS.	4	25	+C
JN019		ARENISCAS DE GRANO MEDIO. ROCA MUY COMPACTA. METEORIZACIÓN ESFEROIDAL EN ARENISCAS.	5	31	+C
JN020		LUTITA GRIS OSCURA MUY DURA, MUY COMPACTA, SILICIFICADA.	4	25	+C
JN021		LUTITA DE COLOR CAFÉ ROJIZO, EN CONTACTO CON AGLOMERADOS.	9,5	59	+Z
MJN022		LUTITA DE GRANO FINO DE COLOR VERDE AGUA, DIACLASADA, MUY FRACTURADA.	9,6	60	+Z
MJN23		LUTITA SILICEA DE COLOR GRIS OSCURA, FRACTURAS ANGULOSAS.	4	25	+C
MJN024		LUTITA COLOR CAFÉ CLARA, CON PATINAS DE MANGANESO, DIACLASADA, MUY FRACTURADA	4	25	+C

## DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LAS ROCAS Y RESULTADOS DE LABORATORIO

No	MUESTRA	DESCRIPCION LITOLÓGICA	PRUEBAS DE LABORATORIO		
			$\Delta T$	% Z	EVALUACION
MFJN025		AGLOMERADO CON CLASTOS REDONDEADOS Y CLASTOS ANGULOSOS.	5	31	+C
MFJN026		LUTITA SILICEA DE COLOR GRIS, FRACTURA ANGULOSA	3	19	+C
MFJN027		LUTITA CAFÉ OSCURA CON INTERCALACIONES DE ARENISCA DE COLOR OSCURO	11,2	70	+Z
MFJN028		AGLOMERADOS CON MATRIZ ARCILLOSA, CON CLASTOS MEDIANOS. ROCA MUY DURA.	5	31	+C
MFJN029		LUTITA Y ARENISCA INTERCALADAS. COLOR CAFÉ CLARO.	17,7	100	+Z
MFJN30		AGLORMERADO DE COLOR AMARILLO A VERDE. ROCA MUY DURA. CLASTOS ANGULOSOS DE 0.5 cm. DE DIAMETRO.	5	31	+C

TABLA 11. CALOR DE INMERSIÓN Y PORCENTAJE DE ZEOLITA

No.	Muestra	$\Delta T$	%Z
1	MP1	13,9	87
2	MP2	14,4	90
3	MP3	11,1	69
4	MP6	12	75
5	MP8-2	13,5	84
6	MP9	12,2	76
7	MB-1	8	50
8	MB-2	8,6	54
9	MB-3A	8,1	51
10	MB-3B	9	56
11	MB-4A	10	62
12	MB-4B	10,4	65
13	MB-5	15	94
14	MB-10B	14,4	90
15	MB-17	8,1	51
16	MB-19B	15	94
17	MB-25	8,7	54
18	MB-29A	10,5	66
19	MB-29C	12	75
20	MB-30A	10,2	64
21	MB-30B	10	63
22	MB-30C	10,6	66
23	MB-32B	13	81
24	MB-32C	10	63
25	MB-32E	11	69
26	JN001	9,5	59
27	JN002	9,4	58
28	JN008	9,7	60
29	JN015	8	50
30	JN017	8	50
31	JN021	9,5	59
32	JN022	9,6	60
33	JN027	11,2	70
34	JN029	17,7	97
35	MF16	9,5	59
36	MF23	8,1	51
37	MF24	8,7	54
38	JMF30	8,6	54
39	JMF31	10	62
40	JMF33	8	50
41	JMF35	12,7	79
42	MJMF36	8	50

Los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico Total determinados para las muestras consideradas como positivas en contenido de zeolitas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico Total

No.	Muestra	$\Delta T$	%Z	CICT
1	MP1	13,9	87	136,5
2	MP2	14,4	90	146,3
3	MP3	11,1	69	104,8
4	MP6	12	75	102,6
5	MP8-2	13,5	84	117,2
6	MP9	12,2	76	92,6
7	MB-1	8	50	71,5
8	MB-2	8,6	54	82,9
9	MB-3A	8,1	51	63,3
10	MB-3B	9	56	72,8
11	MB-4A	10	62	76,4
12	MB-4B	10,4	65	84,6
13	MB-5	15	94	151,7
14	MB-10B	14,4	90	135,7
15	MB-17	8,1	51	61,9
16	MB-19B	15	94	143,9
17	MB-25	8,7	54	72,1
18	MB-29A	10,5	66	90,3
19	MB-29C	12	75	98,8
20	MB-30A	10,2	64	83,9
21	MB-30B	10	63	74,8
22	MB-30C	10,6	66	79,8
23	MB-32B	13	81	110,5
24	MB-32C	10	63	88,1
25	MB-32E	11	69	103,9

#### **4.6 Bloque tecnológico Experimental de zeolitas (BTEZ)**

Con el muestreo básico y los análisis presentados anteriormente, se detectaron zonas potenciales para la ocurrencia de zeolitas. Se observó que de las muestras tomadas, el punto MB10B presentó un contenido alto de zeolita (90%), el cual corresponde a la base de un bloque ubicado dentro del Parque Tecnológico, en donde se habían realizado movimientos de tierras para la construcción de IETEL. Por la importancia del valor de la muestra y las condiciones que presenta el área, se decidió utilizar este bloque para analizar la variabilidad del mineral dentro de un mismo tipo litológico, y caracterizarlo por completo, al cual se denominó "Bloque Tecnológico Experimental de Zeolitas" (BTEZ). [7]

Para la caracterización detallada se procuraron 7 muestras de canal (MB-10A hasta MB-10B7) tomadas desde la base hacia el tope respectivamente, las mismas que se analizaron en el laboratorio. Los resultados de las muestras se observan a continuación en la tabla 13. Se incluyó la determinación de la adsorción express de agua, para determinar la capacidad de adsorción ( $a$ ) y el volumen de micro poros ( $W$ ), para otros posibles usos.

Tabla 13. Resultados de las muestras del BTEZ

No.	Muestra	$\Delta T$	%Z	CICT	a	W
1	MB-10B1	15,1	94	145,9	7,42	0,134
2	MB-10B2	13,2	83	125,6	7,10	0,128
3	MB-10B3	12,8	80	121,8	6,43	0,116
4	MB-10B4	8,9	56	80,9	5,41	0,098
5	MB-10B5	13	81	123,6	6,65	0,120
6	MB-10B6	11,6	73	107,5	6,24	0,113
7	MB-10B7	11,0	69	96,8	6,21	0,112
Promedio	-	12,2	76	114,6	6,49	0,117

Se consideraron como Parámetros de la Calidad del BTEZ los siguientes resultados obtenidos:

Tabla 14. Parámetros de Calidad del BTEZ

PARÁMETRO	SIGLAS	UNIDADES	VALOR
Calor de inmersión	$\Delta T$	$^{\circ}C$	12,2
Contenido de zeolita	%Z	%	76
Capacidad de Intercambio Catiónico Total	CICT	meq/100g	115
Capacidad de adsorción.	a	mmol/g	6,49
Volumen de micro poro	W	cm <sup>3</sup> /g	0,117
Peso volumétrico	PV	g/cm <sup>3</sup>	1,2
Peso específico	PE	g/cm <sup>3</sup>	2,2

Con los datos anteriores el BTEZ se clasificó como del Tipo Tecnológico "B", aprobado para usos en la agricultura, acuicultura, industria, descontaminación ambiental y otros.

Las reservas calculadas del bloque son de 4151 m<sup>3</sup>, que representan aproximadamente unas 4000 toneladas en productos de zeolita.

Conociendo las características del BTEZ se separó una muestra tecnológica de 20 toneladas para la elaboración de varios productos zeolíticos naturales y modificados para pruebas de uso y pruebas comparativas en aplicaciones agropecuarias. [7]

Se estudió a escala de laboratorio y planta piloto la cinética de carga de las zeolitas en sus formas: amónica ( $\text{ZNH}_4^+$ ), potásica ( $\text{K}^+$ ) y ZNPK y se elaboraron dos sustratos, denominados: ZEOFERT 1, conformado a base de la mezcla de zeolitas amónica y potásica con rocas fosfóricas, y ZEOFERT 2 a base de zeolitas cargadas con macronutrientes. De estos sustratos ZEOFERT 1 resultó ser el más efectivo, con mayores contenidos de N, P, K y Ca, preparándose de este sustrato mayores cantidades a nivel de planta piloto.

Los sustratos se aplicaron en semilleros utilizando como planta indicadora el césped del campo de fútbol del Campus Politécnico y el

rábano rojo. Las plantas de rábano se utilizaron como cultivos indicadores para la evaluación de sustratos y fertilización, debido a sus características particulares de crecimiento (máximo 45 días), su fruto que se desarrolla totalmente dentro del suelo facilita para la toma de datos la evaluación del rendimiento basado en el peso total de la planta de fácil manipulación.

En las pruebas del uso de la zeolita en los semilleros del césped del campo de fútbol resultaron las más aconsejables las mezclas de urea con el 15 y 25% de zeolita natural.

Se realizaron pruebas comparativas en el empleo de las zeolitas como camada de pollos de engorde (tanto machos como hembras) en sustitución de la viruta de madera o el tamo de arroz, lográndose mejores resultados para el caso de la zeolita, en cuanto a menor mortalidad, mayor peso corporal y menores contenidos en parámetros de control como amonio y humedad. Este trabajo fue desarrollado dentro de las instalaciones avícolas del CENAE.

Para la producción de zeolitas y la obtención de muestras tecnológicas para las pruebas de uso, se diseñó una Planta Piloto semi-industrial, la cual se encuentra ubicada en la ESPOL, a unos 200 m. de las

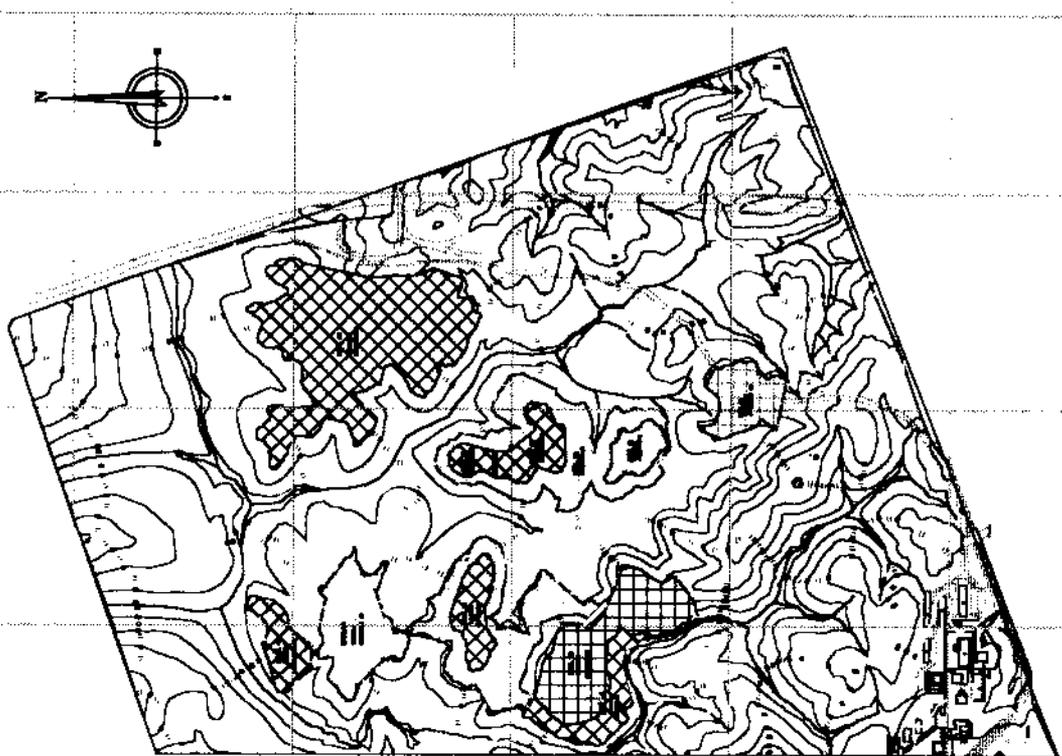
instalaciones del IMPSAT. La planta es de tecnología simple de molienda y clasificación, la misma se diseñó para obtener 4 productos naturales en distintas fracciones granulométricas y con posibilidades de varias aplicaciones inmediatas.

# CAPITULO 5

## 5. CALCULO DE RESERVAS

El alcance de la presente tesis es estimar el contenido de zeolitas en las rocas que se encuentran emplazadas en el sector donde se realizará la remoción de tierras para la construcción del Parque Tecnológico, por lo tanto no representa la evaluación de todo el recurso ya que la ESPOL por encontrarse dentro de un área protegida (Bosque Protector) no tiene permitido realizar labores mineras a gran escala. Los afloramientos encontrados y los datos de campo obtenidos no son suficientes para realizar un cálculo de reservas, sin embargo es posible hacer una estimación de las mismas sobre la base de las observaciones superficiales realizadas en la zona de interés.

La estimación de reservas presentada, cubre solo los estratos productivos del mineral, y se localiza desde la superficie hasta una profundidad diseñada para cada terraza de explotación. [figura 17]



**SIMBOLOGIA**

	TERRAZA 1
	TERRAZA 2
	TERRAZA 3
	TERRAZA 4
	TERRAZA 5
	TERRAZA 6
	TERRAZA 7
	TERRAZA 8
	TERRAZA 9
	TERRAZA 10
	TERRAZA 11



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
 FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
 NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL**

**CONTENIDO: MAPA DE UBICACION DEL DISEÑO DE TERRAZAS DE EXPLOTACION**

<b>FIGURA:</b> 17	<b>DIBUJÓ:</b> M. FERNANDA BASTIDAS	<b>ESCALA:</b> 1:17500
	<b>DIRECTOR DE TESIS:</b> ING. JORGE CALLE	<b>FECHA:</b> ABRIL / 2002

Previo al cálculo de las reservas se evaluó el modelo del depósito, encontrándose que los principales problemas son: una distribución muy irregular de la mineralización y las diferentes características del mineral en los 11 bloques definidos para el estudio. En este caso no se realizó un modelo general para la estimación del recurso, sino modelos independientes como bloques contenidos con el mineral aparecieron, cada modelo parcial se evaluó de forma independiente, al final del proceso se sumaron los resultados de todos ellos para obtener el resultado general.

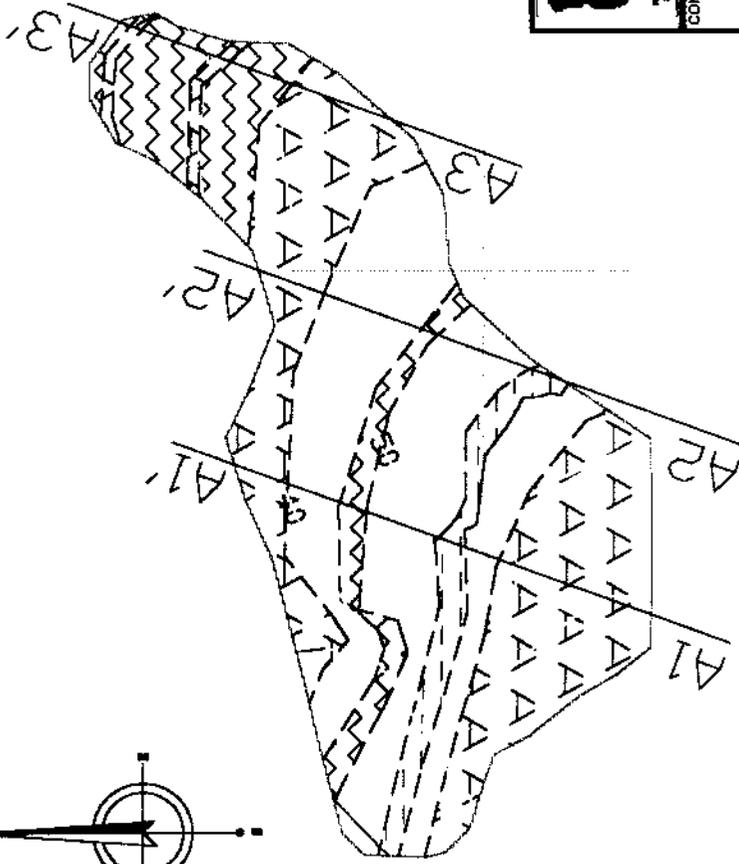
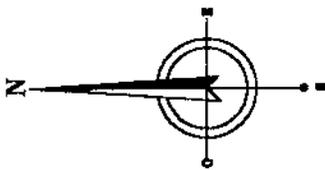
El cálculo preliminar de reservas se ejecutó por el método de secciones o perfiles el cual se basa en la construcción de bloques que se encuentran entre dos secciones de prospección contiguas; perfiles verticales. De acuerdo con esto, el contorneo de los cuerpos minerales se hizo en los perfiles y planos correspondientes; de esta manera la forma compleja del objeto natural fue reemplazada por figuras geométricas sencillas diferentes para cada bloque, y en la determinación del volumen del bloque no se utilizó la potencia media del cuerpo mineral, sino las áreas ocupadas por el mineral en las secciones contiguas.



En las figuras [18 a 28] se aprecian detalles de las 11 terrazas de explotación, cada una presenta los límites, la geología y la dirección de los perfiles separados 50 metros uno de otro.

Los perfiles seleccionados para cada terraza de explotación se presentan con su respectiva geología en las figuras [29 a 39], los mismos que tienen una dirección N 20° E.

# TERRAZA 1



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

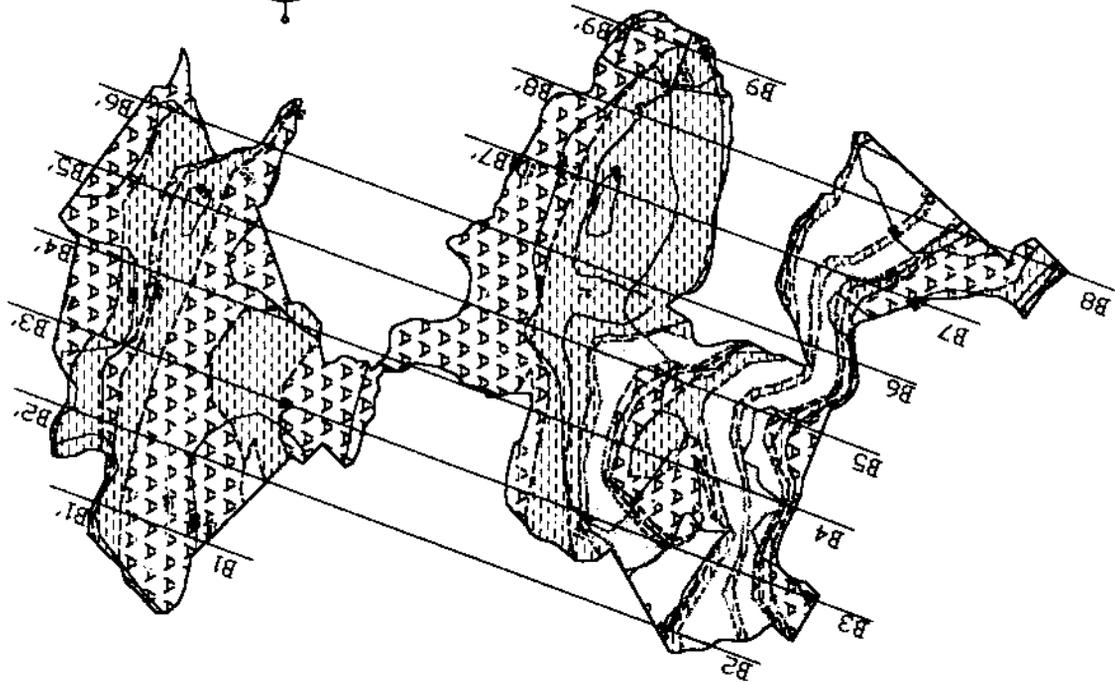
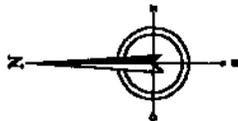
CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 1 Y PERFILES GEOLOGICOS

FIGURA: 18	DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE	UNIDAD: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000
------------	-------------------------------------	------------------------------	---------------------	----------------

# TERRAZA 2

## SIMBOLOGIA

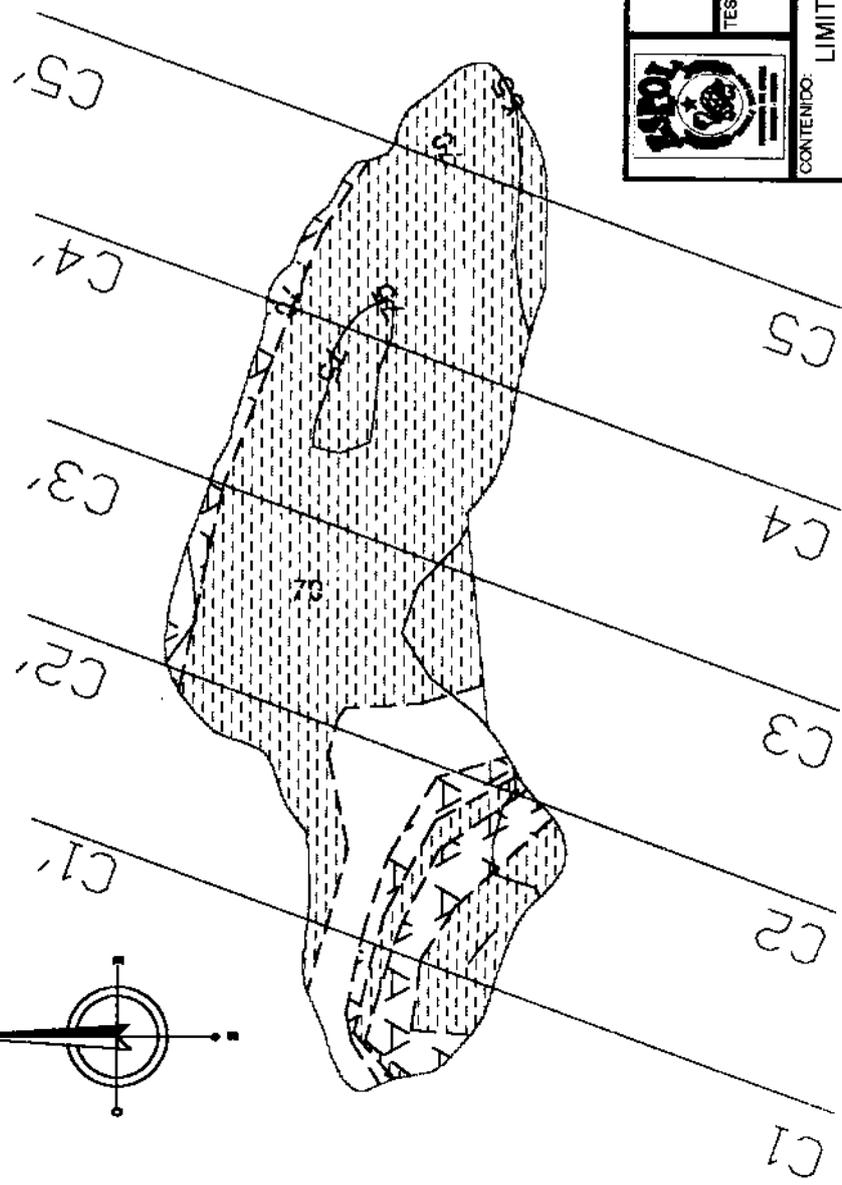
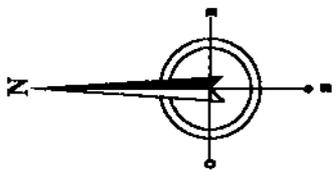
-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 2 Y PERFILES GEOLOGICOS			
FIGURA: 19	CONSEJERO DE TESIS: ING. JORGE OJEDA	DECANO: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002
			ESCALA: 1:2000



# TERRAZA 3

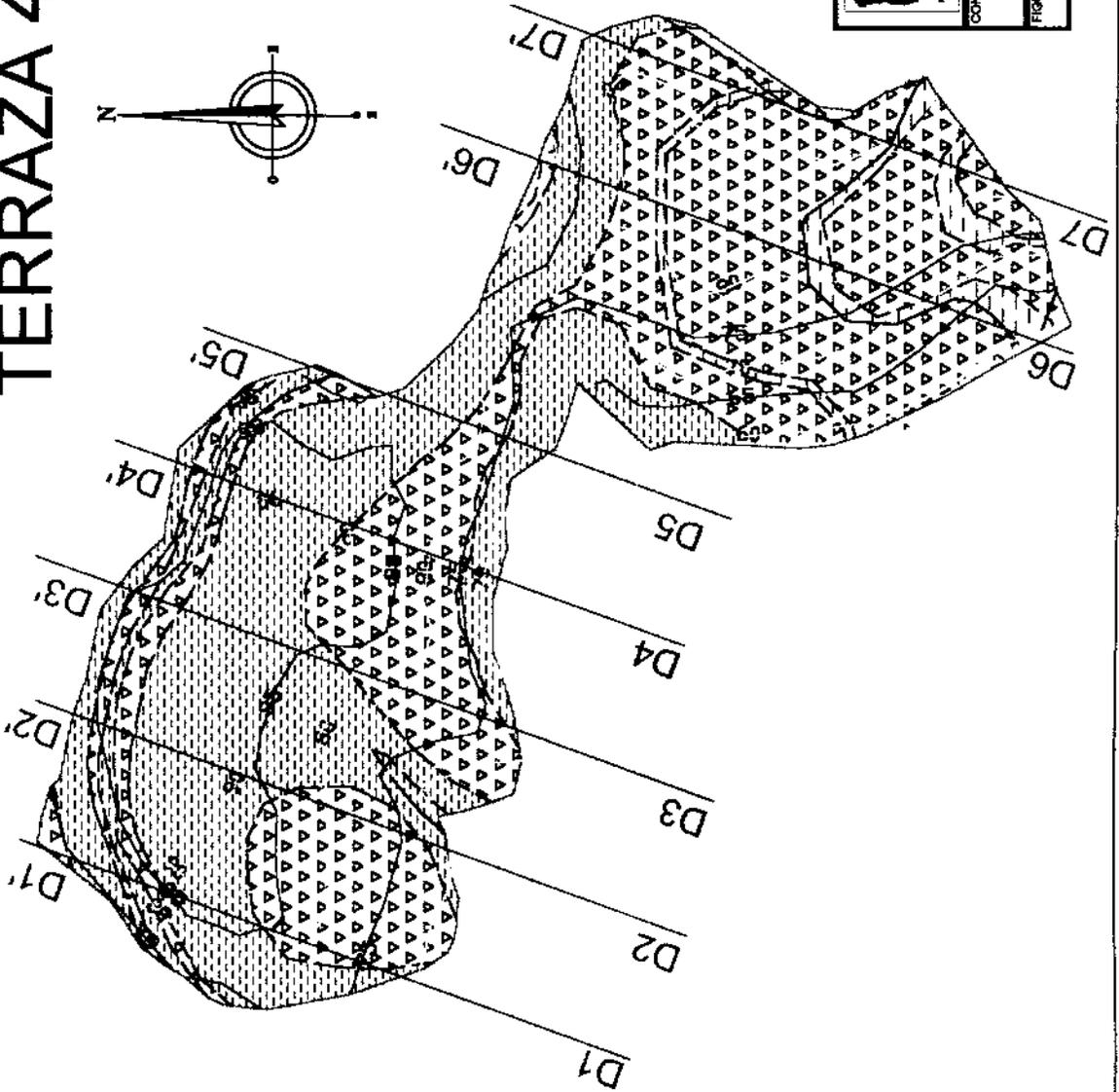
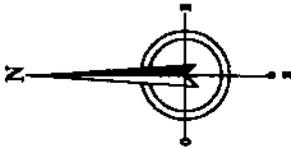


**SIMBOLOGIA**

- AGLOMERADOS
- ARENISCAS
- LUTITAS
- TOBAS
- CONTACTOS
- PERFILES

	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL	
<b>CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 3 Y PERFILES GEOLOGICOS</b>		
DIRECTOR DE TESIS <b>ING. JORGE CALLE</b>	DIBUJO: <b>M. FERNANDA BASTIDAS</b>	FECHA <b>ABRIL / 2002</b>
FIGURA: <b>20</b>		ESCALA <b>1:2000</b>

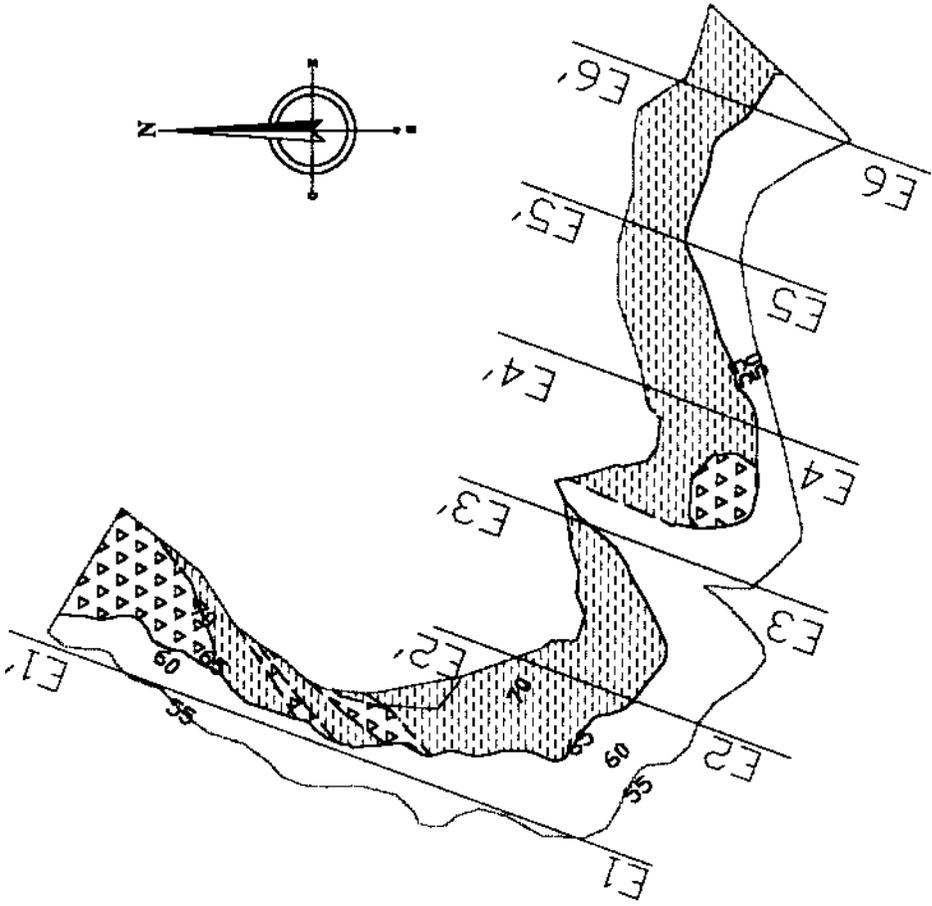
# TERRAZA 4



SIMBOLOGIA	
	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS
	PERFILES

	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TEMA: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 4 Y PERFILES GEOLOGICOS			
FIGURA: 21	DEPARTAMENTO: INGENIERIA	DESEMPEÑO: FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL 7 2002
			ESCALA: 1:2000

# TERRAZA 5



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES
-  COLUVIALES



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

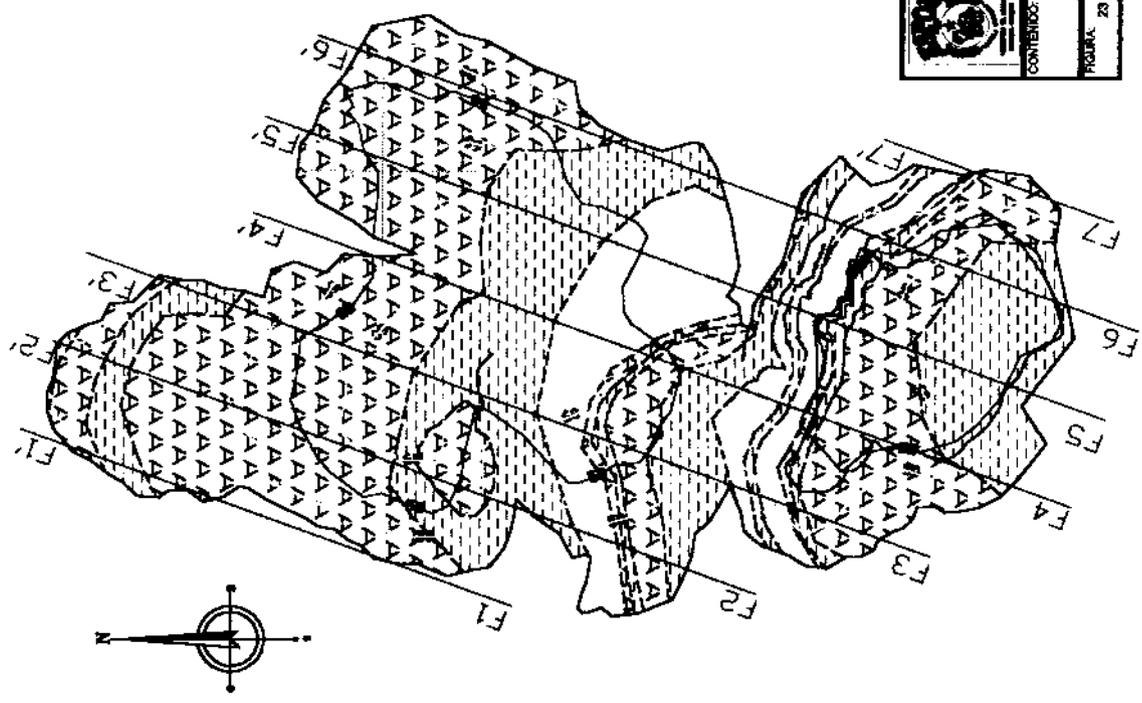
CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 5 Y PERFILES GEOLOGICOS

FIGURA: 22	REGISTRADO TESIS: ING. JORGE CALLE	EMISSO: M. FERNANDA BASTIDAS	FORMA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000
------------	--	---------------------------------	------------------------	-------------------

# TERRAZA 6

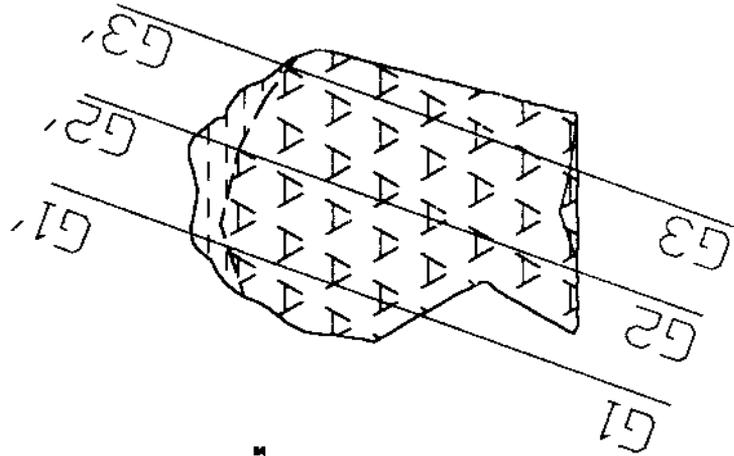
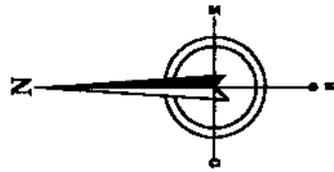
## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 6 Y PERFILES GEOLOGICOS			
FIGURA: 26	PAIS: ECUADOR	CALLE: ING. JORGE GALLE	BOGOTÁ: ABRIL 7, 2002
			ESCALA: 1:2000

# TERRAZA 7



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TÍTULO: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 7 Y PERFILES GEOLOGICOS

FIGURA: 24

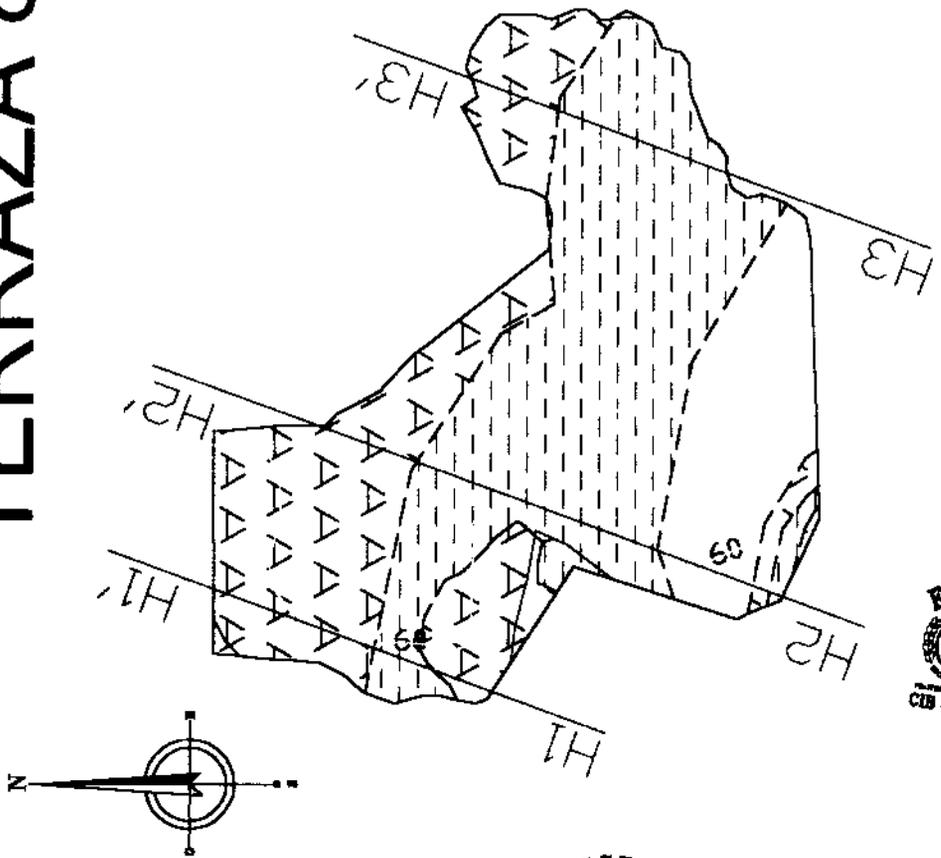
DIRECTOR DE  
TRABAJO: ING. JORGE CALLE

REALIZADO POR:  
M. FERNANDA BASTIDAS

FECHA:  
ABRIL / 2002

ESCALA:  
1:2000

# TERRAZA 8



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 8 Y PERFILES GEOLOGICOS

FIGURA: 25

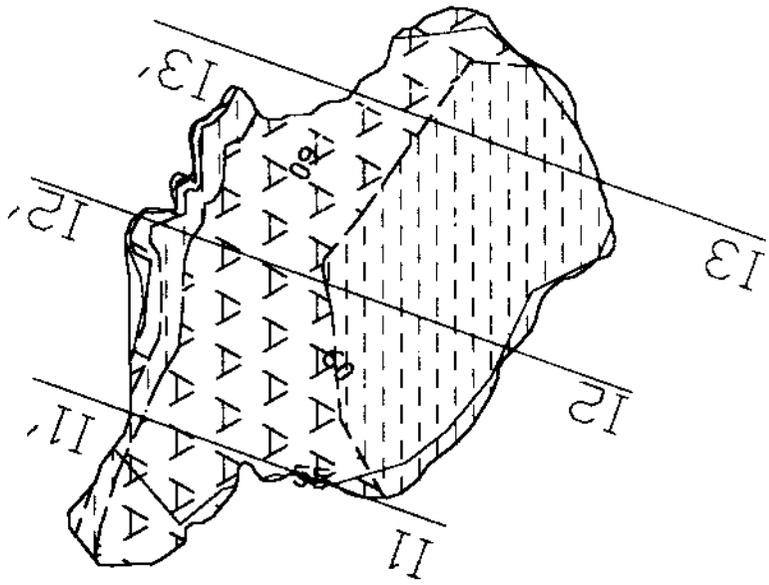
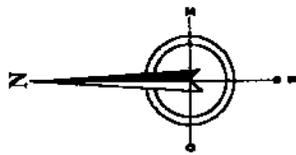
DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE

ORIENTADOR: M. FERNANDA BASTIDAS

ESCALA: 1:2000



# TERRAZA 9



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



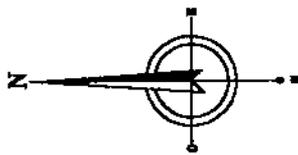
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TEMA: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 9 Y PERFILES GEOLOGICOS

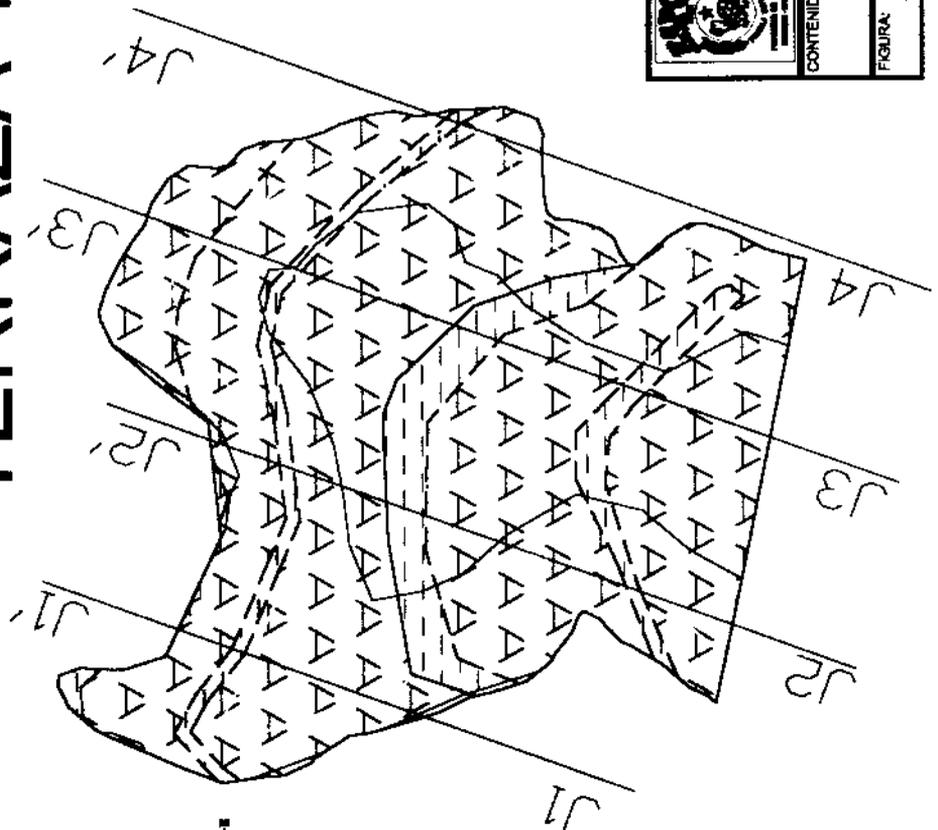
CONDUCTOR DE TEMA: INC. JORGE CALLE	PROFESOR: M. FERNANDA BASTIANS	FECHA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000
FIGURA: 28			

# TERRAZA 10



## SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS
-  PERFILES



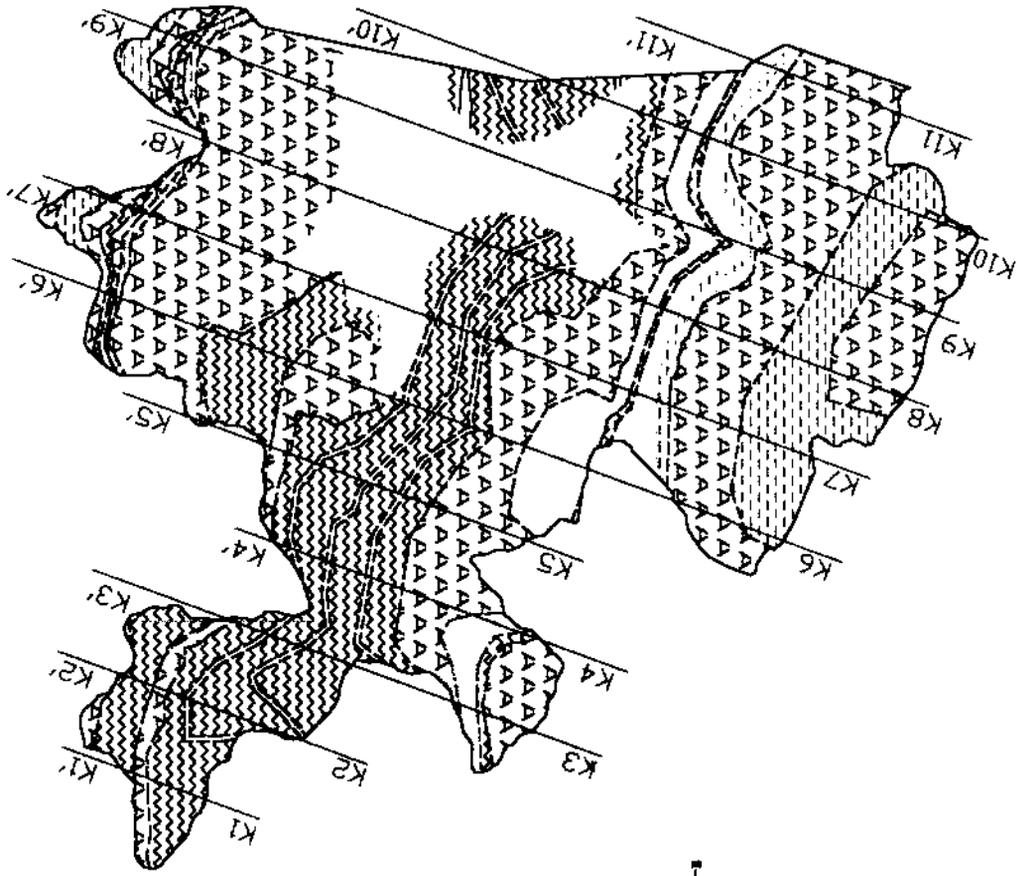
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 10 Y PERFILES GEOLOGICOS

FIGURA: 27	DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE	FECHA: ABRIL 7 2002	ESCALA: 1:2000
------------	-------------------------------------	---------------------	----------------

# TERRAZA 11



## SIMBOLOGIA

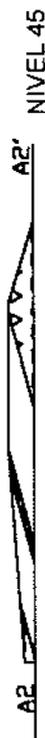
	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS
	PERFILES



<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
<b>TEMA: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL</b>	
<b>CONTENIDO: LIMITE DE TERRAZA 11 Y PERFILES GEOLOGICOS</b>	
FIGURA: 28	DISEÑADA POR: ING. JORGE CALLE
ESCALA: 1:2000	FECHA: ABRIL / 2007

PERFILES: TERRAZA 1

DIRECCIÓN: N 20° E



**SIMBOLOGIA**

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

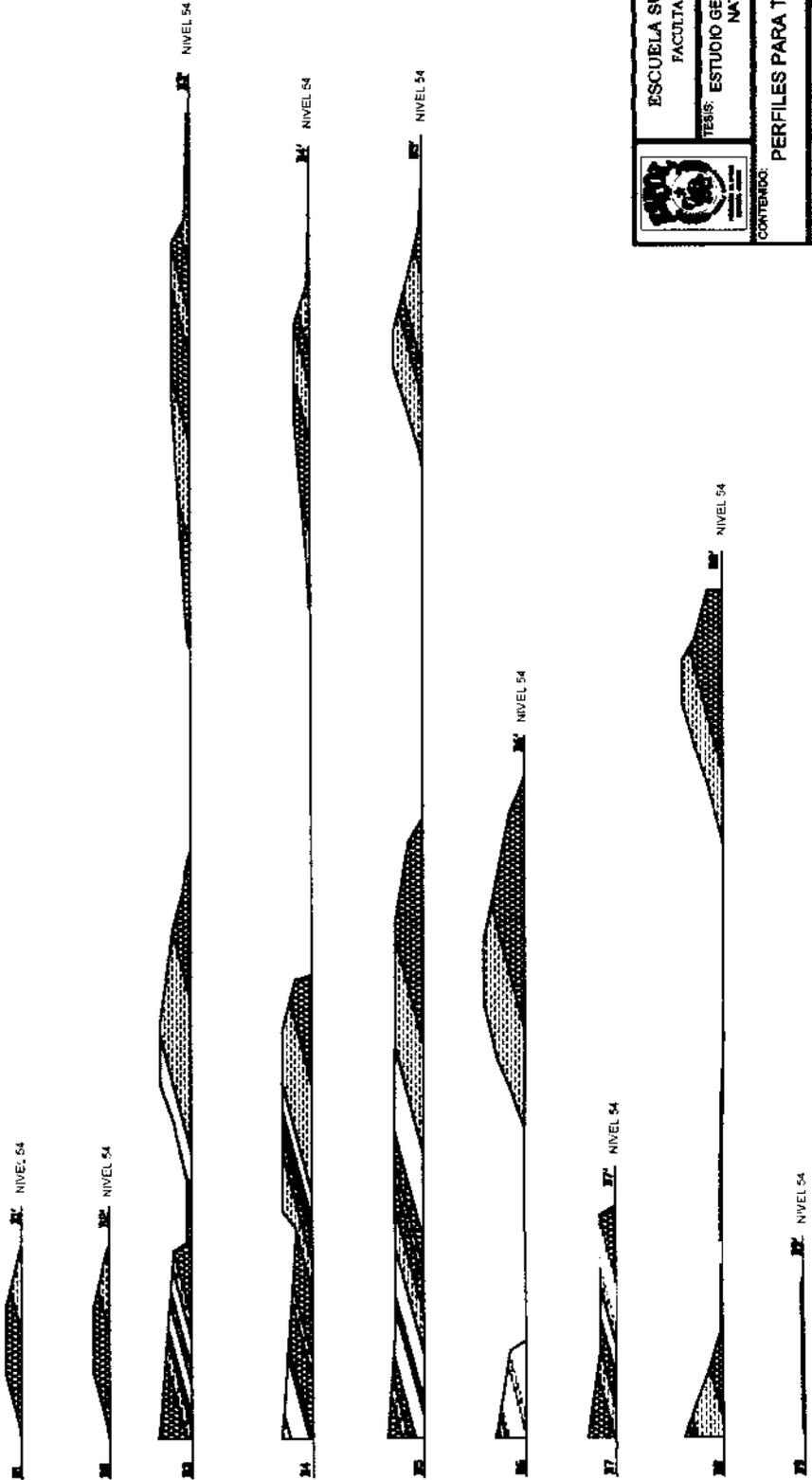
CONTENIDO:  
**PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACIÓN 1**

FIGURA: 29	DIRECTOR DE TEMA: ING. JORGE CALLE	DIBUJO: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000
------------	------------------------------------	------------------------------	---------------------	----------------





PERFILES: TERRAZA 2  
DIRECCIÓN: N 20° E



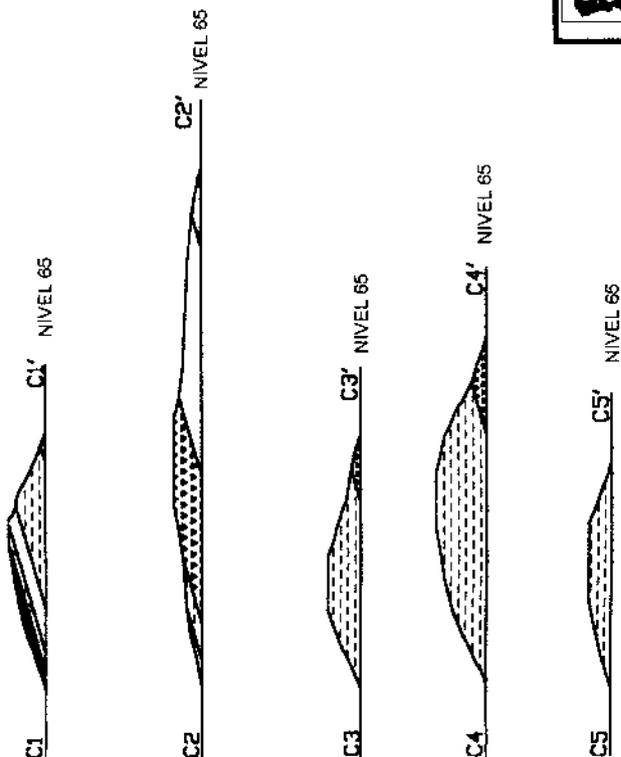
**SIMBOLOGIA**

- AGLOMERADOS
- ARENISCAS
- LUTITAS
- TOSTAS
- CONTACTOS

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA				
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL				
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACIÓN 2					
FIGURA	30	FECHA DE ENTREGA	17/02/2022	ESCALA	1:2000
		ALUMNO	PEREGRINA BASTIDAS		
		PROFESOR	ING. JORGE GALLA		



PERFILES: TERRAZA 3  
DIRECCION: N 20° E



SIMBOLOGIA	
	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS

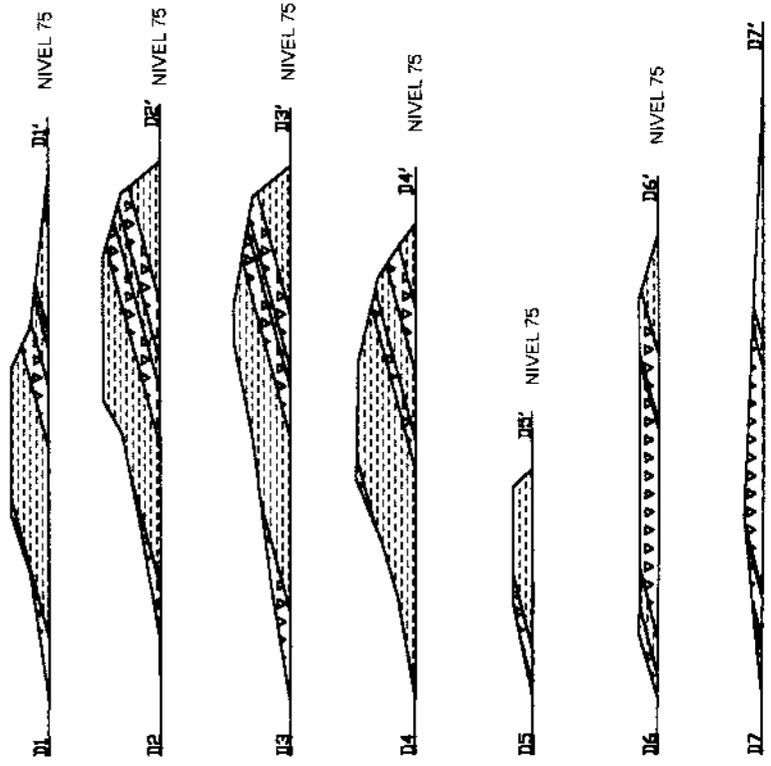
	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL	
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 3		
DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE	DIRULIO: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002
FIGURA: 31	ESCALA: 1:2000	

PERFILES: TERRAZA 4

DIRECCIÓN: N 20° E

**SIMBOLOGIA**

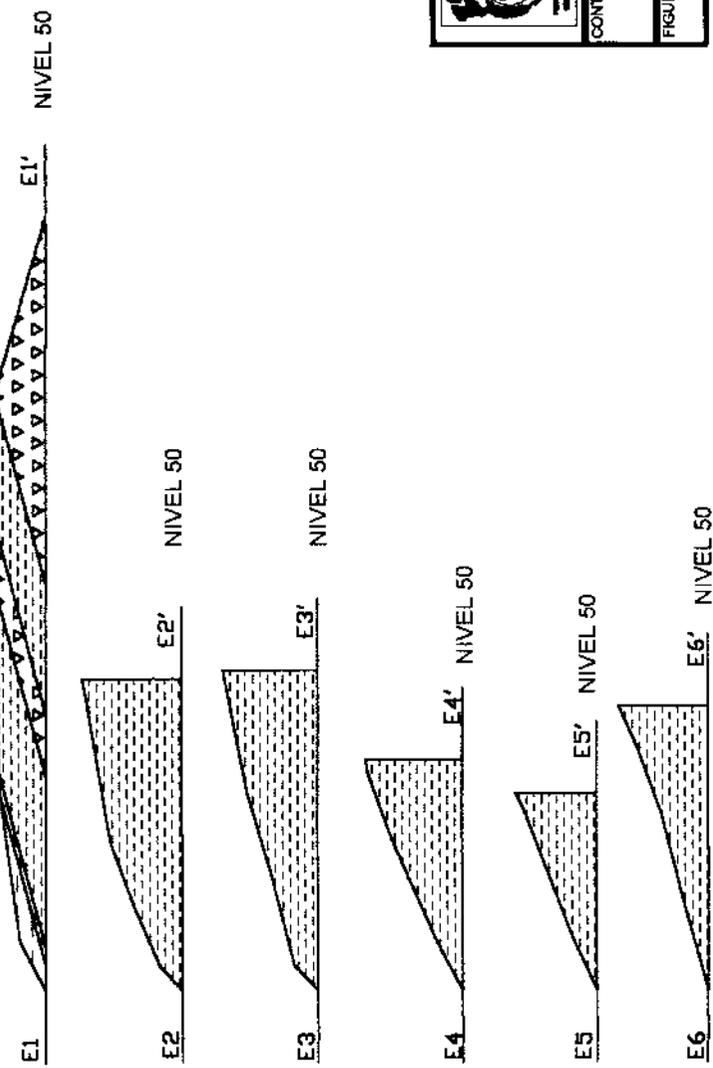
-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS



	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 4			
FIGURA: 32	AUTOR: ING. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000

# PERFILES: TERRAZA 5

DIRECCIÓN: N 20° E

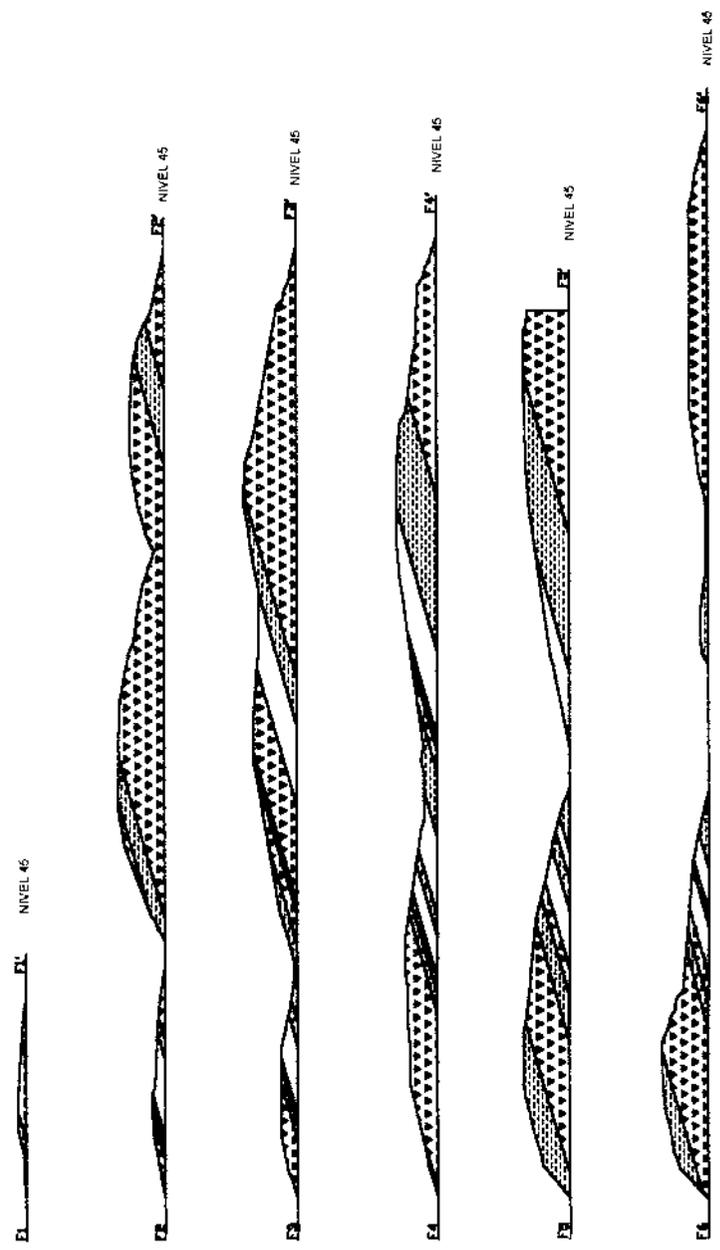


## SIMBOLOGIA

	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS

	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL			
<b>CONTENIDO:</b> <b>PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACIÓN 5</b>			
FIGURA: 33	DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE	DISEÑO: M. FERNANDA BARRANTES	FECHA: ABRIL / 2002
			ESCALA: 1:2000

PERFILES: TERRAZA 6  
DIRECCIÓN: N 20° E



**SIMBOLOGIA**

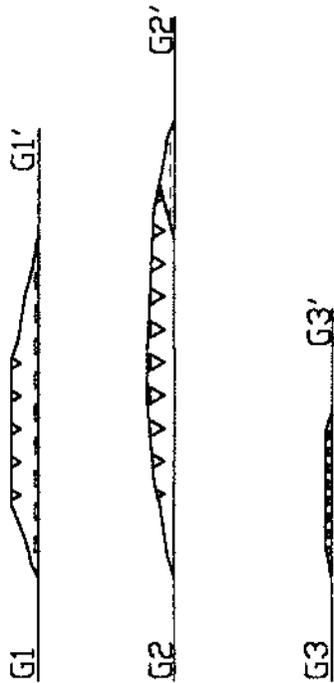
- AGLOMERADOS
- ARENISCAS
- LUTITAS
- TOBAS
- CONTACTOS

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
	TEMAS ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 6			
ASIGNATURA: <b>34</b> NOMBRE DEL ALUMNO:	GRUPO:	FECHA DE ENTREGA:	ESCALA: 1:2000

E2 NIVEL 45

# PERFILES: TERRAZA 7

DIRECCIÓN: N 20° E



## SIMBOLOGIA

	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

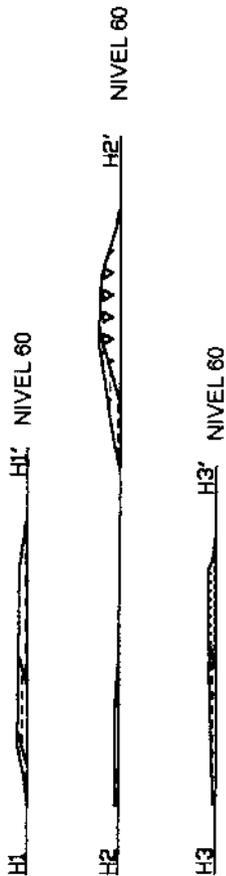
TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 7

FIGURA: 35	DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CALLE	DIBUJO: M. FERNANDA BASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002	ESCALA: 1:2000
------------	-------------------------------------	------------------------------	---------------------	----------------

PERFILES: TERRAZA 8

DIRECCION: N 20° E

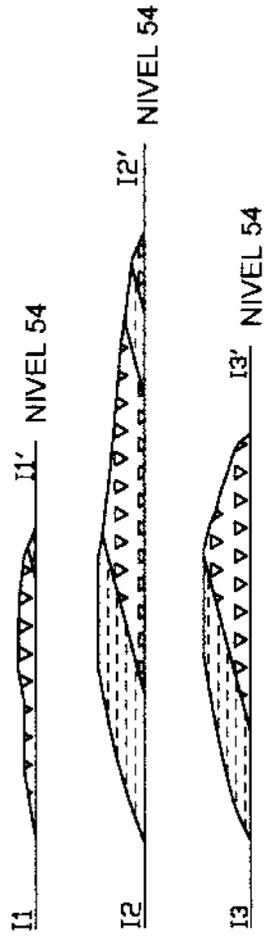


SIMBOLOGIA	
	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS

	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL			
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 8			
FIGURA: 36	DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE CARLE	DEBILLO: M. FERNANDA SASTIDAS	FECHA: ABRIL / 2002
			ESCALA: 1:2000

# PERFILES: TERRAZA 9

DIRECCION: N 20° E



SIMBOLOGIA	
	AGLOMERADOS
	ARENISCAS
	LUTITAS
	TOBAS
	CONTACTOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO:

PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACION 9

FIGURA: 37

DIRECTOR DE  
TRABAJO: ING. JORGE CALLE

DIBUJO:  
M. FERNANDA BASTIDAS

FECHA:  
ABRIL / 2002

ESCALA:  
1:2000

PERFILES: TERRAZA 10

DIRECCIÓN: N 20° E



SIMBOLOGIA

-  AGLOMERADOS
-  ARENISCAS
-  LUTITAS
-  TOBAS
-  CONTACTOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS  
NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL

CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACIÓN 10

FIGURA: 38

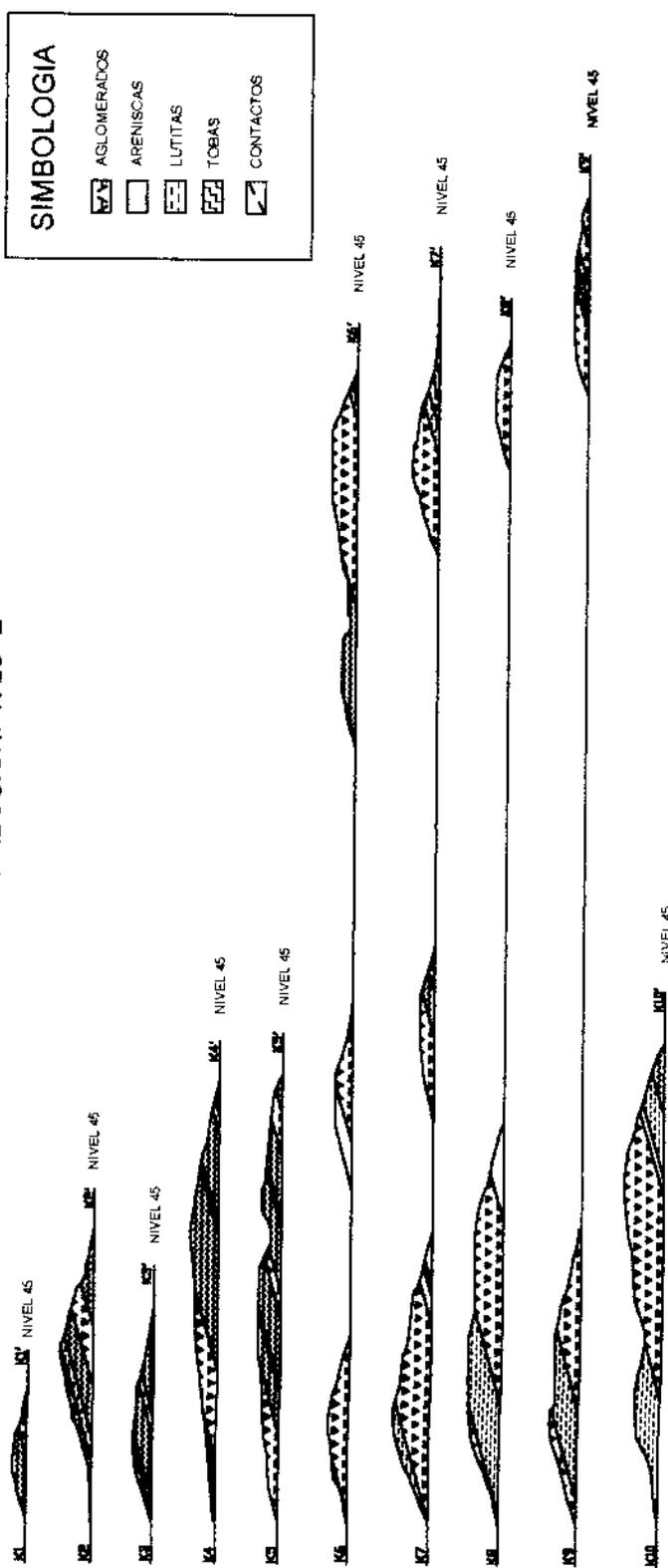
DIRECTOR EN  
TESIS: ING. JORGE CALLE

DEBUCO:  
M. FERNANDA BASTIDAS

PROYECTO:  
ABRIL / 2002

ESCALA:  
1:2000

PERFILES: TERRAZA 11  
DIRECCIÓN: N 20° E



	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		
	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA		
TÍTULO: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL		AUTOR: M. PAOL GALE	
CONTENIDO: PERFILES PARA TERRAZA DE EXPLOTACIÓN 11		FECHA: 08/01/2007	
TOTAL: 36	HOJA: 05	PROYECTO: 08/01/2007	ESCALA: 1:2000

Para explicar mejor el método del cálculo de las reservas en cada bloque, se toma como ejemplo la terraza 5 (Fig. 22) en la cual se elaboraron 6 perfiles geológicos con dirección N 20° E separados cada 50 m (Fig. 33), con los cuales se realizó el cálculo de áreas con el programa Autocad 2000, tomando como base del perfil la cota más baja propuesta (Nivel 50) expresada en m.s.n.m.

Para el cálculo de volúmenes totales no se toma en cuenta la capa de suelo presente, que aproximadamente tiene un espesor medio de 50 cm. El volumen de cada cuerpo en m<sup>3</sup> se calcula sumando las áreas medias de los perfiles contiguos multiplicadas por la distancia entre cada una de ellas, luego se suman los volúmenes parciales para expresar el volumen total.

El volumen de roca zeolitizada se obtiene delimitando y calculando las áreas que están contenidas por el mineral, en este caso se encuentran lutitas tobáceas con contenido de 79% de zeolitización calculado por el método de calor de inmersión en las muestras MJMF34 y JN029, luego se multiplica cada área por la distancia de 50 m. y como resultado se tiene el volumen de zeolitas. El valor en Tm. se calcula multiplicando el volumen por la densidad aparente en este caso determinada en 1.9 gr/cm<sup>3</sup>. De esta manera en la terraza 5, las reservas probables de lutitas tobáceas

zeolitizadas con un 79% de mineral contenido en la roca representan 307.849 Tm.

TABLA 15. Estimación de Volúmenes para la Terraza 5

Perfiles	Área en m <sup>2</sup>	Distancia en m	Volumen Total en m <sup>3</sup>	Área de lutitas tobáceas en m <sup>2</sup>	Volumen de lutitas en m <sup>3</sup>	Tm. de lutitas tobáceas
E1- E1'	1.313	50	-	725	-	
E2 – E2'	899	50	55.340	899	40627	77.191
E3 – E3'	819	50	42.986	819	42.986	81.673
E4 – E4'	543	50	34.090	543	34.090	64.771
E5 – E5'	358	50	22.571	358	22.571	42.885
E6 – E6'	511	50	21.752	511	21.752	41.329
TOTAL	4.443	-	176.739	3.855	162.026	307.849

De la misma forma como se observan los cálculos de reservas para el bloque número 5 se aplicó este procedimiento para los demás bloques encontrándose que las rocas a retirar para la construcción del Parque Tecnológico tienen un volumen de 2'097.251 m<sup>3</sup>, ver tabla 16.

Tabla 16. Volumen total de rocas para remoción.

No. de Terraza	Área en m <sup>2</sup>	Nivel (Cota Base) m.s.n.m	Volumen en m <sup>3</sup>
1	15.671	45	24.178
2	92.726	54	318.689
3	16.042	65	68.922
4	39.867	75	265.802
5	19.490	50	176.739
6	38.552	45	585.947
7	5.877	54	13.028
8	17.806	60	19.912
9	11.942	54	39.837
10	21.975	65	125.113
11	131.340	45	459.084
<b>TOTAL</b>	<b>411.288</b>	<b>-</b>	<b>2'097.251</b>

A continuación se observa la tabla 17, la cual presenta los valores totales de estimación de reservas del recurso zeolitas, calculadas por el método de los perfiles geológicos, los resultados se expresan en m<sup>3</sup> y Tm. Las reservas probables alcanzan un total de 1'833.737 Tm.

Tabla 17. Estimación de Volúmenes de Zeolita por el Método de los Perfiles Geológicos

TERRAZA	VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN LUTITAS TOBACEAS (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN TOBAS ( m <sup>3</sup> )	% ZEOLITA PRESENTE	DENSIDAD APARENTE	RESERVAS ZEOLITAS EN Tm.
1	24.178	985	815	25 - 50	1.9	3.420
2	318.689	178.314	-	45 - 75	1.9	338.797
3	68.922	44.668	-	19 - 75	1.9	84.869
4	265.802	168.696	-	50 - 75	1.9	320.522
5	176.739	162.023	-	79	1.9	307.844
6	585.947	172.351	-	50 - 70	1.9	327.427
7	13.028	1.744	-	31	1.9	3.314
8	19.912	6.143	-	19 - 70	1.9	11.672
9	39.837	17.206	-	50	1.9	32.691
10	125.113	33.125	-	38 - 54	1.9	62.938
11	459.084	77.293	101.761	25 - 58	1.9	340.203
TOTAL	2'097.251	862.548	102.576	-	-	1'833.737

## **5.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA PARA LA ESPOL DE LOS ESTUDIOS DE ZEOLITA**

Actualmente del Bloque Tecnológico Experimental de Zeolita (BTEZ) se extrae mineral por parte de la compañía COVITAN la cual comercializa para los usos masivos (camaronicultura, agricultura, etc.).

Las ventas de zeolita a COVITAN (unos 2000 m<sup>3</sup>) tienen una escala de precios cada 500 m<sup>3</sup> de: 15 USD; 19USD; 21 USD; y 25 USD.

Estimando un promedio de 20 USD / m<sup>3</sup> las reservas de 1'833.737 t. podrían representar un valor de 36'674.740 USD de ganancias netas para la ESPOL, de ahí la importancia en continuar profundizando en el Tema.

# **CAPITULO 6**

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

Con el presente trabajo se ha confirmado que las rocas que constituyen los terrenos del Campus Politécnico comprenden diferentes secuencias de rocas vulcano-sedimentarias depositadas en ambiente marino profundo.

Las principales litologías observadas en el área son: aglomerados, areniscas de grano fino, lutitas, y tobas formando franjas de orientación Noroeste-Sureste las cuales forman secuencias de depositación que se repiten constantemente.

Del 100% de muestras recolectadas fueron sometidas a su respectiva investigación y análisis de laboratorio, de los cuales arrojaron resultados positivos el 45% de las muestras con contenidos de zeolita por encima del 50%.

El método de calor de inmersión y de capacidad de intercambio catiónico total determinan la presencia y calidad de las zeolitas dentro de una roca, pero la caracterización (tipo) de las mismas se obtiene mediante análisis de difracción de Rayos X. El color, la textura, la litología, no es una guía para la determinación de zeolita presente en una roca, esto se consigue solamente mediante las pruebas anteriormente descritas.

Todas las rocas existentes en el área están zeolitizadas, en diferentes grados de concentración del mineral. En el área de estudios detallada se ha descubierto las especies mineralógicas de: clinoptilolita-heulandita, mordenita, laumontita y estilbita.

Con las pruebas realizadas se demuestra que las zeolitas presentes en las rocas son totalmente diferentes y no hay dos iguales, tanto en composición como en contenido; es decir que de un lugar a otro varían sus características.



Los estratos más ricos en minerales zeolíticos se sometieron a estudios petrográficos, de DRX, y determinación de valores de intercambio catiónico (CIC), los cuales concluyeron que todos los valores son semejantes o están cercanos a las zeolitas conocidas como del tipo tecnológico B.

En las lutitas y las tobas de grano fino es donde ocurren preferentemente las zeolitas del tipo clinoptilolita-mordenita con contenidos que fluctúan entre el 70 y el 98 %, acompañadas de cuarzo, feldespatos, smectita (saponita) y montmorillonita en pequeñas cantidades.



En los aglomerados también ocurren cantidades menores de zeolitas del tipo clinoptilolita y laumontita, pero generalmente tienen un predominio de cuarzo, Feldespato, smectita (saponita), calcita y montmorillonita.

La génesis del proceso de zeolitización se vincula con un proceso de devitrificación, asociado principalmente al ambiente de depositación de las rocas volcano-sedimentarias del Cretácico y Terciario que han sufrido procesos de zeolitización de capas específicas por percolación meteórica o hidrotermal y subsecuentemente por metamorfismo de bajo

grado. Por este motivo su distribución es variable existiendo zonas más ricas en términos de cristalización.

Las reservas probables evaluadas son del orden de 1'833.737 toneladas de rocas que fluctúan entre el 50 y 75 % de contenido de zeolita en las mismas.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar el estudio a detalle de los depósitos de menor contenido zeolítico que varía de un 19% hasta un 50% en los aglomerados, con el fin de aprovecharlo como materiales de construcción.
- Profundizar el estudio de la disposición de los estratos mediante perforaciones en sitios claves para conocer con exactitud hasta donde se extienden los estratos zeolitizados y poder obtener reservas probadas del mineral en estudio.
- Continuar con la prospección sistemática regional de la Cordillera Chongón Colonche preferentemente hacia la parte norte de Manabí.
- Realizar estudios profundos de aplicación de las zeolitas existentes en el Campus Politécnico.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Clasificación química de algunas zeolitas

Zeolitas	Formula Química	Volumen de poro*
<b>Grupo de las Analcimas</b>		
Analcimas	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})16\text{H}_2\text{O}$	0,18
Wairakita	$\text{Ca}_8(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})16\text{H}_2\text{O}$	0,18
Leucita	$\text{K}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})$	0
<b>Grupo de las Natrolitas</b>		
Natrolita	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80})16\text{H}_2\text{O}$	0,21
Edingtonita	$\text{Ba}_2(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20})6\text{H}_2\text{O}$	0,35
Thomsonita	$\text{Na}_4\text{Ca}_3(\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{50})24\text{H}_2\text{O}$	0,32
<b>Grupo de las Phillipsitas</b>		
Phillipsita	$(\text{K}, \text{Na})_5(\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32})10\text{H}_2\text{O}$	0,3
Garronita	$\text{NaCa}_{2,5}(\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32})14\text{H}_2\text{O}$	0,41
Gismondina	$\text{Ca}_4(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{32})16\text{H}_2\text{O}$	0,47
<b>Grupo de las Heulanditas</b>		
Heulandita	$\text{Ca}_4(\text{Al}_3\text{Si}_{28}\text{O}_{72})24\text{H}_2\text{O}$	0,35
Clinoptilolita	$\text{Na}_6(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72})24\text{H}_2\text{O}$	0,34
Estilbita	$\text{Na}_2\text{Ca}_4(\text{Al}_{10}\text{Si}_{26}\text{O}_{72})32\text{H}_2\text{O}$	0,38
<b>Grupo de las Mordenitas</b>		
Mordenita	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})24\text{H}_2\text{O}$	0,26
Ferrierita	$\text{Na}_{1,5}\text{Mg}_2(\text{Al}_{5,5}\text{Si}_{30,5}\text{O}_{72})18\text{H}_2\text{O}$	0,24
Epistilbita	$\text{Ca}_3(\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48})16\text{H}_2\text{O}$	0,34
<b>Grupo de las Chabasitas</b>		
Chabazita	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{24})13\text{H}_2\text{O}$	0,48
Erionita	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K})_{4,5}(\text{Al}, \text{Si}_{27}\text{O}_{72})27\text{H}_2\text{O}$	0,36
Zeolita L	$\text{K}_6\text{Na}_3(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72})21\text{H}_2\text{O}$	0,28
<b>Grupo de las Faujasitas</b>		
Faujasitas (X, Y)	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}(\text{Al}_{59}\text{Si}_{133}\text{O}_{384})26\text{H}_2\text{O}$	0,53
Zeolita A	$\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48})27\text{H}_2\text{O}$	0,47
Zeolita ZK-5	$\text{Na}_{30}(\text{Al}_{30}\text{Si}_{66}\text{O}_{192})98\text{H}_2\text{O}$	0,45
<b>Grupo de las Laumontitas</b>		
Laumontita	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48})16\text{H}_2\text{O}$	0,35
Yugawaralita	$\text{Ca}_4(\text{Al}_9\text{Si}_{20}\text{O}_{56})16\text{H}_2\text{O}$	0,3
<b>Grupo de las Pentasil</b>		
Zeolita ZSM-5	$\text{Na}_n(\text{Al}_n\text{Si}_{96-n}\text{O}_{192})16\text{H}_2\text{O}$	0,32
Zeolita ZSM-11	$\text{Na}_n(\text{Al}_n\text{Si}_{99-n}\text{O}_{192})16\text{H}_2\text{O}$	0,32

\*  $\text{cm}^3$  de agua/ $\text{cm}^3$  de cristal

ANEXO 2

Ocurrencia de Zeolitas Naturales

PAIS	ESPECIE	DEPOSITOS	OCURRENCIAS	POSIBILIDADES
<b>EUROPA</b>				
Bélgica	Laumontita		X	Pobre
Bulgaria	Clinoptilolita	XX	XXX	Excelente
	Mordenita		X	Buena
	Analcima		X	Pobre
	Natrolita		X	Pobre
Checoslovaquia	Clinoptilolita	X	X	Buena
Dinamarca	Clinoptilolita		X	Pobre
Finlandia	Laumontita		X	Pobre
Francia	Clinoptilolita		XXX	Buena
Alemania	Chabazita	XX	X	Buena
Gran Bretaña	Analcima		X	Pobre
	Clinoptilolita		X	Pobre
	Laumontita		X	Pobre
Hungria	Clinoptilolita	XX	X	Excelente
	Mordenita	X		Buena
Italia	Chabazita	XXX	XXX	Excelente
	Phillipsita	XXX	XXX	Excelente
	Analcima		X	Buena
Polonia	Clinoptilolita		XX	Buena
Rumania	Clinoptilolita	XX		Excelente
Rusia	Clinoptilolita	XXX	XXX	Excelente
	Mordenita	XX	XX	Excelente
	Chabazita		X	Buena
	Analcima		X	Buena
	Laumontita		XX	Buena
España	Clinoptilolita		X	Excelente
	Mordenita		X	Buena
Suiza	Clinoptilolita		X	Buena
	Laumontita		X	Pobre

Turquía	Clinoptilolita	XX	XX	Excelente
	Erionita		XX	Excelente
	Chabazita		X	Excelente
	Analcima		XX	Excelente
Yugoslavia	Clinoptilolita	XXX	XX	Excelente
	Analcima	X	X	Buena
	Mordenita	X	X	Buena
	Erionita		X	Buena
<b>AFRICA</b>				
Angola	Clinoptilolita		X	Buena
Botswana	Clinoptilolita		X	Buena
Congo	Analcima	X		Buena
Egipto	Heulandita		X	Buena
Kenya	Phillipsita	X	X	Excelente
	Erionita	X	X	Excelente
África Noreste	Analcima	X	X	Buena
	Mordenita		X	Buena
	Clinoptilolita	X		Excelente
Sud África	Clinoptilolita	XX		Excelente
	Analcima		X	Pobre
Tanzania	Erionita	XX		Excelente
	Chabazita		X	Buena
	Phillipsita	X		Excelente
	Analcima		X	Buena
	Clinoptilolita	X	X	Excelente
<b>ASIA Y AUSTRALIA</b>				
Irán	Clinoptilolita	X		Excelente
Israel	Clinoptilolita		XX	Excelente
Pakistán	Analcima		X	Buena
Australia	Clinoptilolita	XX	XX	Buena
	Analcima		X	Buena
China(PRC)	Clinoptilolita	XX	X	Excelente
Formosa(ROC)	Clinoptilolita	X		Excelente
	Laumontita		X	Pobre
	Analcima		X	Pobre

Japón	Clinoptilolita	XXX	XXX	Excelente
	Mordenita	XXX	XXX	Excelente
	Analcima		XX	Pobre
	Laumontita		XXX	Pobre
Corea	Clinoptilolita	XX	XX	Excelente
Nueva Zelanda	Analcima		XX	Buena
	Clinoptilolita	XX	XX	Buena
	Mordenita	X	XX	Excelente
	Laumontita	X	XX	Buena
	Erionita	X	X	Buena
Oceanía	Laumontita		X	Pobre
	Clinoptilolita		X	Excelente
<b>AMERICA DEL SUR</b>				
Argentina	Clinoptilolita	XX	XX	Excelente
	Analcima		XX	Excelente
	Laumontita		X	Pobre
Chile	Clinoptilolita		X	Excelente
<b>AMERICA DEL NORTE</b>				
Canadá	Laumontita		XX	Pobre
	Clinoptilolita		X	Buena
Cuba	Clinoptilolita	XX	X	Excelente
	Mordenita	X		Excelente
Guatemala	Clinoptilolita	X	X	Excelente
México	Clinoptilolita	XX	XXX	Excelente
	Mordenita	X	X	Excelente
	Analcima		X	Buena
	Erionita	X	X	Excelente
	Phillipsita		X	Buena
Panamá	Clinoptilolita		X	Excelente
<b>ANTARTIDA</b>				
	Laumontita		X	Pobre
	Phillipsita		X	Pobre

## ANEXO 3

### Países con Minería de Zeolitas

PAIS	MINERAL	MINAS
Estados Unidos	Clinoptilolita	12
	Chabazita	4
	Eriónita	2
	Mordenita	1
México	Mordenita/Cino	1
Cuba	Clinoptilolita	1
Japón	Clinoptilolita	5
	Mordenita	5
Corea	Clinoptilolita	2
Bulgaria	Clinoptilolita	1
Checoslovaquia	Clinoptilolita	1
Rumania	Clinoptilolita	1
Hungria	Clinoptilolita	1
	Mordenita	1
Rusia	Clinoptilolita	3
	Mordenita	1
Yugoslavia	Clinoptilolita	2
China (PRC)	Clinoptilolita	2
Sud África	Clinoptilolita	1
Italia	Chabazita/Philipsita	
Alemania	Chabazita/Philipsita	
Turquía	Clinoptilolita	

PREGUNTAS :

- 1) ¿Qué otras técnicas analíticas se utilizan para la caracterización de los zeolitos?
- 2) ¿Se ha hablado de las ventajas de los zeolitos, tiene desventajas problemas?
- 3)



M18-14 20-3

58

54

53

133

157

116

187

138

51

89

28.6

243

253

261.6

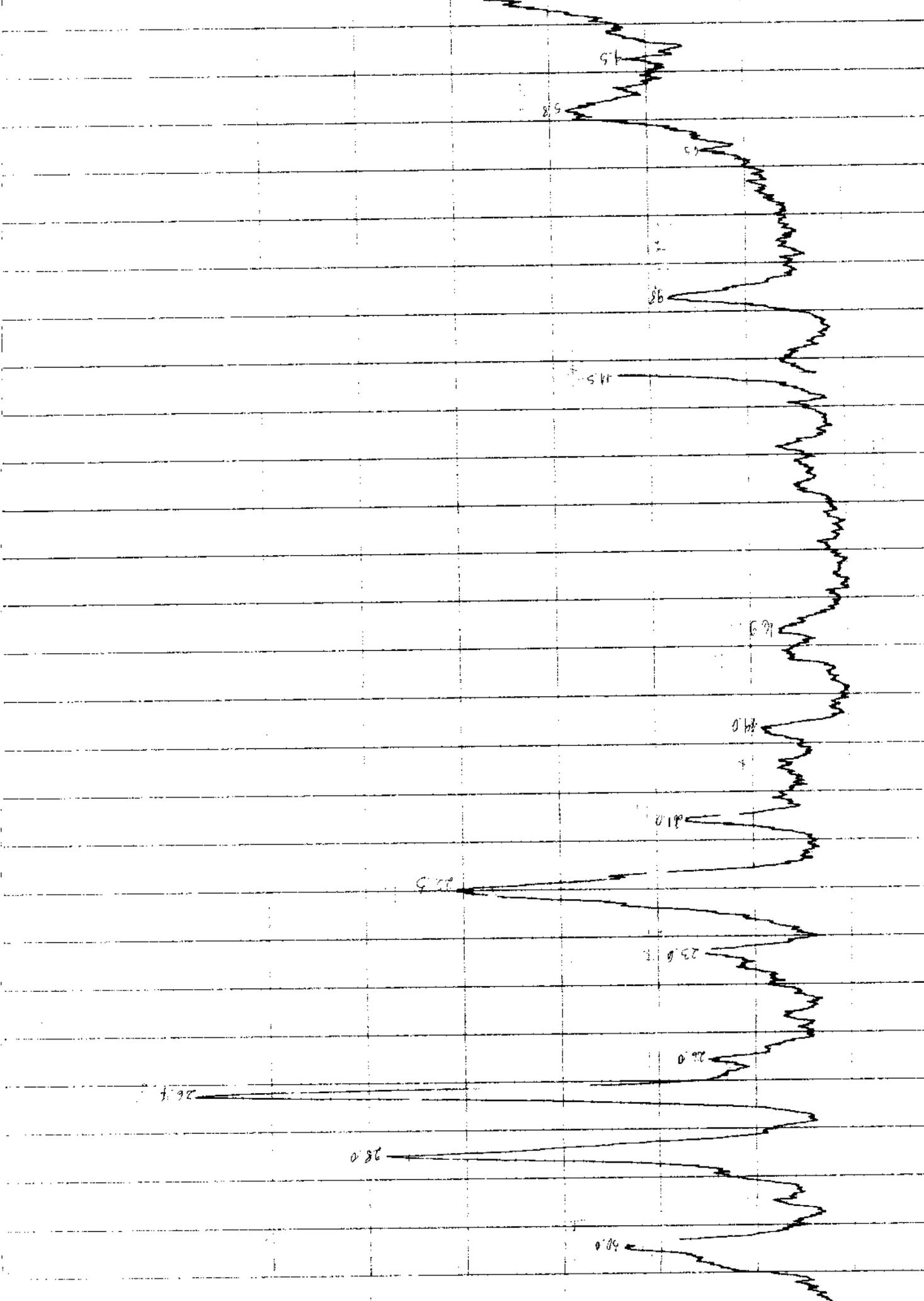
242

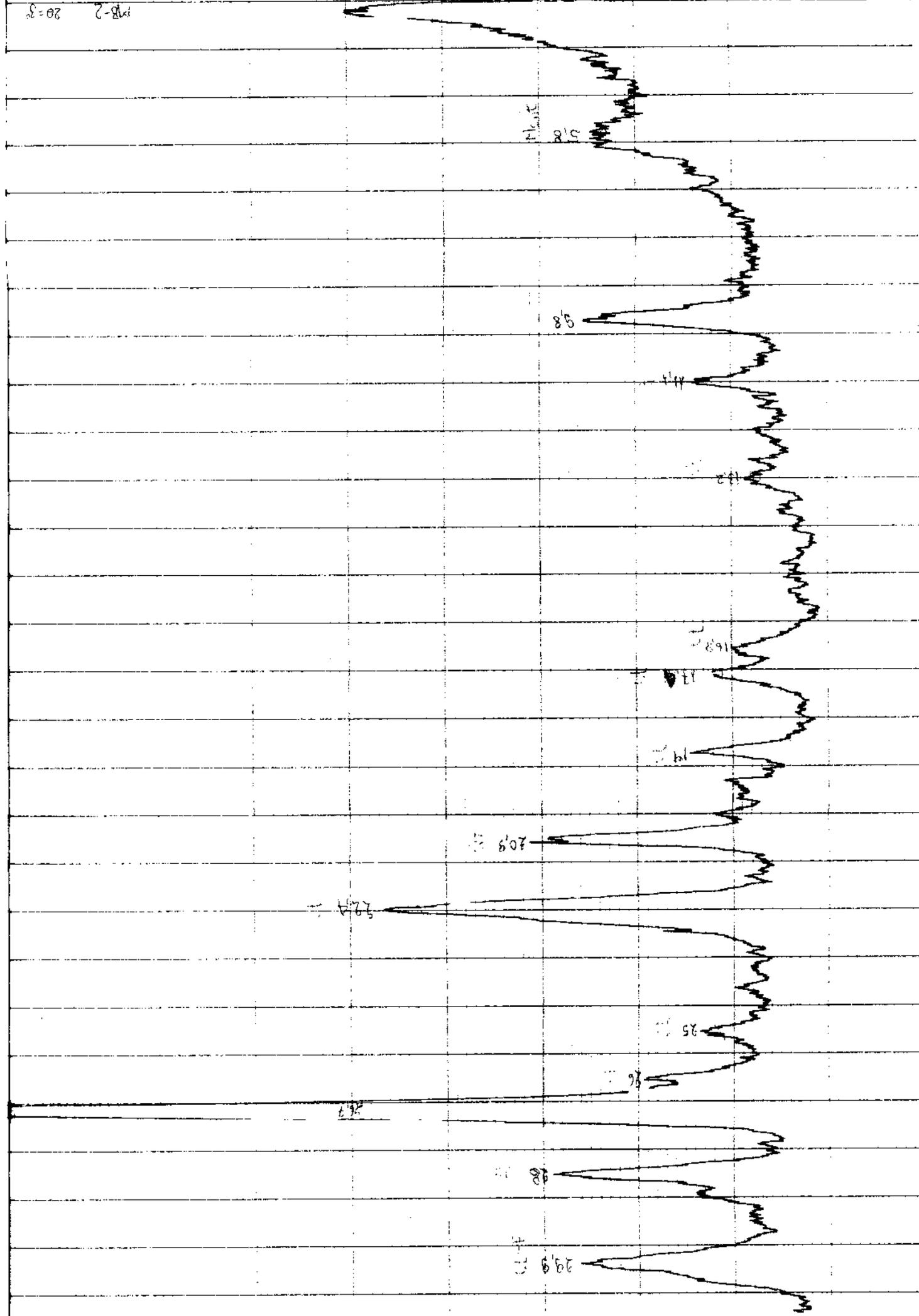
943

295

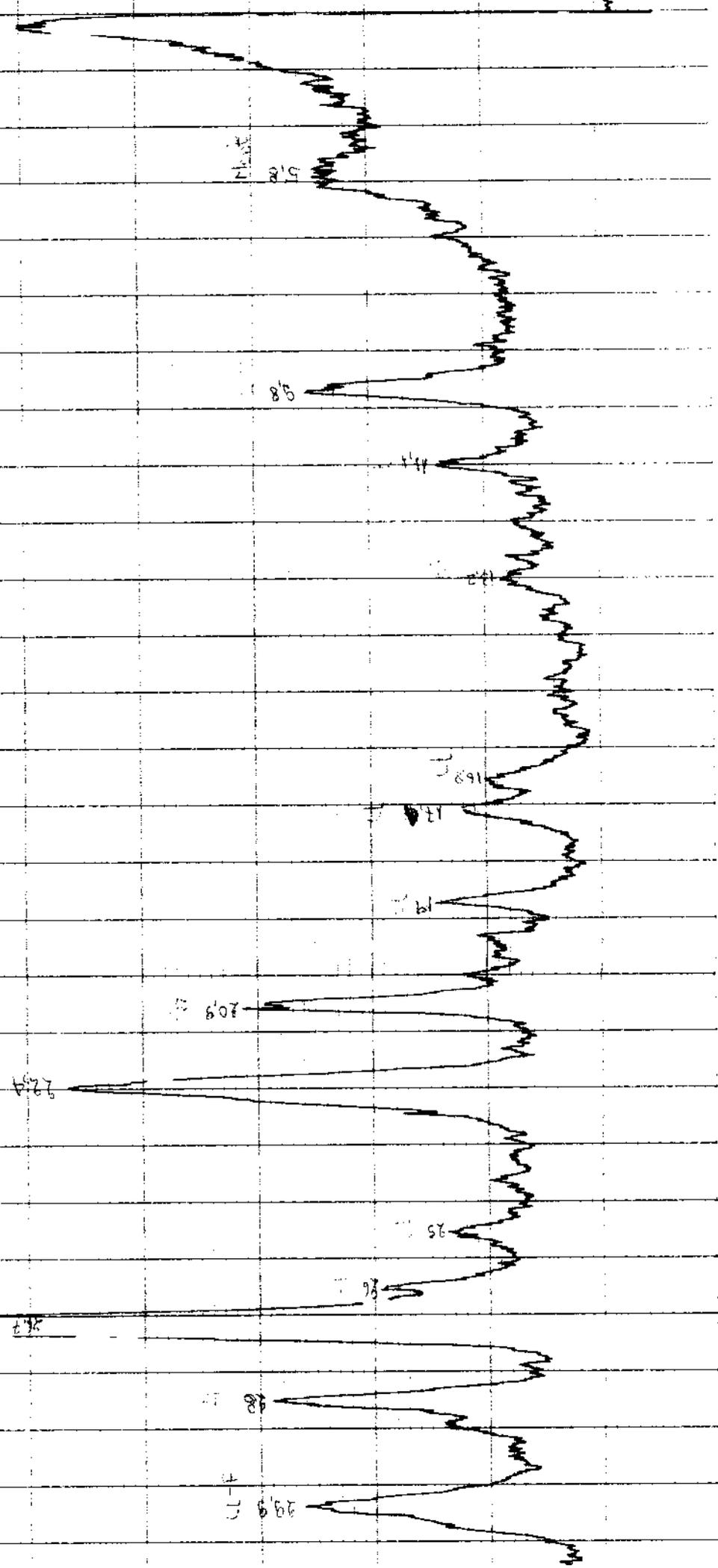
304

113.10-B1 99=3"



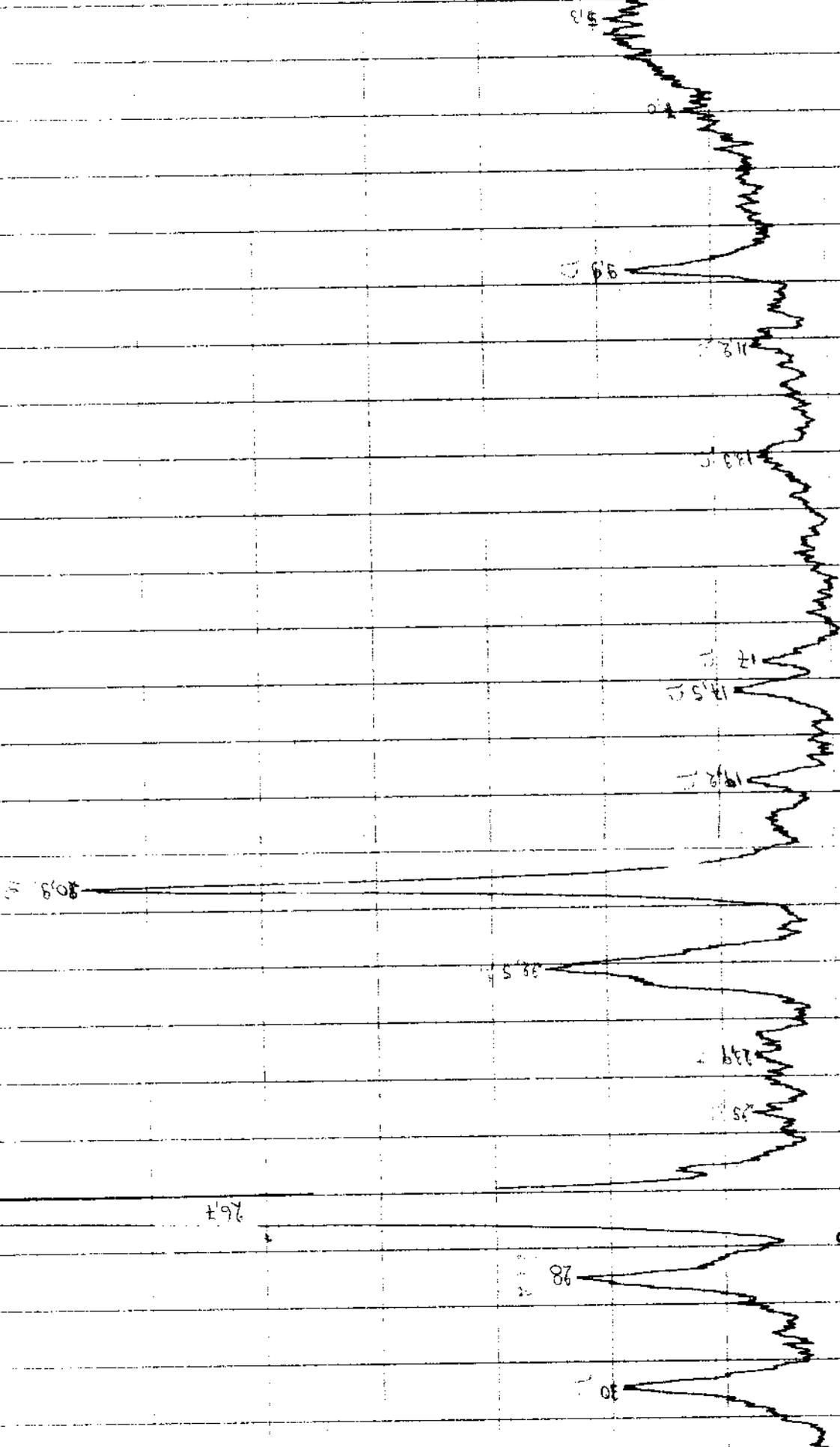


SIEMENS



SIEMENS

144 20 = 3'



M203A 20-3

15.8

16.8  
16.5

17.2

15.5

17.4

19.7  
19.3

21.2

21.9

23.5  
23.5 #

24.3

25.2

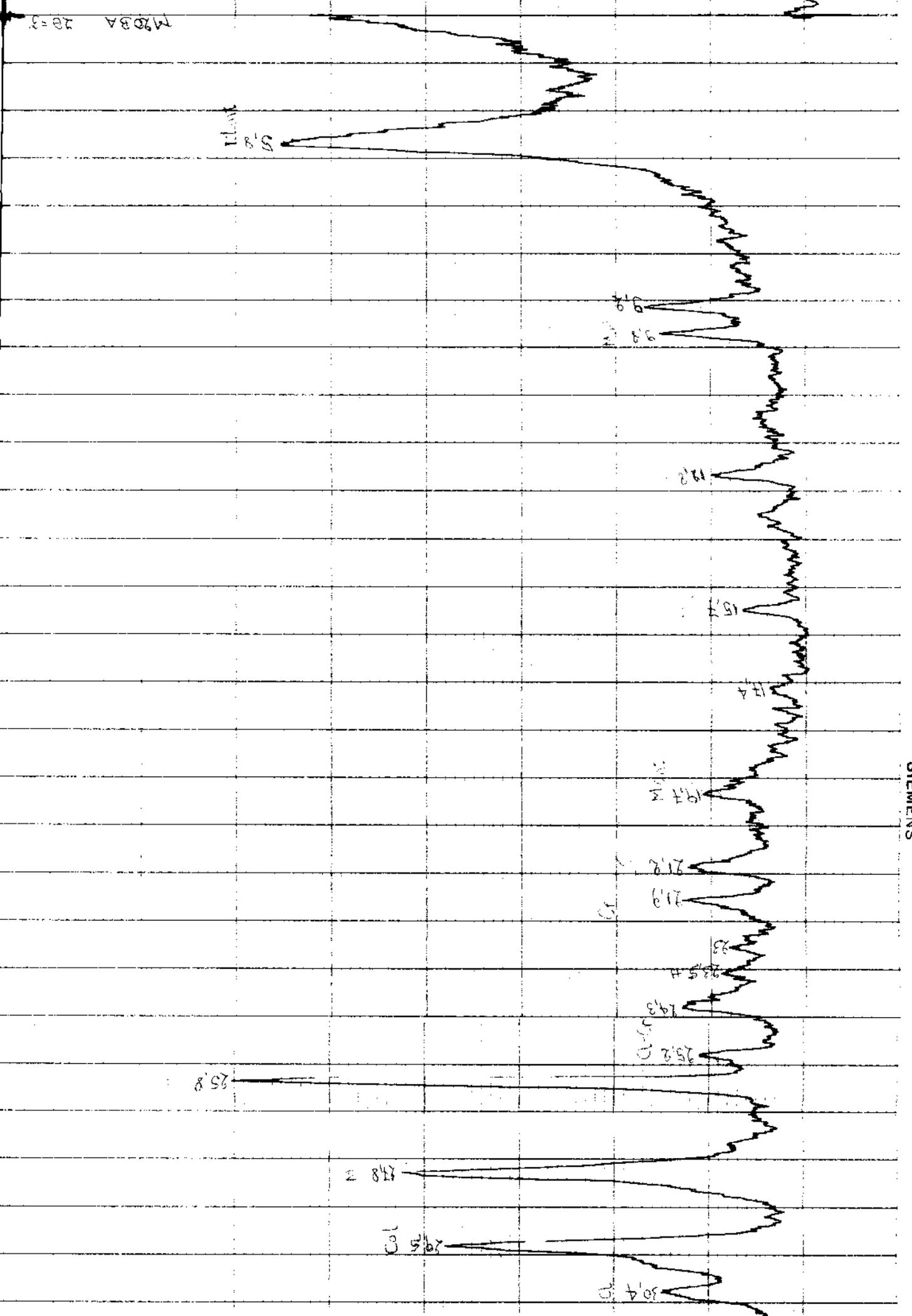
25.8

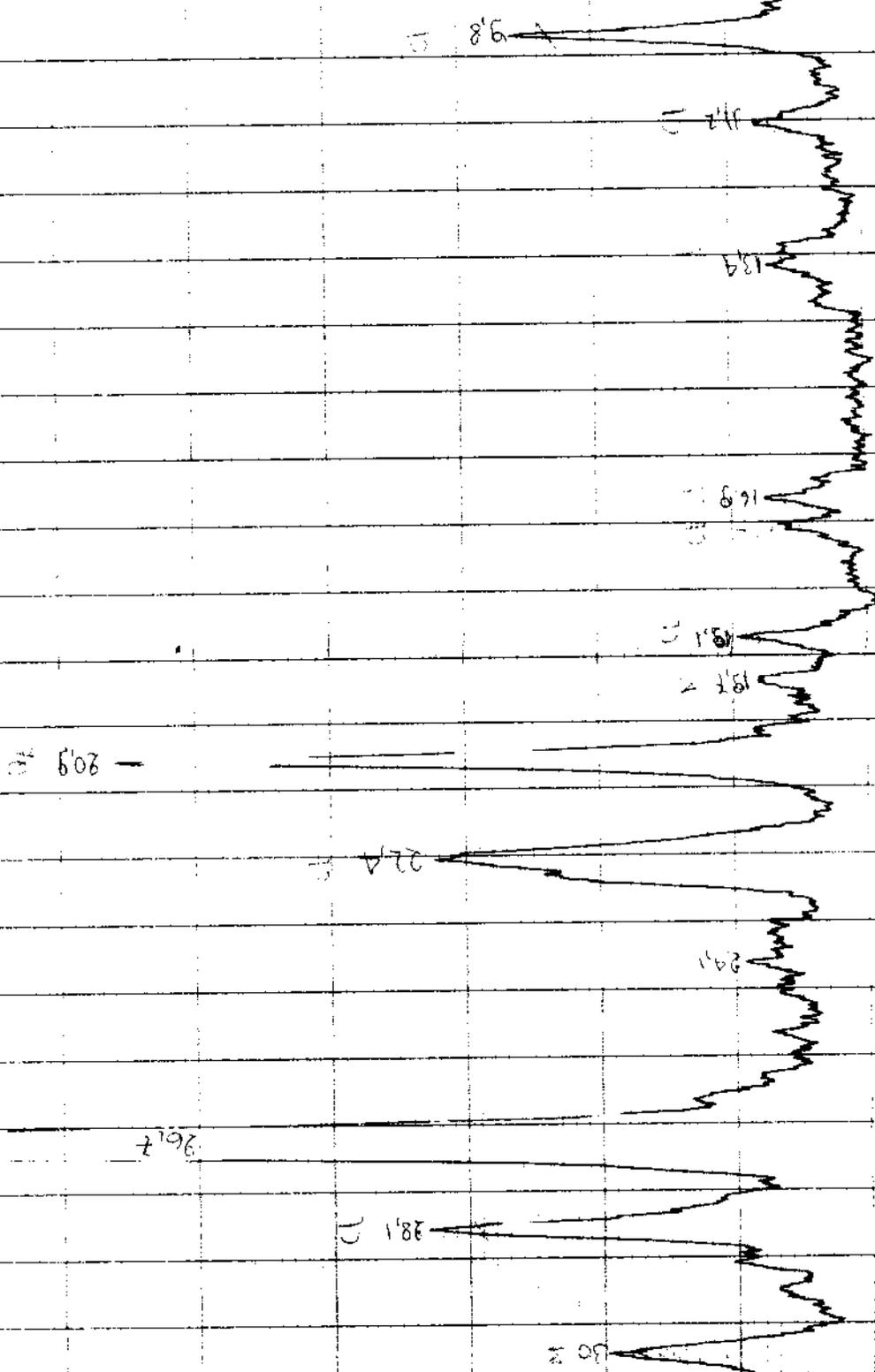
27.8

29.8  
Col

30.4

CLEMENS





MB 7A 20 = 3° ←

5.8 M  
7.5

1.0  
7.8

9.8

11.0

13.0  
13.5  
13.9 M

16.8 D  
17.4

19.0 D

20.7 D

22.8 D

23.5 D

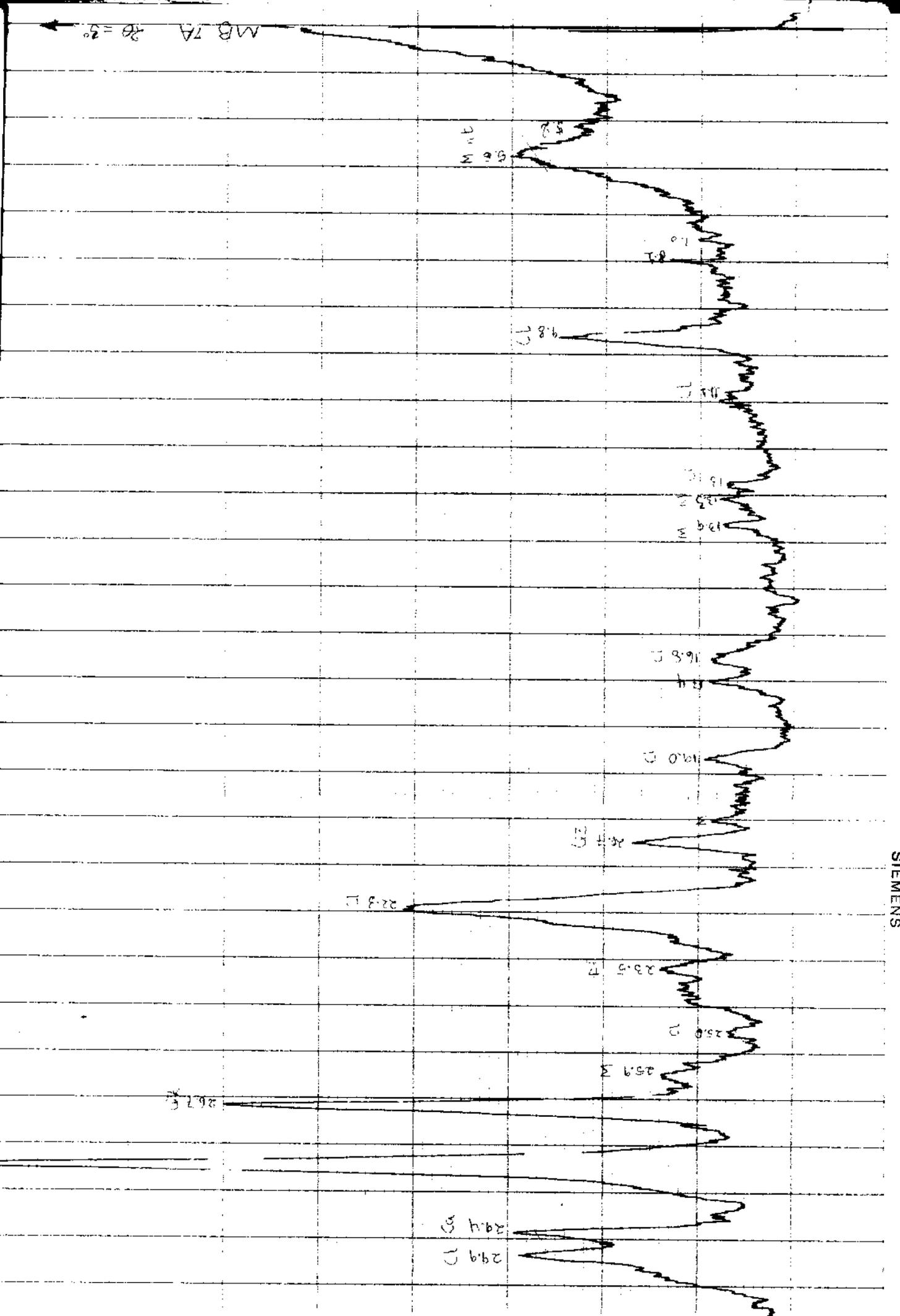
25.0 D

25.9 D

26.7 D

29.4 D

29.9 D



M. 1.2

5.8

9.8

8.5

11.1

12.1

13.2

15.9

16.8

17.3

18.3

19.2

19.6

20.4

21.4

22.3

23.6

24

25

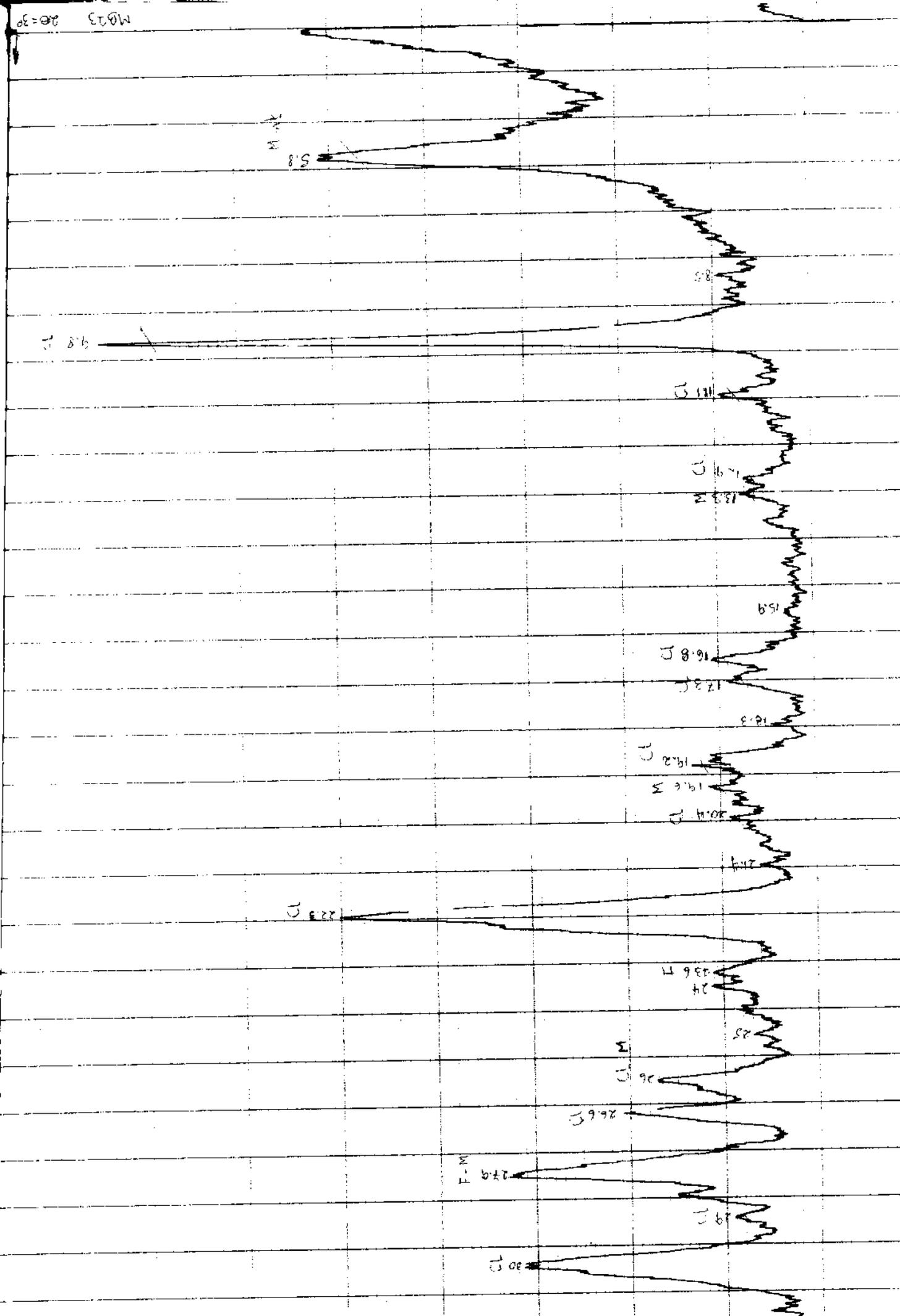
26

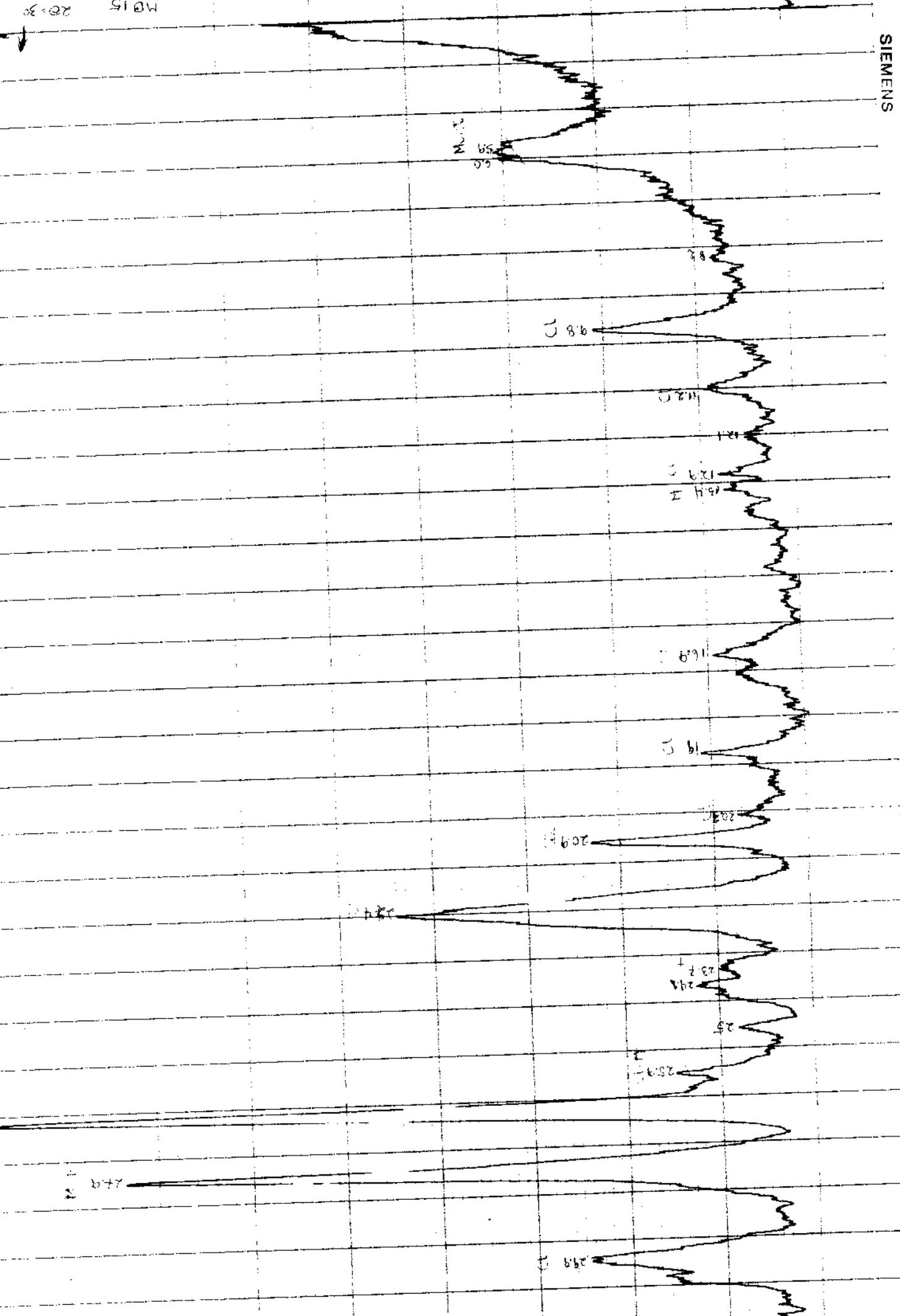
26.6

27.9

28

29





30-00

70W

wh



6.4  
6.0  
6.3

2.11

13.5

16.4

17.0

18.1

19.0

19.6

20.1

22.3

23.6

24.6

25.3

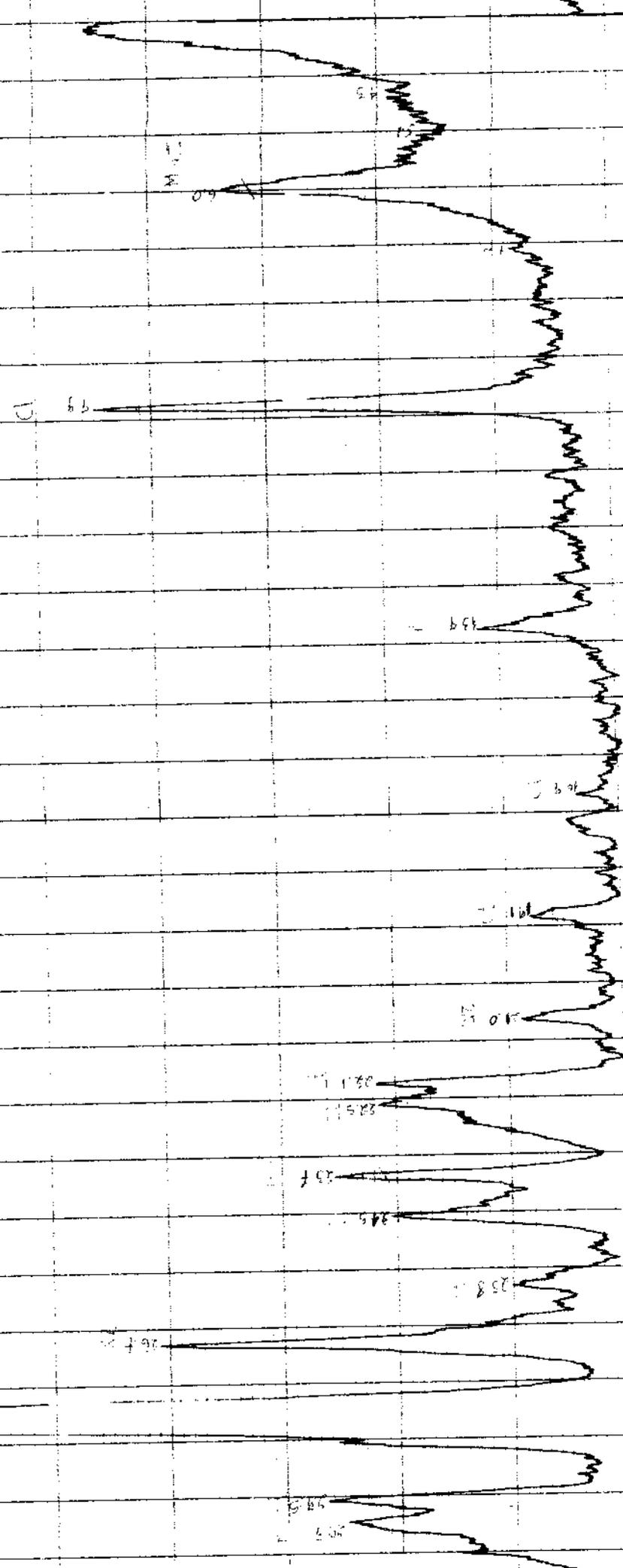
28.0

30.0

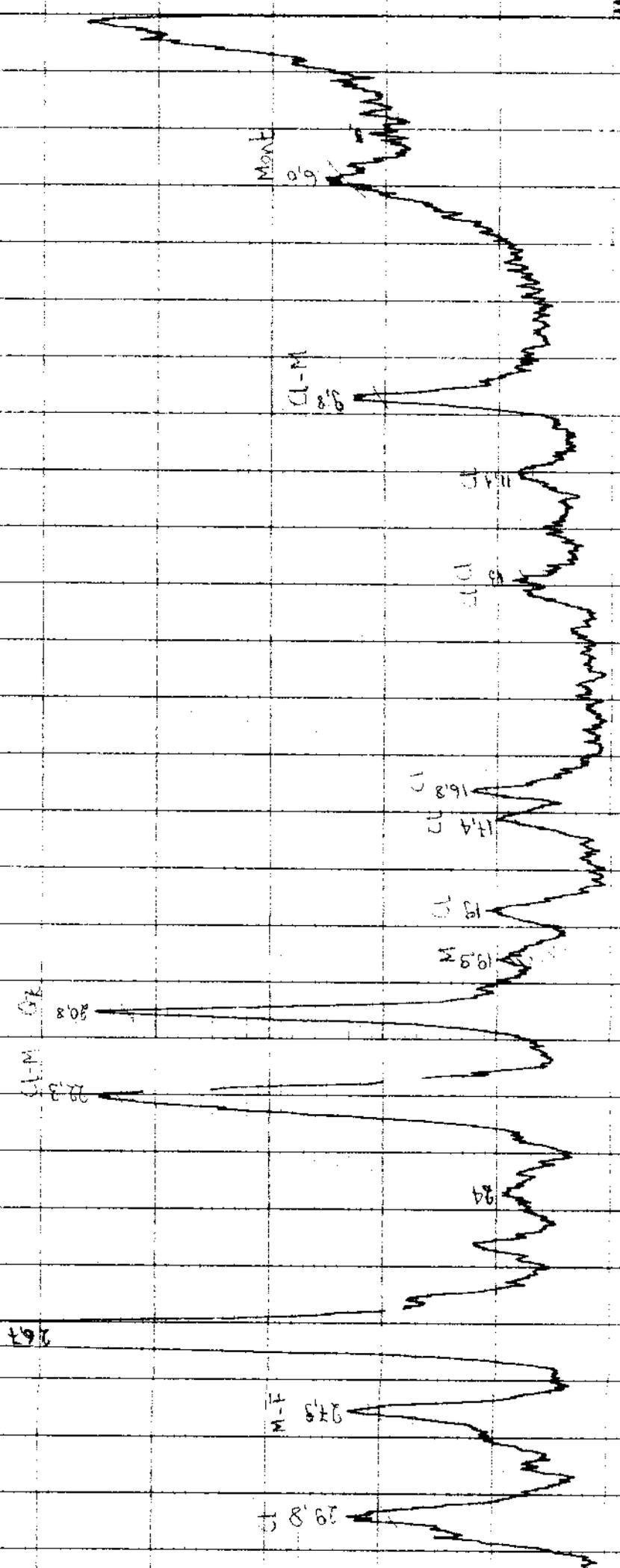
30.9



HB 13 80 = 3° ←



M838 80-3



MB 16 70 = 5

5.9

9.4

6.6

13.0

17.6

19.7

21.7

20.1

23.6

27.3

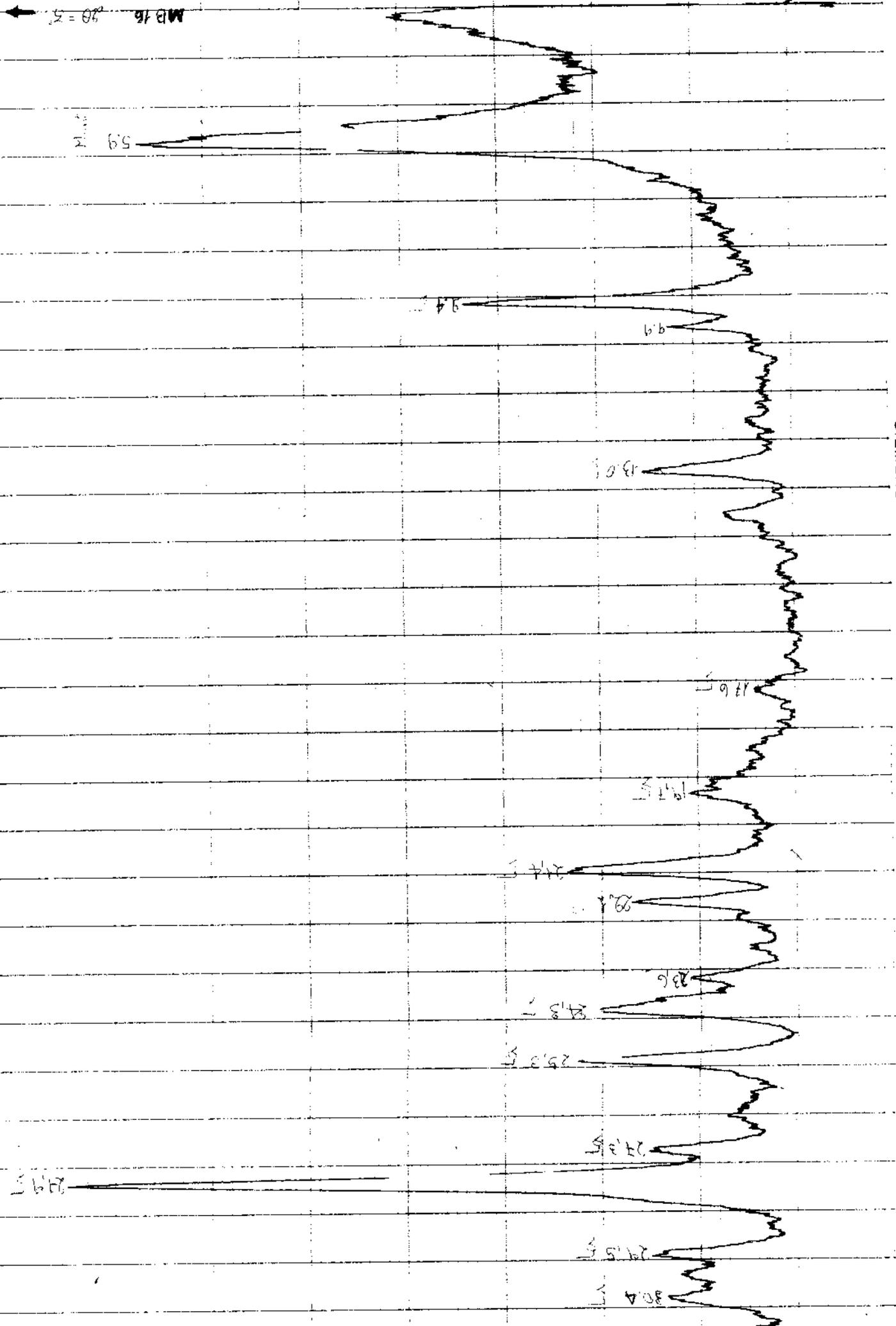
25.3

27.5

29.9

29.5

30.4



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADOANÁLISIS POR DIFRACCIÓN

REFERENCIA MUESTRA: MF10

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Calcita
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles

- 1º Feldespato (Albita)
- 2º Saponita (Saponita)
- 3º Talbita
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:

Madrid, 19 de Noviembre de 2001

Fdo: Laboratorio Centralizado



ROUTES EDWIN WinTools

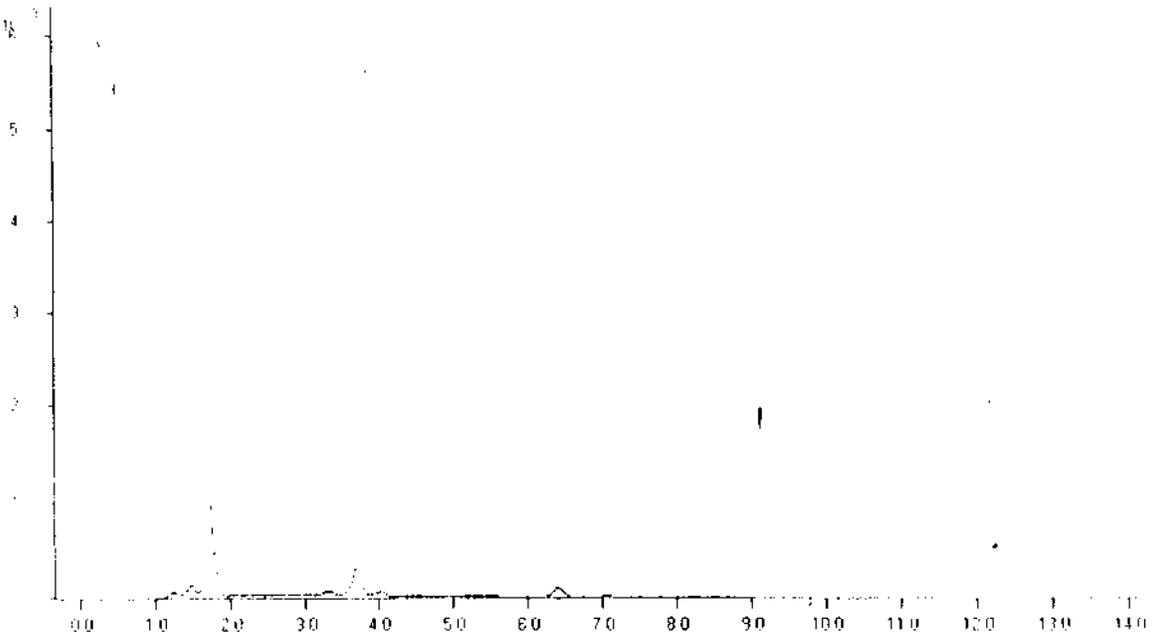
MF10 10.06.2001 (10:11)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TJ:30.0)

\*\*\* Fuzaf results \*\*\*

elem/line	P/R	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	0	8.3	1.00970	1.02483	1.23	5.69	+- 2.46 *
Cl K-ser	0	97.6	1.01251	1.00592	11.42	53.02	+- 8.83 *
F K-ser	0	5.0	1.02402	1.05274	0.51	2.36	+- 1.99
S K-ser	0	40.0	1.02595	1.02463	4.02	18.66	+- 4.71
Fe K-ser	0	70.1	1.03579	1.04611	3.27	15.20	+- 6.43
Ca K-ser	0	6.7	1.00665	1.01507	1.09	5.07	+- 3.30 *
standardless				21.54	100.00	[2s]	



PHILIPS Analytical

PC APD, Diffraction Software

data file name: MF10.RD 15-Nov-11 10:50  
 diffractometer: FW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength(λ,α2): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: MF10.D1 15-Nov-11 10:50  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/Imax (%)	significance
1	15.4788	5.705	0.800	48	1	4.54	2.03
2	9.0828	9.730	0.200	62	2	5.95	1.89
3	6.7452	13.115	0.960	21	3	2.02	1.79
4	4.5176	19.635	0.280	30	7	2.88	1.81
5	4.2722	20.775	0.140	199	10	18.94	5.17
6	3.9940	22.240	0.240	66	11	6.25	2.15
7	3.3527	26.565	0.140	1050	15	100.00	13.45
8	3.1975	27.880	0.200	74	15	7.05	2.37
9	3.0416	29.340	0.100	384	14	36.60	4.86
10	2.8049	31.880	0.200	24	14	2.29	2.02
11	2.5900	34.605	0.640	20	14	1.93	2.00
12	2.4971	35.935	0.120	32	14	3.09	1.81
13	2.4610	36.480	0.120	74	15	7.05	1.96
14	2.2879	39.350	0.140	94	15	8.96	2.29
15	2.2404	40.220	0.240	20	15	1.93	2.51
16	2.1328	42.345	0.240	34	14	3.20	2.52
17	2.0978	43.085	0.200	31	14	2.99	2.46
18	1.9841	45.690	0.240	25	12	2.38	2.54
19	1.9143	47.455	0.240	28	13	2.68	3.17
20	1.8759	48.490	0.240	32	14	3.09	3.52
21	1.8220	50.020	0.120	81	14	7.72	2.28
22	1.6741	54.790	0.240	18	15	1.68	2.35
23	1.6051	57.360	0.240	11	15	1.04	2.02

Handwritten notes or bleed-through from the reverse side of the page, including the word "Lecture" and other illegible text.

470  
2000  
700  
500  
500  
400  
300  
200

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:

MF22

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Estibita
- 2º Smectita (Saponita)
- 3º Calcita (Trazas)
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:

Madrid, 19 de Noviembre de 2001

Fdo: Laboratorio Centralizado



MEP and Electrical Engineering - Project: [Project Name] - Location: [Location]

data file name:	MEP_EE	10/10/2018	10:00:00
diffraction order:	EW1710		
x-ray tube:	Co K $\alpha$	401.7	1.5406
wavelength (nm):	1.54060	1.54060	
monochromator:	YES		
divergence (deg):	AMP		
incident beam diameter:	10 mm		
sample distance:	100 mm		
step width (mm):	0.100		
data file name:	MEP_EE	10/10/2018	10:00:00
sample diameter:	1.5406	1.5406	
range (mm):	0.00	0.00	
minimum signal level:	0.75		
maximum signal:	10000		

h	k	l	h <sup>2</sup> +k <sup>2</sup> +l <sup>2</sup>	hkl	Intensity	hkl
0	0	0	0	000	100	000
1	0	0	1	100	3	100
0	1	0	1	010	3	010
0	0	1	1	001	7	001
1	1	0	2	110	11	110
1	0	1	2	101	11	101
0	1	1	2	011	15	011
1	1	1	3	111	14	111
2	0	0	4	200	17	200
0	2	0	4	020	18	020
0	0	2	4	002	18	002
2	2	0	8	220	18	220
2	0	2	8	202	19	202
0	2	2	8	022	20	022
2	2	2	12	222	21	222
3	0	0	9	300	24	300
0	3	0	9	030	24	030
0	0	3	9	003	24	003
3	3	0	18	330	24	330
3	0	3	18	303	24	303
0	3	3	18	033	24	033
3	3	3	27	333	24	333

Calculated  
 Full width  
 Estimated

Calculated (Trans)

RONTEC EDWIN WinTools

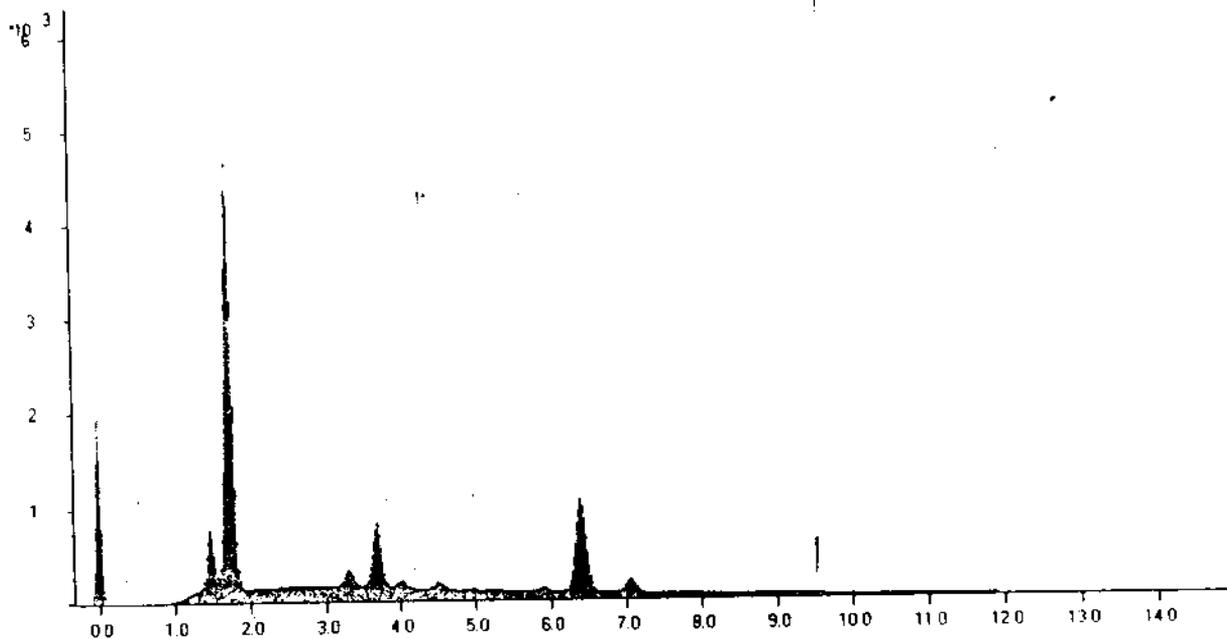
MF22 10.06.2001 (09:40)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUzaf results \*\*\*

elem/line	F/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 19.0	1.01027	1.01907	2.93	8.42	+ - 1.65	*
Si K-ser	@ 123.0	1.01325	1.00550	16.82	48.29	+ - 5.63	*
K K-alpha	@ 6.7	1.02545	1.04785	0.72	2.08	+ - 0.89	
Ca K-alpha	@ 29.1	1.02750	1.04531	3.02	8.66	+ - 1.46	
Ti K-alpha	@ 3.7	1.03129	1.09243	0.38	1.10	+ - 0.92	
Mn K-alpha	@ 3.4	1.03637	1.07350	0.37	1.07	+ - 1.07	<
Fe K-alpha	@ 90.9	1.03792	1.03783	10.50	30.15	+ - 4.68	
Mg K-ser	@ 0.4	1.00705	1.01234	0.08	0.22	+ - 0.81	<
standardless				34.83	100.00	[2s]	



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA: MF24

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º Calceda
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Smeenta (Saponita)
- 2º Estilbita
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:

Madrid, 19 de Noviembre de 2003  
El do. Laboratorio Centralizado

CENTRALIZADO

RONTEC EDWIN WinTools

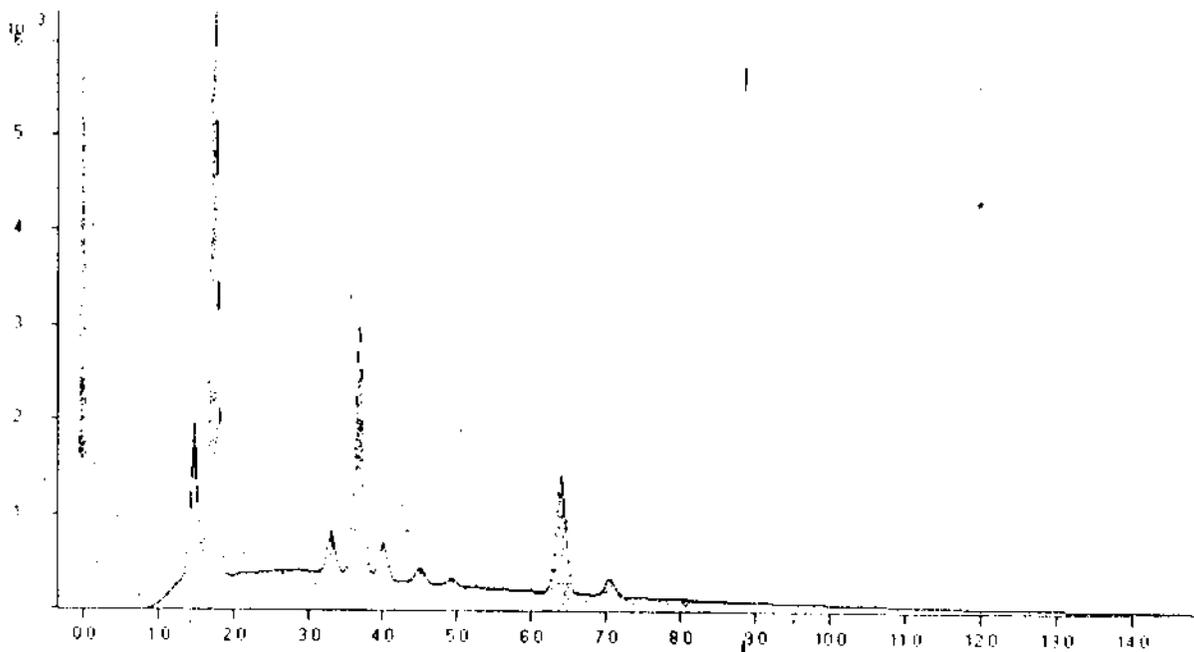
MF24 10.06.2001 (12:55)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* Puzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid. h.
Al K-ser	@ 19.8	1.01011	1.01835	3.04	11.66	+ - 1.62
Si K-ser	@ 81.8	1.01305	1.00670	11.08	42.52	+ - 4.11
K K-alpha	@ 7.3	1.02506	1.05917	0.77	2.97	+ - 0.76
Ca K-alpha	@ 48.1	1.02707	1.03152	5.01	19.22	+ - 1.97
Ti K-alpha	@ 4.2	1.03080	1.06104	0.44	1.70	+ - 0.79
Fe K-alpha	@ 50.1	1.03733	1.04077	5.71	21.93	+ - 3.04
standardless				26.05	100.00	[2s]



PHILIPS Analytical

PC-APD, Diffraction Software

data file name: MF24.RD 16-nov-11 10:54  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength(λ1,λ2): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: MF24.DI 16-nov-11 10:54  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/Imax (%)	significance
1	15.4652	5.710	0.320	121	3	29.65	2.13
2	9.1344	9.675	0.160	108	3	26.51	1.94
3	6.5901	13.425	0.960	20	3	4.96	1.91
4	5.1306	17.270	0.280	32	3	7.96	2.37
5	4.6806	18.945	0.240	29	5	7.15	2.11
6	4.2682	20.795	0.160	66	7	16.08	2.55
7	3.9922	22.250	0.280	112	8	27.54	2.92
8	3.7110	23.960	0.200	45	10	11.00	1.92
9	3.4334	25.930	0.120	46	12	11.33	1.82
10	3.3484	26.600	0.140	408	12	100.00	7.98
11	3.1970	27.885	0.100	253	13	61.96	2.05
12	3.0376	29.380	0.160	317	14	77.65	10.63
13	2.9918	29.840	0.160	86	15	21.20	2.02
14	2.8061	31.865	0.140	45	15	11.00	2.29
15	2.7482	32.555	0.240	16	15	3.92	1.63
16	2.4974	35.930	0.120	35	16	8.53	1.80
17	2.4623	36.460	0.240	35	16	8.53	2.53
18	2.2846	39.410	0.240	58	17	14.16	4.01
19	2.2433	40.165	0.280	12	17	3.00	2.09
20	2.1306	42.390	0.240	23	17	5.65	2.58
21	2.0964	43.115	0.200	32	17	7.96	2.23
22	1.9792	45.810	0.480	10	16	2.36	1.78
23	1.9134	47.480	0.200	26	16	6.37	2.08
24	1.8757	48.495	0.240	27	16	6.63	3.51
25	1.8205	50.065	0.280	34	18	8.24	4.57
26	1.6659	55.085	0.960	5	18	1.30	1.77
27	1.6024	57.465	0.480	8	16	1.92	1.78

Cuano  
 Cel Cito  
 Fed dupets

Separate  
 Exhibits

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:

MJMF33

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º Calcita
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Estilbita
- 2º Smeectita (Saponita)
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:

Madrid, 19 de Noviembre de 2001  
- Fdo.: Laboratorio Centralizado



ROTEC EDWIN WinTools

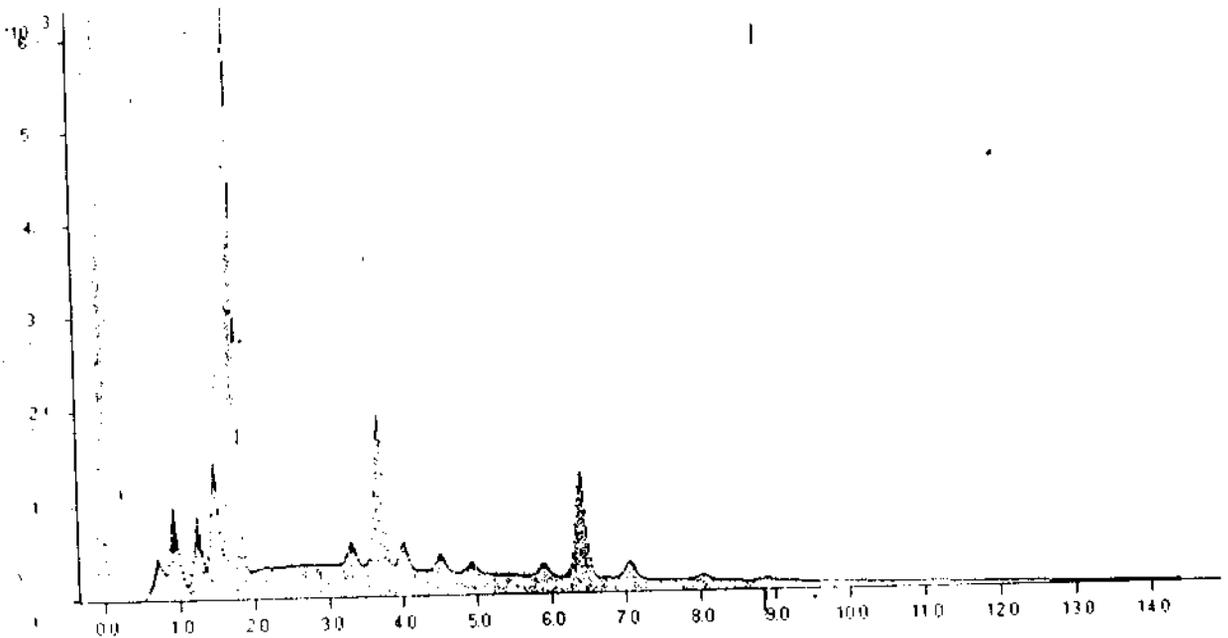
version: 3.1 eng

MJMF33 10.06.2001 (13:10)

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 19.3	1.00999	1.01596	2.91	9.93	+ - 1.50	
Si K-ser	@ 89.9	1.01288	1.00567	11.94	40.72	+ - 4.12	
K K-alpha	@ 5.0	1.02474	1.05029	0.52	1.78	+ - 0.75	
Ca K-alpha	@ 35.2	1.02673	1.03739	3.57	12.18	+ - 1.43	
Ti K-alpha	@ 5.5	1.03041	1.07165	0.57	1.93	+ - 0.63	
Mn K-alpha	@ 5.8	1.03535	1.06707	0.63	2.14	+ - 1.13	
Fe K-alpha	@ 53.3	1.03686	1.04727	5.91	20.18	+ - 2.92	
Cu K-alpha	@ 4.3	1.04107	1.08029	0.55	1.89	+ - 1.76	<
Mg K-ser	@ 16.3	1.00685	1.01091	2.71	9.25	+ - 1.91	*
standardless				29.31	100.00	[28]	



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:	MJMF35
---------------------	--------

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Smectita (Saponita)
- 2º Estilbita (Indicios)
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS  
Laboratorio Centralizado  
DE MADRID

LABORATORIO  
CENTRALIZADO

Ríos Rosas. 21  
28003 MADRID

ROTEC EDWIN WinTools

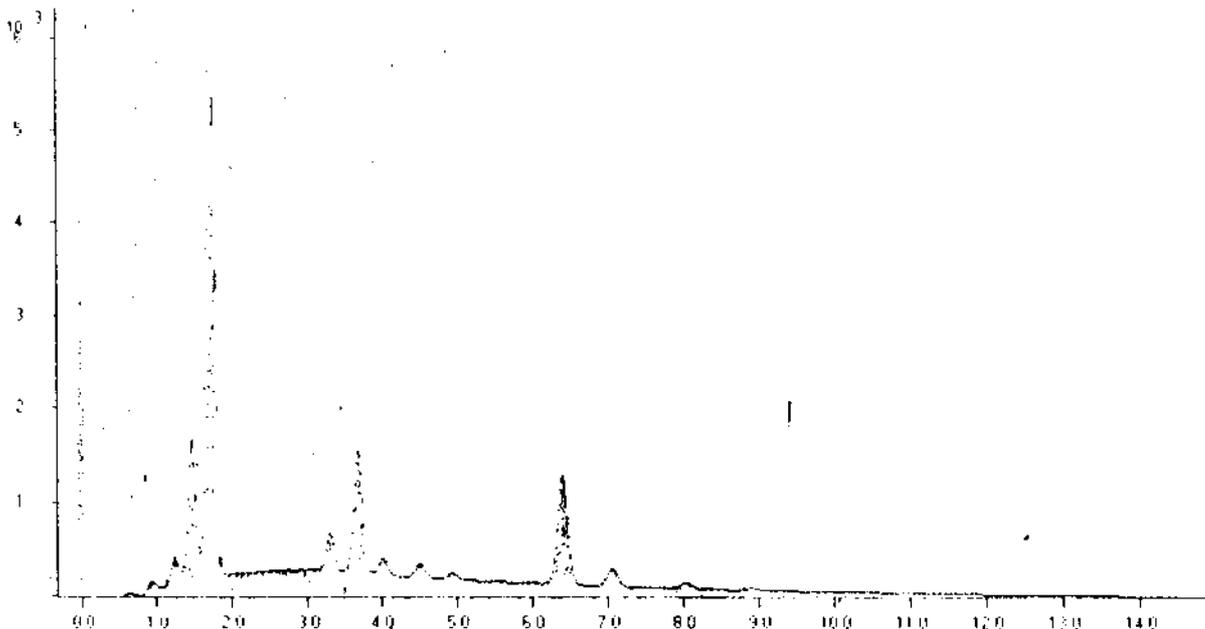
MJMF35 10.06.2001 (10:01)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 25.3	1.00994	1.01910	3.80	11.18	+ - 1.63	*
Si K-ser	@124.0	1.01282	1.00520	16.41	48.33	+ - 5.04	*
K K-alpha	@ 9.3	1.02462	1.04304	0.98	2.88	+ - 0.78	
Ca K-alpha	@ 32.7	1.02660	1.03577	3.30	9.73	+ - 1.27	
Ti K-alpha	@ 5.0	1.03027	1.06963	0.52	1.52	+ - 0.71	
Fe K-alpha	@ 64.5	1.03669	1.04927	7.11	20.94	+ - 2.91	
Cu K-alpha	@ 5.8	1.04087	1.08162	0.74	2.17	+ - 1.64	
Mg K-ser	@ 6.7	1.00682	1.01322	1.10	3.25	+ - 1.06	*
standardless				33.96	100.00	[2s]	



PHIREF: Analytical

PC-APP, Diffraction Software

data file name: MIMF35.RD 16-nov-81 10:00  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40KV 50mA  
 wavelength (Å): 1.54060 1.54136  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range theta: 4.000 60.500  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: MIMF35.PE 16-nov-81 10:00  
 range d value: 1.5406 - 23.0720  
 range h p width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d value (Å)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/line (%)	significance
1	15.8335	5.685	0.980	50	1	10.00	3.22
2	9.19632	9.705	0.320	71	2	25.30	3.71
3	6.5248	13.155	0.380	32	4	7.92	3.75
4	5.7699	15.810	0.180	53	4	19.11	3.25
5	4.8842	18.930	0.480	29	7	10.46	2.31
6	4.2702	20.785	0.160	55	10	19.63	2.24
7	3.9898	22.265	0.240	166	12	59.67	2.27
8	3.7208	23.865	0.640	32	16	11.65	2.67
9	3.5302	25.545	0.120	240	17	36.11	3.11
10	3.4063	27.300	0.120	279	18	100.00	3.11
11	3.2962	29.795	0.160	102	20	36.13	3.11
12	3.1974	31.850	0.200	52	20	18.17	2.25
13	3.1491	32.545	0.240	31	21	7.19	2.22
14	3.1583	35.375	0.480	29	20	10.46	2.12
15	3.1426	36.610	0.640	29	20	10.46	1.63
16	3.2851	39.400	0.320	17	19	6.05	1.61
17	3.2324	42.545	0.240	23	13	9.11	1.61
18	3.0832	43.065	0.320	16	13	5.76	1.61
19	3.0833	46.205	1.380	7	17	2.61	1.61
20	1.9277	50.000	0.240	24	13	9.11	2.22
21	1.7526	52.145	0.400	10	20	3.67	1.72

400

5000

7000

9000

5000

4000

2000

3000

100

Vertical text on the right side of the page, possibly a page number or reference.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:

JN001

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Smectita (Saponita)
- 2º Estibita
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:

Madrid: 19 de Noviembre de 2001  
Edo. Laboratorio Centralizado



RONTEC EDWIN WinTools

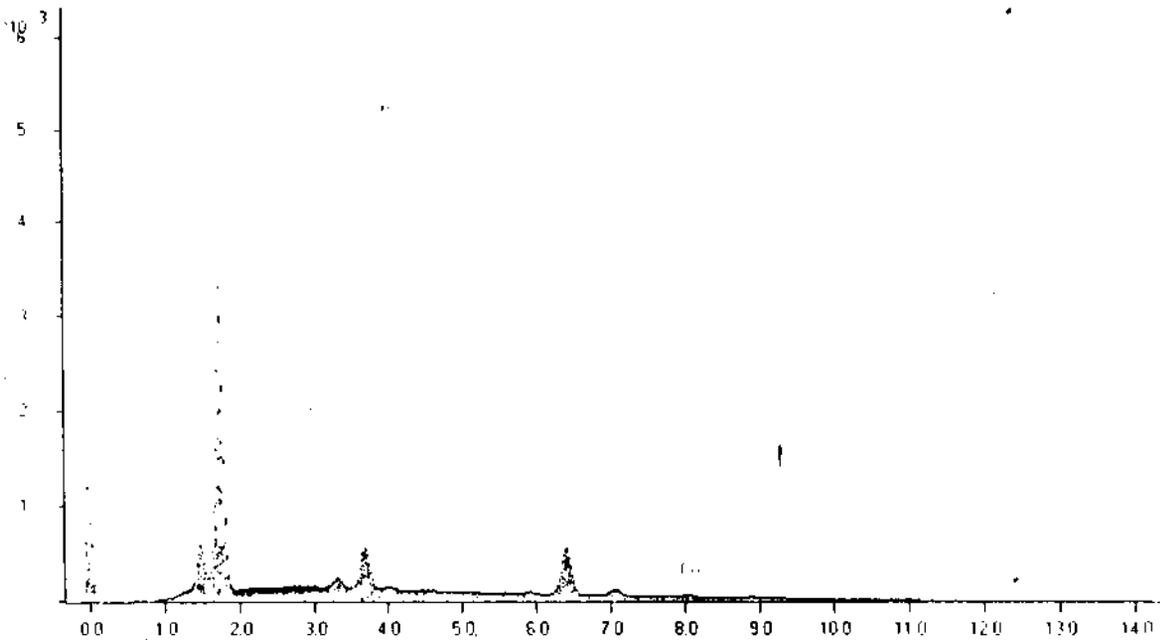
JN001 10.06.2001 (09:50)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUZaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 13.7	1.01005	1.02134	2.00	9.17	+ - 2.16	*
Si K-ser	@ 20.9	1.01297	1.00496	11.64	53.44	+ - 6.59	*
K K-alpha	@ 3.5	1.02490	1.04305	0.37	1.71	+ - 1.08	
Ca K-alpha	@ 18.4	1.02690	1.03877	1.88	8.62	+ - 1.97	
Ti K-alpha	@ 0.7	1.03061	1.08123	0.07	0.32	+ - 0.85	<
Mn K-alpha	@ 1.6	1.03558	1.07614	0.17	0.79	+ - 1.50	<
Fe K-alpha	@ 46.5	1.03710	1.04688	5.20	23.89	+ - 4.71	
Mg K-ser	@ 0.0	1.00689	1.01393	0.01	0.04	+ - 0.35	<
Cu K-alpha	@ 3.4	1.04133	1.07897	0.44	2.02	+ - 3.25	<
standardless				21.79	100.00	[2s]	



PHILIPS Analytical

PC-APD, Diffraction Software

data file name: JN001.RD 5-nov-:1 16:20  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength( $\lambda_1, \lambda_2$ ): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: JN001.DI 5-nov-:1 16:20  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/Imax (%)	significance
1	15.3178	5.785	0.800	48	4	10.69	2.41
2	9.0735	9.740	0.200	88	4	19.85	2.02
3	8.0078	11.040	0.240	31	4	7.04	1.83
4	6.8072	12.995	0.480	23	4	5.18	1.93
5	5.2808	16.775	0.160	45	7	10.08	2.40
6	5.1320	17.265	0.240	30	7	6.79	1.80
7	4.6990	18.870	0.240	23	11	5.18	2.21
8	4.2641	20.815	0.180	77	14	17.39	4.05
9	3.9922	22.250	0.240	144	16	32.34	2.70
10	3.3509	26.580	0.140	445	23	100.00	9.42
11	3.1942	27.910	0.120	159	23	35.66	1.96
12	2.9938	29.820	0.200	86	23	19.43	1.94
13	2.8092	31.830	0.160	45	23	10.08	2.08
14	2.7499	32.535	0.280	20	22	4.55	2.00
15	2.5381	35.335	0.640	25	21	5.62	1.76
16	2.4607	36.485	0.240	40	21	8.91	1.84
17	2.2823	39.450	0.180	32	21	7.30	2.49
18	2.1301	42.400	0.280	23	20	5.18	2.30
19	1.9796	45.800	0.640	11	17	2.45	2.46
20	1.9598	46.290	0.960	10	16	2.30	4.25
21	1.8212	50.045	0.140	42	15	9.49	2.12
22	1.7001	53.885	0.560	7	19	1.64	1.82

45M

400

350

300

250

200

150

100

50

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:	JN2B
---------------------	------

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Estibita
- 2º Smectita (Saponita)  $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2 \cdot nH_2O$
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



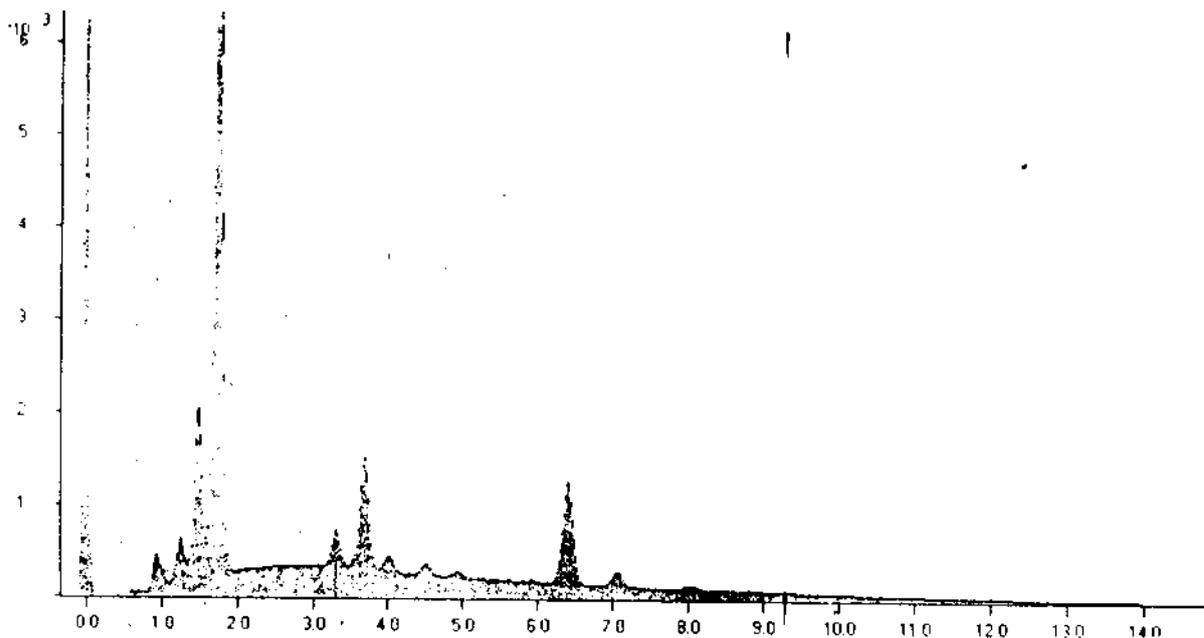
Madrid, 19 de Noviembre de 2001  
Edo.: Laboratorio Centralizado

Esc. Técnica Superior de Ingenieros de Minas  
Laboratorio Centralizado

\*\*\* Puzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 26.0	1.00970	1.02040	3.80	12.08	+ - 1.69	*
Si K-ser	@ 124.5	1.01252	1.00478	16.10	51.18	+ - 5.16	*
K K-alpha	@ 8.0	1.02404	1.03917	0.82	2.62	+ - 0.70	
Ca K-alpha	@ 27.2	1.02597	1.03334	2.69	8.56	+ - 1.11	
Ti K-alpha	@ 3.6	1.02955	1.06560	0.36	1.15	+ - 0.62	
Fe K-alpha	@ 58.4	1.03582	1.05005	5.73	18.22	+ - 2.59	
Cu K-alpha	@ 3.6	1.03990	1.08745	0.45	1.44	+ - 1.28	
Mg K-ser	@ 9.3	1.00665	1.01437	1.50	4.76	+ - 1.17	*

standardless 31.47 100.00 [2s]



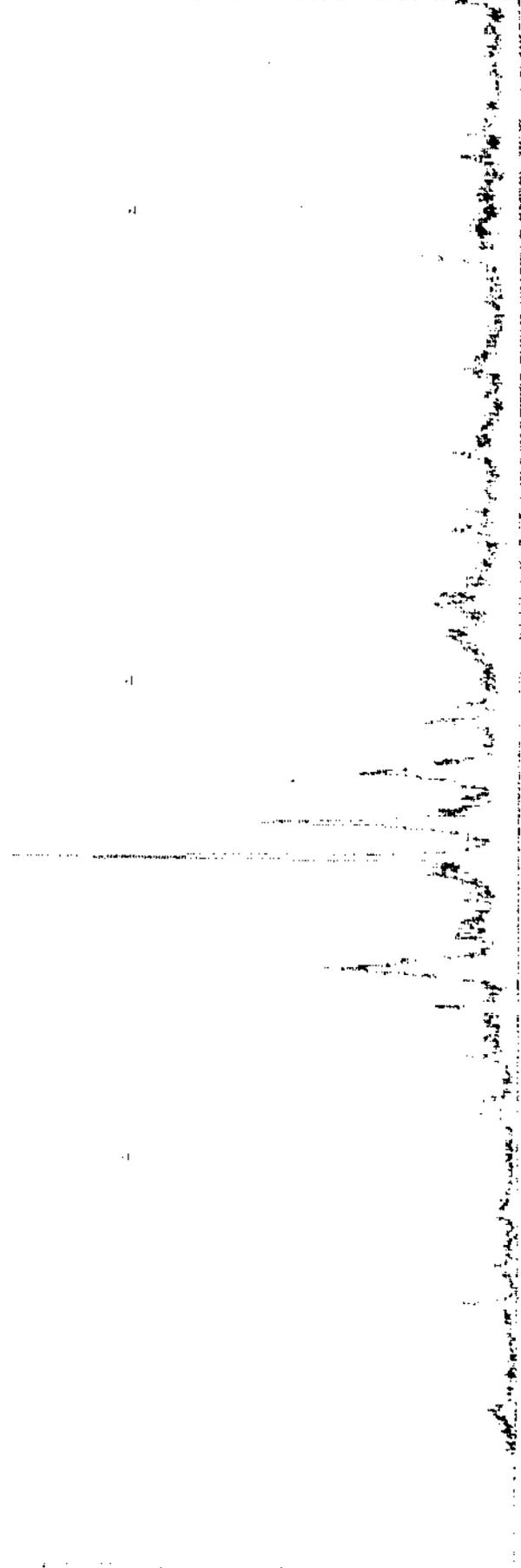
PHILIPS Analytical

PC-APD, Diffraction Software

data file name: JN2B.RD 16-nov-:1 11:21  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV | 50mA  
 wavelength( $\lambda_1, \lambda_2$ ): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, "time": 0.020 0.50  
 peaks file name: JN2B.DI 16-nov-:1 11:21  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (Deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/I <sub>max</sub> (%)	significance
1	15.2124	5.805	0.320	88	3	24.22	1.98
2	9.1156	9.695	0.200	108	3	29.65	2.35
3	5.2038	17.025	1.120	26	7	7.13	6.25
4	4.6855	18.925	0.200	35	12	9.54	1.90
5	4.2702	20.785	0.160	69	14	18.88	2.71
6	3.9869	22.280	0.280	151	16	41.47	3.54
7	3.7410	23.765	0.800	26	19	7.13	2.15
8	3.3515	26.575	0.160	365	20	100.00	9.25
9	3.1936	27.915	0.120	182	20	49.96	2.19
10	2.9894	29.865	0.240	94	21	25.79	2.96
11	2.8074	31.850	0.240	49	21	13.43	3.79
12	2.7478	32.560	0.240	18	21	5.07	2.08
13	2.4617	36.470	0.240	29	22	7.99	2.09
14	2.2834	39.430	0.240	19	23	5.31	2.25
15	2.1304	42.395	0.240	20	20	5.55	2.12
16	1.9788	45.820	0.480	13	17	3.55	1.96
17	1.8200	50.080	0.200	31	18	8.60	2.12

921  
 200  
 300  
 400  
 500  
 600  
 700  
 800  
 900



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:	JN013
---------------------	-------

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Smectita (Saponita)
- 2º Estilbita
- 3º Calcita (Trazas)
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



REGISTRO DE LA ACTIVIDAD DE 2001  
del Laboratorio Centralizado  
DE INGENIEROS DE MINAS  
DE MADRID

LABORATORIO  
CENTRALIZADO

RONTEC EDWIN WinTools

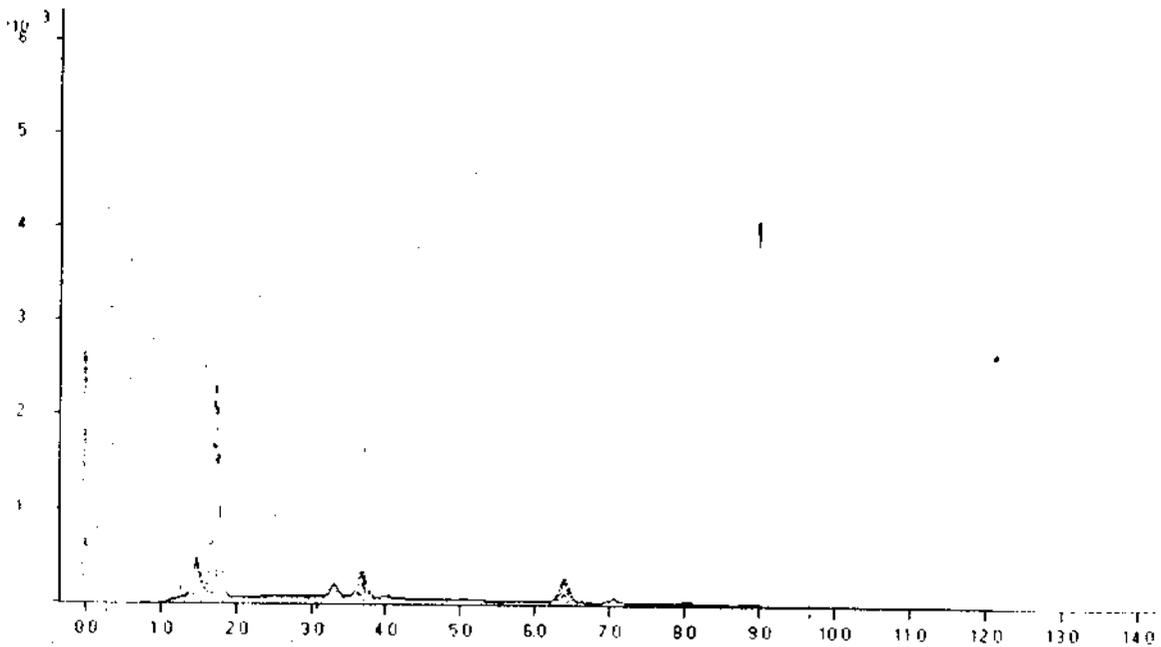
JN13 11.06.2001 (10:52)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 20.5	1.00978	1.02261	3.01	12.11	+ - 2.75	*
Si K-ser	@105.3	1.01262	1.00475	13.75	55.26	+ - 7.64	*
K K-alpha	@ 8.5	1.02423	1.03706	0.89	3.57	+ - 1.70	
Ca K-alpha	@ 20.9	1.02617	1.03167	2.09	8.40	+ - 2.33	
Fe K-alpha	@42.1	1.03610	1.05302	4.55	18.30	+ - 4.64	-
Cu K-alpha	@ 4.7	1.04022	1.08571	0.59	2.36	+ - 3.47	*
standardless				24.88	100.00	[2s]	



PHILIPS Analytical

PC-APD, Diffraction Software

data file name: JN013.RD 16-nov-:1 11:47  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength(a1,a2): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: JN013.D1 16-nov-:1 11:48  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/I <sub>max</sub> (%)	significance
1	15.1083	5.845	1.280	46	3	6.95	1.96
2	9.1391	9.670	0.160	62	4	9.38	1.81
3	6.6270	13.350	0.960	20	5	3.04	3.68
4	4.5602	19.450	0.960	29	9	4.38	2.88
5	4.2651	20.810	0.080	190	14	28.61	3.09
6	3.9993	22.210	0.200	90	16	13.56	1.99
7	3.4896	25.505	0.200	52	19	7.79	1.80
8	3.3552	26.545	0.140	666	19	100.00	9.32
9	3.2009	27.850	0.320	106	19	15.94	4.61
10	3.0427	29.330	0.120	56	20	8.45	2.20
11	2.8083	31.840	0.240	18	20	2.65	2.15
12	2.5863	34.655	0.640	24	20	3.61	2.20
13	2.4627	36.455	0.200	44	21	6.54	2.07
14	2.2879	39.350	0.240	46	21	6.95	4.21
15	2.2417	40.195	0.240	19	21	2.91	1.85
16	2.1304	42.395	0.240	38	18	5.77	3.50
17	1.9853	45.660	0.240	16	16	2.40	2.06
18	1.8222	50.015	0.140	56	17	8.45	2.40
19	1.6677	55.020	0.960	7	20	1.10	4.19

*Cu<sub>2</sub>O*  
*F. l. de pal.*

*Cal. Calc.*  
*Est. l. b. t. e.*  
*Separat.*

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

Vertical text on the right edge, possibly a page number or reference code.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:	JN015
---------------------	-------

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Feldespato (Albita)
- 2º Smectita (Saponita)
- 3º Estilbita
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



Madrid, 19 de Noviembre de 2001  
Edo.: Laboratorio Centralizado

PHILIPS Analytical PC-APD, Diffraction Software

data file name: JN015.RD 15-nov-:1 11:44  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength(a1,a2): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: JN015.DI 15-nov-:1 11:45  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/I <sub>max</sub> (%)	significance
1	15.4652	5.710	0.640	81	3	16.29	2.11
2	9.1485	9.660	0.200	58	4	11.61	1.75
3	6.6270	13.350	0.960	20	4	4.07	3.37
4	5.2282	16.945	1.120	16	5	3.22	2.20
5	4.2783	20.745	0.120	102	11	20.51	1.76
6	4.0038	22.185	0.240	83	14	16.65	2.27
7	3.3583	26.520	0.160	497	21	100.00	10.65
8	3.1986	27.870	0.240	81	20	16.29	2.44
9	2.9957	29.800	0.480	32	19	6.53	3.01
10	2.8143	31.770	0.160	21	18	4.26	1.89
11	2.4666	36.395	0.240	35	26	7.00	2.59
12	2.2876	39.355	0.240	24	21	4.83	2.80
13	2.1325	42.350	0.320	18	20	3.55	2.16
14	1.9847	45.675	0.960	6	18	1.16	2.84
15	1.8239	49.965	0.160	40	16	7.98	2.13
16	1.6668	55.050	0.960	6	19	1.26	3.09

ROTEC EDWIN WinTools

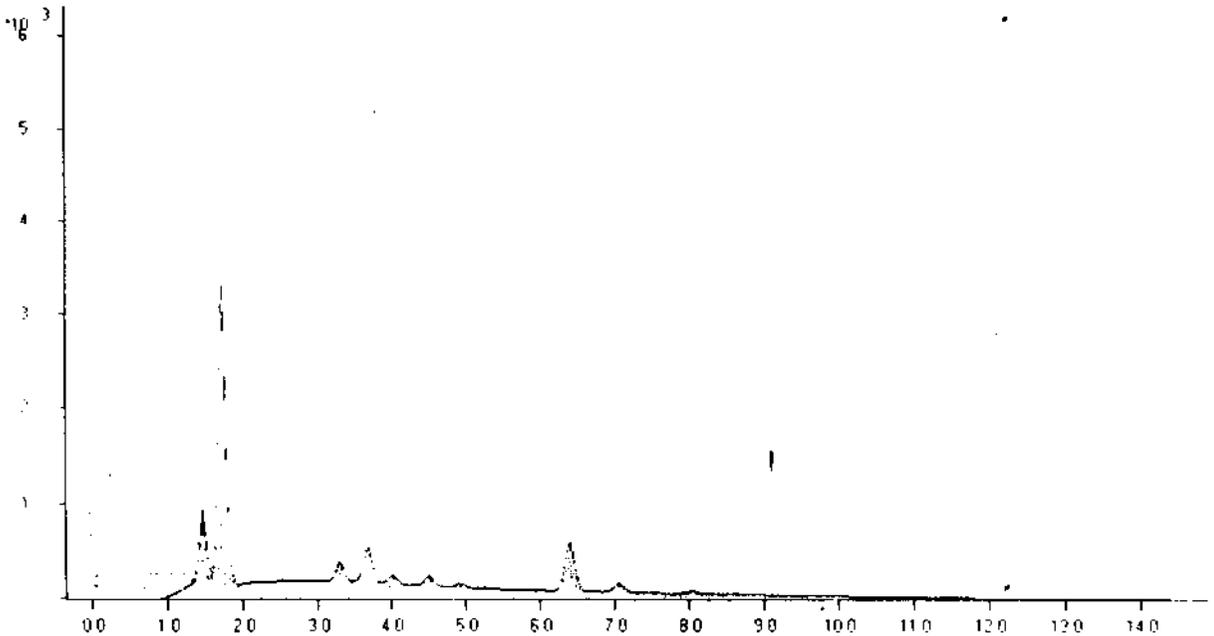
JN015 10.06.2001 (12:44)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 TT:30.0)

\*\*\* Peak Results \*\*\*

elem/line	Z/B	B	F	a	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 18.9	1.00998	1.01896	2.84	13.90	+ - 2.66	*
Si K-ser	@ 75.9	1.01288	1.00504	10.08	49.03	+ - 5.89	*
K K-alpha	@ 7.0	1.02473	1.03960	0.74	3.62	+ - 1.62	*
Ca K-alpha	@ 13.9	1.02672	1.03906	1.41	6.86	+ - 1.55	*
Ti K-alpha	@ 5.0	1.03041	1.07226	0.52	2.52	+ - 1.43	*
Fe K-alpha	@ 40.8	1.03685	1.04868	4.51	21.97	+ - 4.05	*
Cu K-alpha	@ 3.5	1.04105	1.08055	0.45	2.21	+ - 2.83	<
standardless				20.55	100.00	[2s]	*



1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

Vertical text on the right edge of the page, possibly a page number or reference code.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:

JN022

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Calcita
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Esulbita
- 2º Smectita (Saponita)
- 3º Feldespato
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



Madrid, 19 de Noviembre de 2004  
Edo: Laboratorio Centralizado

LABORATORIO CENTRALIZADO

RONTEC EDWIN WinTools

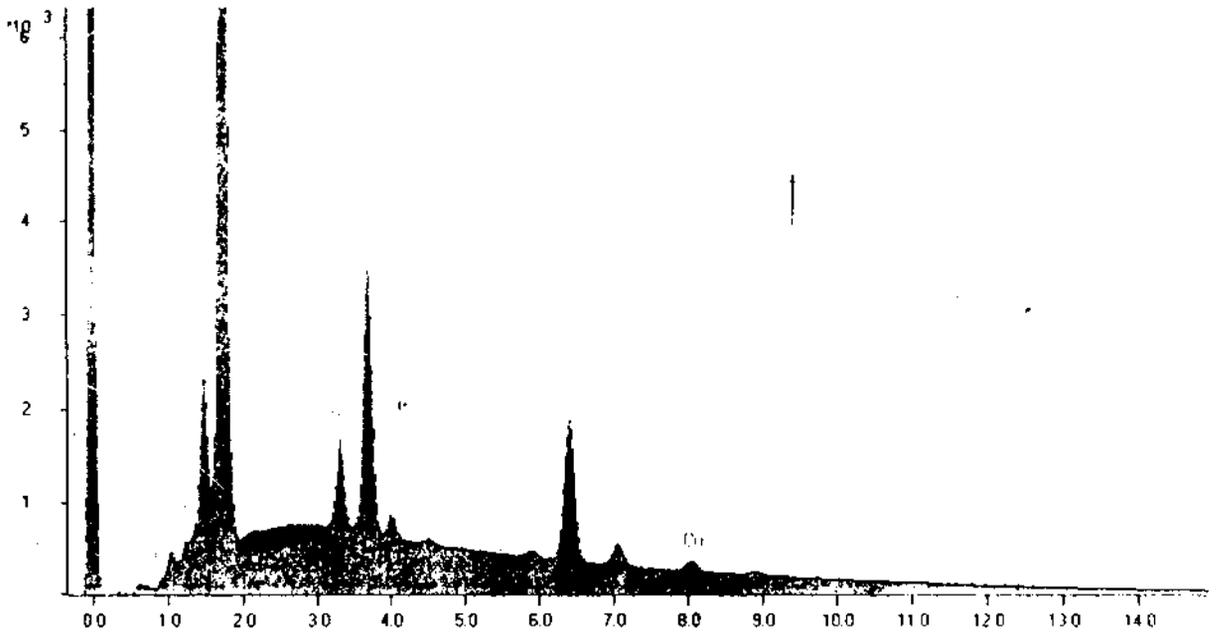
JN022 11.06.2001 (10:24)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (Tp:30.0 TI:30.0)

\*\*\* PUzaf results \*\*\*

elem/line	P/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Na K-ser	@ 7.0	1.00329	1.00834	1.33	5.35	+ - 1.66	*
Al K-ser	@ 10.2	1.00959	1.02654	1.47	5.89	+ - 0.97	*
Si K-ser	@112.5	1.01238	1.00490	14.43	57.86	+ - 5.34	*
K K-alpha	@ 7.1	1.02377	1.04009	0.73	2.92	+ - 0.70	
Ca K-alpha	@ 28.4	1.02568	1.02783	2.80	11.22	+ - 1.16	
Ti K-alpha	@ 0.7	1.02922	1.05730	0.07	0.26	+ - 0.48	<
Mn K-alpha	@ 1.4	1.03396	1.06853	0.15	0.59	+ - 0.60	<
Fe K-alpha	@ 33.3	1.03541	1.05406	3.53	14.16	+ - 1.83	
Cu K-alpha	@ 3.6	1.03945	1.09140	0.44	1.74	+ - 1.27	
standardless				24.93	100.00	[2s]	





1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

Q

C

4

7

3

11

11

11

1914



100

200

300

400

500

600

700

800

900

1000

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

LABORATORIO CENTRALIZADO

ANÁLISIS POR DIFRACTOMETRÍA

REFERENCIA MUESTRA:

INZA

Especies químicas y mineralógicas encontradas:

Con picos intensos:

- 1º Cuarzo
- 2º Feldespato (Albita)
- 3º
- 4º
- 5º

Con picos débiles:

- 1º Estilbita
- 2º Smectita (Saponita)
- 3º
- 4º
- 5º

OBSERVACIONES:



Madrid, 19 de Noviembre de 2001  
Fdo. Laboratorio Centralizado

19/11/2001  
CENTRALIZADO

RONTEC EDWIN WinTools

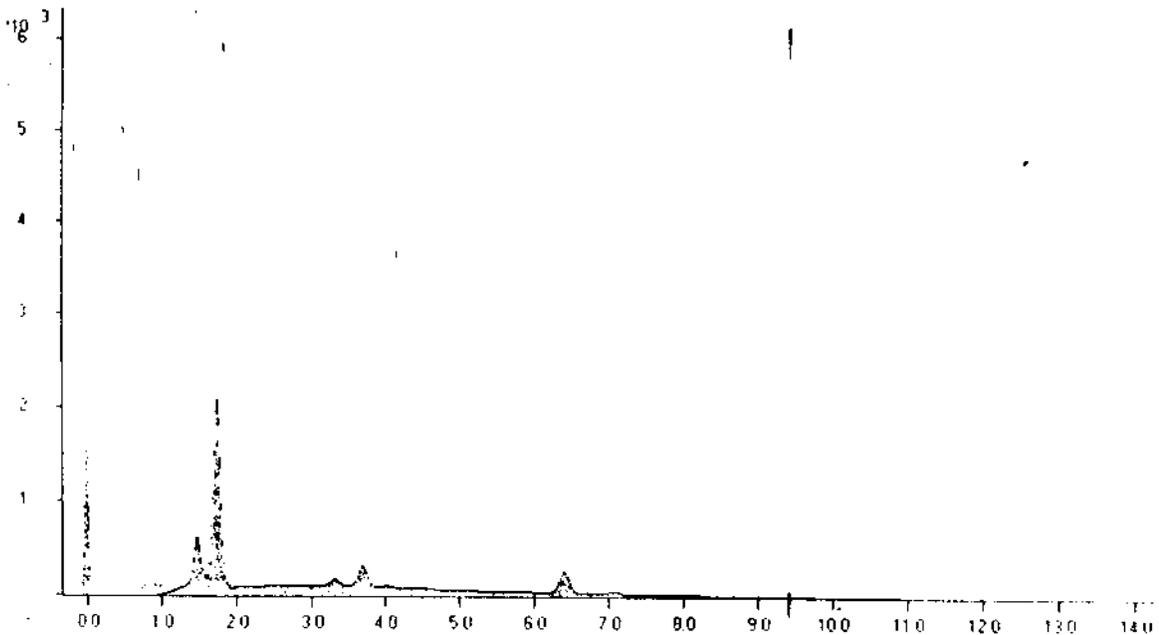
JNZA 10.06.2001 (12:37)

version: 3.1 eng

Eo:20.0 keV (TO:30.0 T1:30.0)

\*\*\* Puzaf results \*\*\*

elem/line	F/B	B	F	c	c(100%)	confid.	h
Al K-ser	@ 18.7	1.00970	1.02140	2.73	15.49	+ - 3.38	*
Si K-ser	@ 73.5	1.01251	1.00455	9.51	54.01	+ - 7.31	*
K K-alpha	@ 4.0	1.02403	1.03734	0.42	2.36	+ - 1.51	
Ca K-alpha	@ 12.8	1.02596	1.03469	1.26	7.17	+ - 2.33	
Fe K-alpha	@ 34.2	1.03580	1.04429	3.69	20.96	+ - 5.90	
standardless				17.60	100.00	[2s]	



data file name: JNZA.RD 15-nov-81 11:17  
 diffractometer: PW1710  
 x-ray tube: Cu BF 40kV 50mA  
 wavelength(a1,a2): 1.54060 1.54438  
 monochromator: YES  
 divergence slit: AUT  
 irradiated length: 12 mm  
 receiving slit: 0.1  
 range 2theta: 4.000 - 60.000  
 step width, time: 0.020 0.50  
 peaks file name: JNZA.DI 15-nov-81 11:17  
 range d-value: 1.5406 - 22.0720  
 range tip width: 0.00 - 2.00  
 minimum significance: 1.75  
 conversion to: FIXED

peak no.	d-value (Ang)	angle (deg)	width (deg)	peak (cts)	backg (cts)	I/Imax (%)	significance
1	15.6432	5.645	0.480	71	3	19.75	2.45
2	9.1203	9.690	0.200	94	4	26.34	2.19
3	5.1454	17.220	0.320	23	7	6.45	2.31
4	4.6990	18.870	0.160	37	10	10.42	1.75
5	4.2773	20.750	0.160	67	14	18.82	2.29
6	3.9905	22.260	0.240	137	16	38.32	2.34
7	3.7072	23.985	0.560	23	19	6.45	1.87
8	3.3577	26.525	0.140	357	19	100.00	7.62
9	3.1975	27.880	0.200	151	19	42.35	3.42
10	2.9982	29.775	0.200	81	19	22.68	1.77
11	2.8117	31.800	0.200	46	19	12.91	2.61
12	2.5489	35.180	1.120	25	20	7.00	3.95
13	2.4683	36.400	0.240	52	22	9.10	2.10
14	2.2876	39.355	0.240	20	22	5.67	2.28
15	2.1325	42.350	0.320	22	20	6.18	2.11
16	1.9686	46.070	0.960	8	16	2.35	3.47
17	1.8227	50.000	0.200	30	18	8.47	2.21
18	1.6754	54.745	0.320	10	17	2.87	1.83

# BIBLIOGRAFÍA

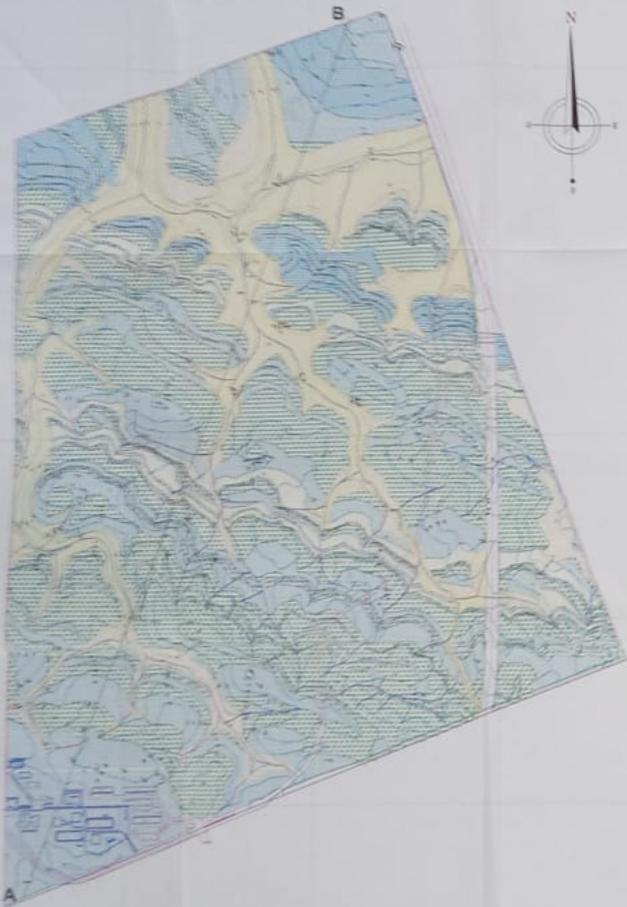
1. Cuarto Congreso Ecuatoriano de Geología Minas y Petróleos, Quito 1986, "Sedimentación y Eventos Tectónicos en el Suroeste del Ecuador, por Francois Dugas" ORSTOM, PROYECTO IPGH – EPN – ORSTOM, Facultad de G. M. P. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
2. Fernando Tamañes III, "Química de las Arcillas", Special Nutrients, USA, Industria avícola, Julio 2000, pp. 20-22
3. Frederick A. Mumpton, Mineralogy and Geology of Natural Zeolites (1993), pp 45.
4. Geology, Mineralogy, and Human Welfare, Irvine, november 8-9, 1998) "La roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry, por Frederick A. Mumpton", pp 3463 – 3469.

5. Hoffsteter H, Léxico Estratigráfico Internacional (Volumen V, París: Centre National de la Recherche Scientifique, 1977).
6. I. Meyer y A. Rocines, "Difracción de rayos X: Identificación de materias primas minerales", Revista Minería Ecuatoriana, No 5, octubre 1984, pp. 31-33.
7. J. C. Romero; L. F. Ramírez; J. Ventura; E. D. Mendoza; M. F. Bastidas. Informe Final del Proyecto: "Sustratos Ecológicos a Base de Zeolitas Naturales" (Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Centro de Investigación Científica y Tecnológica. Instituto de Ciencias Químicas. Enero 2001)
8. J. C. Romero; V. Zelenko; R. L. Chacón. "Informe Final del estudio del comportamiento del método: una prueba de campo para zeolitas como tamiz molecular en zeolitas cubanas". Instituto de Investigaciones Geológicas. Laboratorio Central de Minerales "José Isaac del Corral. Dic. 1977. La Habana. Cuba.

9. Lic. José Ariosa Iznaga, Búsqueda, Exploración y Evaluación de Yacimientos Minerales, (Madrid 1997), pp. 230 – 235.
10. M. Bustillo Revuelta – C. López Jimeno, Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras, (Madrid 1997), pp. 558-559.
11. Marland P. Billings, Structural Geology (third edition, Prentice – Hall, Inc, 1972), pp. 500 – 501.
12. Mite Mónica "Estudio Geomorfológico del Área Metropolitana de la ciudad de Guayaquil". (Tesis, Facultad de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989), pp. 27- 31.
13. Natural Zeolites'93. Ocurrence, Properties, Use. Edited by D. W. Ming and F. A. Mumpton. International Comite on Natural Zeolites, pp 5.
14. Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites. Edited by D. Kalló, H. S. Sherry. Akadémiai Kiadó Budapest, 1988.
15. PALADINES A., ROSERO G., Zonificación Mineralogénica del Ecuador.



16. Peter Dunkley - José Gómez, Exploración para zeolitas en Ecuador  
(Quito, mayo 1999)
  
17. Tirso Febrel Molinero, Investigación Geológica y Evaluación de Depósitos Minerales (E. S. S. De Ingenieros de Minas) pp. 191 – 196.
  
18. Y. Nishimura, "Properties and utilizations of zeolite", Nerdo Kagaku  
(journal of the Clay Science Society of Japan), Vol 13, No 1, pp23-24
  
19. Zeo Agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture,  
edited by Wilson G. Pond and Frederick A. Mumpton, 1984. pp 73-76.



## SIMBOLOGIA

-  causes
-  familia de diaclasas vertical y con buzamiento conocido
-  contacto litológico
-  punto de contacto litológico
-  curvas de nivel
-  límite del Parque Tecnológico ESPOL

## LEYENDA

-  Qa Aluviales
-  Qcl Coluviales
-  Kas Areniscas
-  Kas Lutitas
-  Kas Tobas
-  Kas Aglomerados

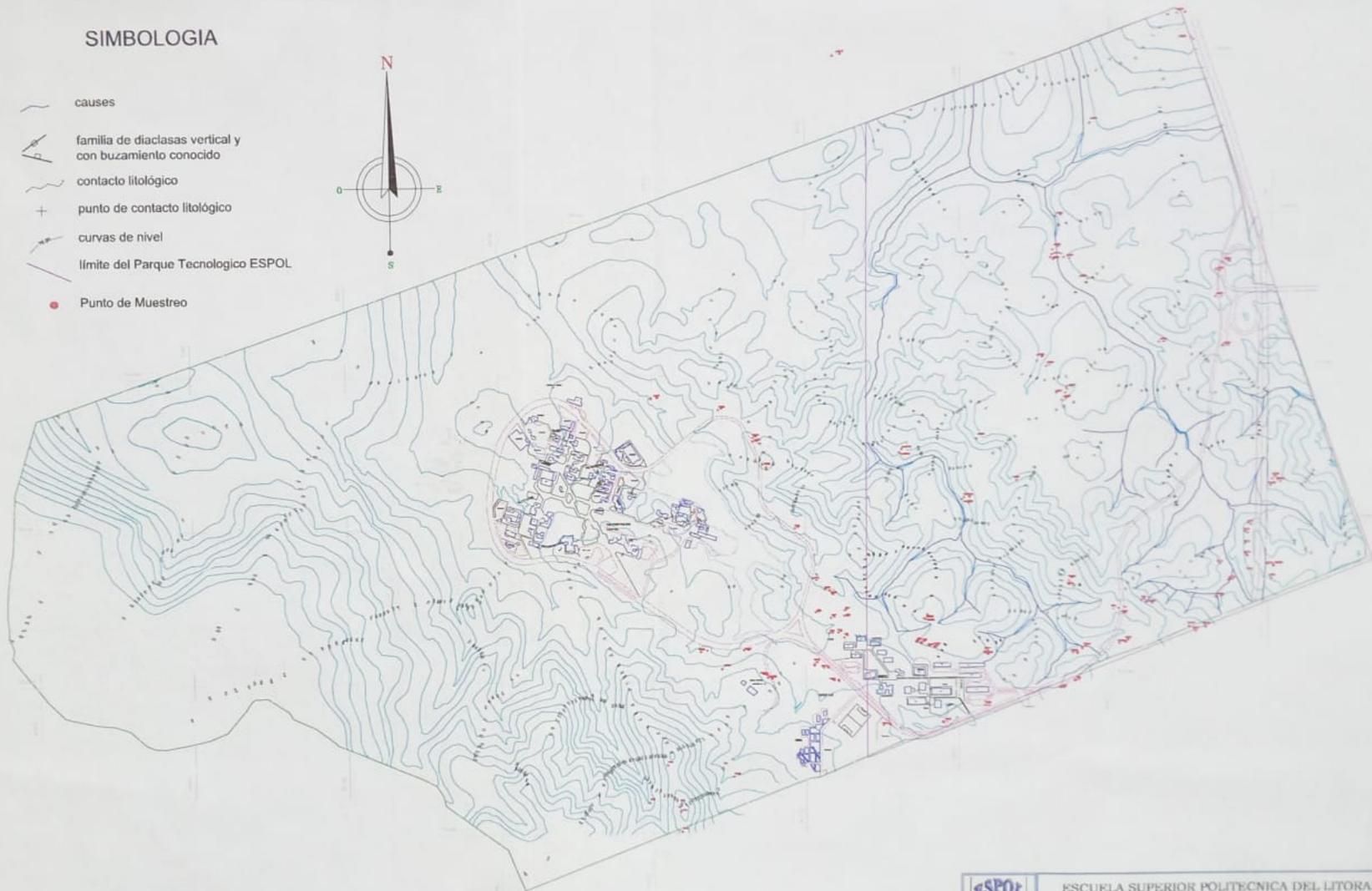
CORTE A - B  
Escala: 1:500



	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
	ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL.	
<b>MAPA GEOLOGICO DEL CAMPUS POLITECNICO</b>		
Autor:	Fecha:	Escala:
Revisor:	Fecha:	Escala:

# SIMBOLOGIA

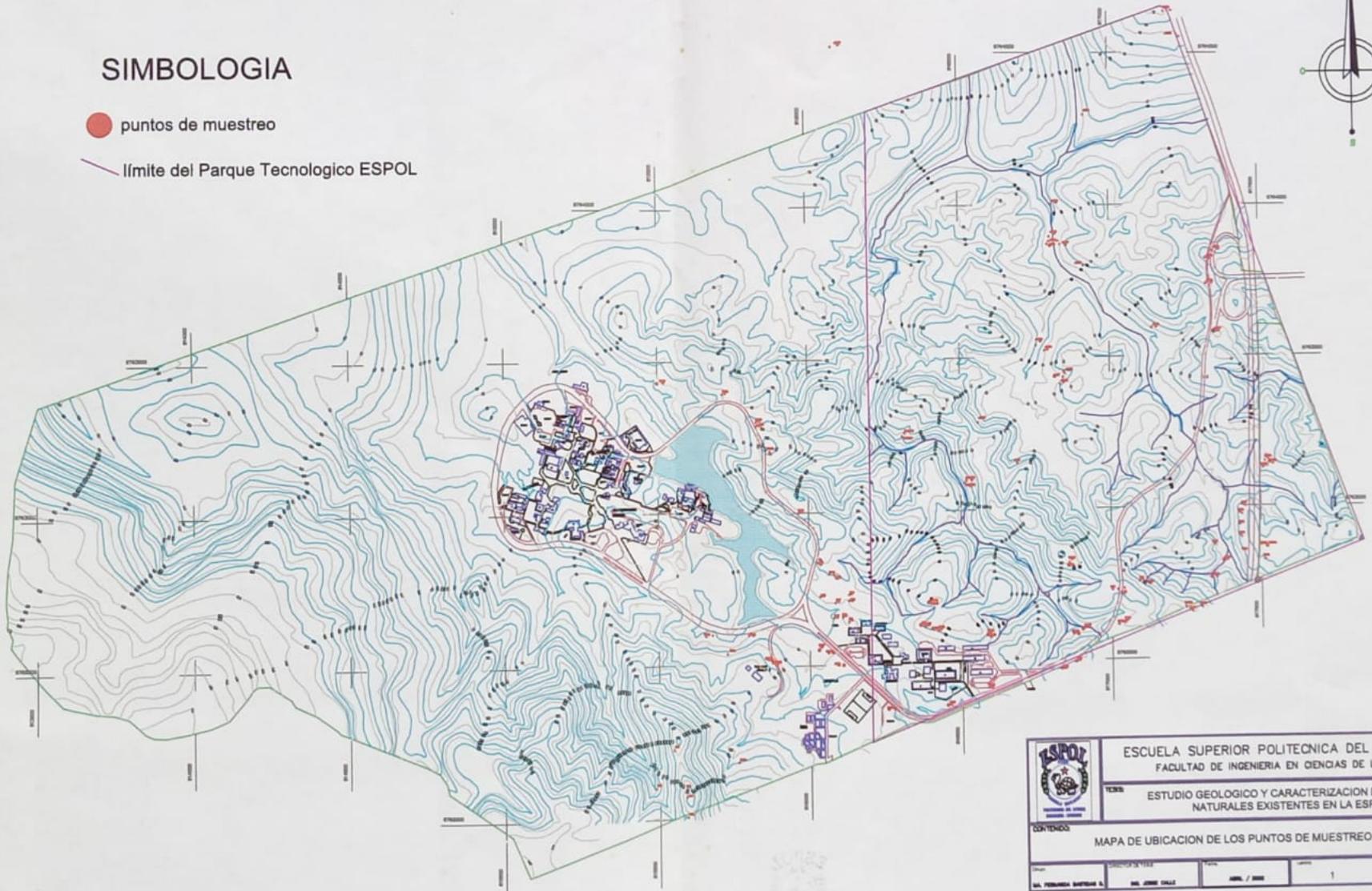
-  cauces
-  familia de diaclasas vertical y con buzamiento conocido
-  contacto litológico
-  punto de contacto litológico
-  curvas de nivel
-  límite del Parque Tecnológico ESPOL
-  Punto de Muestreo



	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA	
	TÍTULO: ESTUDIO GEOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL.	
CONTENIDO: <b>UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO</b>		
No. de Hojas: 1	Hoja No.: 1	Escala: 1:12000

# SIMBOLOGIA

- puntos de muestreo
- límite del Parque Tecnológico ESPOL



	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
	TÍTULO: ESTUDIO GEOLOGICO Y CARACTERIZACION DE ZEOLITAS NATURALES EXISTENTES EN LA ESPOL.			
CONTENIDO: MAPA DE UBICACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO				
Escala:	Fecha:	Hoja:	Total:	Escala:
Esc. Politécnica Superior del Litoral	Julio / 2008	1	1	1:15000

FI 2008  
 2008

ESPOL