



\*D-9585\*



T  
624.151  
5774.

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleo**



“LA EXPANSIVIDAD COMO CRITERIO BASICO  
PARA LA ZONIFICACION GEOTECNICA DEL  
SUBPROYECTO LOMAS”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO GEOTECNICO

Presentada por:  
Francisco Javier Grau Arostegui

Guayaquil - Ecuador  
1989

## AGRADECIMIENTO

*Al Ing. RAUL MARURI DIAZ, Director  
de esta Tesis, por su gran ayuda  
en la orientación al desarrollo  
de la presente investigación.*

*Al Personal Técnico de CIMENTACIONES  
C. LTDA. , por el apoyo brindado al  
desarrollo de este trabajo.*

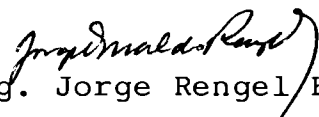
DEDICATORIA

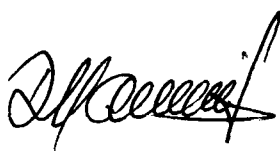



A MIS PADRES

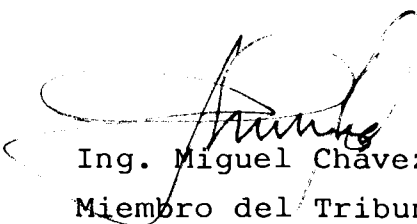
A MI ESPOSA

A MI HIJO

  
Ing. Jorge Rengel E.  
Presidente del Tribunal

  
Ing. Raúl Maruri D.  
Director de Tesis

  
Ing. Julián Coronel R.  
Miembro del Tribunal

  
Ing. Miguel Chávez M.  
Miembro del Tribunal



BIB.

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corres  
ponden exclusivamente; y, el patrimonio inte  
lectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesiona  
les de la ESPOL).



FRANCISCO GRAU AROSTEGUI



BIBLIOTECA

## RESUMEN

La importancia de establecer relaciones entre las características geológicas de un suelo y sus propiedades y comportamiento mecánico, hacen que sea indispensable la presencia del Ingeniero Geotécnico en obras de Ingeniería Civil.

El trabajo investigativo expuesto a continuación demuestra la importancia de las propiedades geomecánicas y mineralógicas de los suelos para poder efectuar una zonificación geotécnica.

Las características de los suelos encontrados en la zona de estudio permiten delimitar tres zonas con parámetros definidos. Tanto los suelos provenientes de depósitos aluviales, como los suelos residuales de la Formación Balzar presentan parámetros expansivos.

El muestreo llevado a cabo es lo más representativo del área investigada. Con un adecuado programa de laboratorio que incluyeron desde la determinación de las propiedades índices de los suelos hasta los ensayos para evaluar su potencial expansivo, se establecieron relaciones entre los diferentes parámetros que nos han orientado en la zonificación de los suelos.

Para la identificación mineralógica se emplearon los métodos del análisis térmico diferencial y el del azul de metileno, cuyos resulta -

dos fueron utilizados en la zonificación del área del Proyecto.

Las condiciones metereológicas de la zona presentan características típicas para desarrollar procesos de expansión, esto es, la evaporación supera a la precipitación.

La metodología propuesta pretende ser simplemente una guía para futuros proyectos en donde los suelos presenten indicios de expansividad. El capítulo último sintetiza el objetivo de esta investigación.



## INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE ABREVIATURAS.....	X
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XV
INDICE DE MAPAS.....	XVI
INTRODUCCION.....	17
<b>CAPITULO I</b>	
<u>GENERALIDADES</u> .....	19
1.1 <u>Antecedentes</u> .....	19
1.2 <u>Objetivo y alcance del trabajo</u> .....	19
1.3 <u>Aspectos teóricos de los suelos expansivos</u> .....	21
1.3.1 <u>Naturaleza de los suelos expansivos</u> .....	21
1.3.2 <u>Mecanismo de Expansión</u> .....	24
<b>CAPITULO II</b>	
<u>INVESTIGACIÓN PRELIMINAR</u> .....	26
2.1 <u>Geología Regional</u> .....	26
2.2 <u>Geología Local</u> .....	27
2.2.1 <u>Geomorfología</u> .....	28
2.2.2 <u>Estratigrafía</u> .....	29
2.2.3 <u>Perfil de Meteorización</u> .....	30
2.2.4 <u>Topografía</u> .....	31
2.2.5 <u>Hidrogeología</u> .....	31
2.2.6 <u>Clima y Vegetación</u> .....	32



	<u>Página</u>
<u>CAPITULO III</u>	
<u>INVESTIGACIONES DE CAMPO</u> .....	34
3.1 <u>Exploración y comprobación</u> .....	34
3.2 <u>Muestreo</u> .....	35
<u>CAPITULO IV</u>	
<u>INVESTIGACIONES DE LABORATORIO</u> .....	37
4.1 <u>Ensayos de Clasificación</u> .....	37
4.2 <u>Ensayos de Expansión</u> .....	37
4.3 <u>Ensayos Mineralógicos</u> .....	39
4.4 <u>Ensayos Químicos</u> .....	41
4.5 <u>Interpretación de los resultados de Laboratorio</u> .....	44
4.6 <u>Correlación de parámetros</u> .....	51
<u>CAPITULO V</u>	
<u>ZONIFICACION GEOTECNICA EN BASE A LA EXPANSIVIDAD</u> .....	60
5.1 <u>Utilización de la Geología</u> .....	60
5.2 <u>Delimitación de las áreas de similares potenciales expansivos</u> .....	61
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u> .....	63
<u>ANEXO N°1</u>	
<u>PERFILES ESTRATIGRAFICOS Y PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS</u>	
<u>ANEXO N°2</u>	
<u>ANALISIS TERMICO DIFERENCIALES</u>	
<u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	118

\*\*\*\*



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

## INDICE DE ABREVIATURAS

CEDEGE	:	<i>Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas.</i>
ASTM	:	<i>American Society for Testing and Materials</i>
SUCS	:	<i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos</i>
AASHTO	:	<i>American Association of State and Highway Transportation Officials.</i>
ATD	:	<i>Análisis Térmico Diferencial</i>
CII	:	<i>Capacidad de Intercambio Iónico</i>
IGM	:	<i>Instituto Geográfico Militar</i>
Ha.	:	<i>Hectáreas</i>
m	:	<i>Metros</i>
Km	:	<i>Kilómetros</i>

mm	:	Milímetros
Kg/m <sup>3</sup>	:	Kilogramos por metro cúbico
μ	:	Micras
ml	:	Mililitros
m/seg	:	Metro por segundo
Kg	:	Kilogramo
Ton/m <sup>2</sup>	:	Tonelada por metro cuadrado
°C	:	Grado Centígrado
CL-1	:	Calicata Lomas Número 1
%	:	Porcentaje
IP	:	Indice Plástico
LL	:	Límite Líquido



CH	:	Arcilla de Alta Plasticidad
CL	:	Arcilla de Baja Plasticidad
SC	:	Arena Arcillosa
meq	:	Miliequivalentes
R	:	Coefficiente de Regresión
ln	:	Función logaritmo natural
S	:	Porcentaje de Expansión
EE	:	Esfuerzo de Expansión
Kp	:	Formación Piñón-Cretácico
Pl <sub>B</sub>	:	Formación Balzar-Plioceno
Q <sub>R</sub>	:	Cuaternario Reciente
γ <sub>d</sub>	:	Densidad seca máxima
W <sub>op</sub>	:	Humedad óptima

$w_n$  : Humedad natural

$\gamma_{seco}$  : Densidad seca

$\gamma_{hum}$  : Densidad húmeda

$w_i$  : Humedad inicial

$w_f$  : Humedad final



## INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Carta de Plasticidad	45
2	Porcentaje de Expansión versus Índice Plástico.	52
3	Esfuerzo de Expansión versus Índice Plástico.	53
4	Porcentaje de Expansión versus Esfuerzo de Expansión.	55
5	Capacidad de Intercambio Iónico versus Porcentaje de Expansión.	56
6	Capacidad de Intercambio Iónico versus Esfuerzo de Expansión.	57
7	Capacidad de Intercambio Iónico versus Índice Plástico.	58



INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
I	Resultados de los ensayos de Clasificación.	38
II	Resultados de los Ensayos de Expansión	40
III	Determinación del CII por el Azul de Metileno.	43
IV	Determinación del Potencial Expansivo a partir del Índice Plástico.	48

INDICE DE MAPAS

Nº

- 1 Plano Geológico del área de estudio
- 2 Plano Geomorfológico
- 3 Plano de Ubicación de Calicatas
- 4 Plano de Zonificación Geotécnica



## INTRODUCCION



Al hablar de Geotecnia, estamos refiriéndonos a la aplicación de conocimientos de Geología, Mecánica de Suelos y Rocas, Geofísica, etc. en la solución de problemas de las obras de Ingeniería Civil.

La necesidad de establecer una planificación definida sobre el uso de los suelos, debe estar precedido de un adecuado estudio de zonificación geotécnica que permita delimitar zonas con características geotécnicas afines, para así, poder implementar los mecanismos de construcción más idóneos para determinado tipo de materiales.

La Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), dentro del Proyecto de Propósito Múltiple Daule-Peripa, se encuentra ejecutando la construcción de un Sistema de Riego y Drenaje de 17.000 Ha. en el valle del Río Daule. El Subproyecto Lomas forma parte de este sistema, y en las investigaciones preliminares se comprobó la existencia de suelos expansivos.

La presencia de suelos expansivos dentro de áreas donde se desarrollan o construyen obras de Ingeniería Civil, ha sido motivo de constante preocupación entre los ingenieros investigadores de diversas partes del mundo, debido a los problemas que originan este tipo de suelos.

La utilización de este material ha ocasionado grandes daños en obras como presas, carreteras, canales, urbanizaciones, viviendas, etc., a causa de los cambios de volumen que experimentan, ya sea debido a modificaciones de humedad o a variaciones de la presión total que actúa sobre el suelo. Una de las principales características de estos suelos es su comportamiento singular en presencia del agua, evidenciando grandes variaciones en sus propiedades geotécnicas, que pueden desembocar en movimientos diferenciales que por lo general provocan grandes daños en cimentaciones superficiales de poca carga e incluso producen movimientos superficiales de grandes áreas.

Por ello, hemos querido implementar mediante esta investigación una metodología útil, capaz de correlacionar las características geológicas y geomorfológicas de un área determinada, conjuntamente con las características genéticas del suelo, con los diferentes parámetros expansivos que nos determinan los ensayos de Mecánica de Suelos.

Es entonces la expansividad de los suelos un factor determinante a ser tomado en cuenta por los ingenieros en una zonificación geotécnica, de allí que se justifica una investigación de esta naturaleza.

## CAPITULO I GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

El Subproyecto Lomas está localizado sobre la margen derecha del Río Daule, al Este de la población "Lomas de Sargentillo". Forma parte del Programa de Desarrollo Agrícola del Proyecto de Propósito Múltiple "Jaime Roldós Aguilera". CEDEGE, se encuentra en la actualidad en la fase de construcción del mencionado Subproyecto, esperando dotar a esta área de un sistema de riego y drenaje, caminos de acceso y obras de control de inundaciones.

Ya en el año de 1983, se efectuó una campaña de estudio geotécnico de los suelos existentes en el área del Subproyecto (6). De estas investigaciones se desprende la presencia de grandes áreas de terrenos predominantemente expansivos.

Con estos antecedentes, hemos querido llevar a cabo un estudio - mediante el cual se analice la expansividad de los suelos como - criterio básico para efectuar una zonificación geotécnica.

### 1.2 OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO

La presente investigación tiene como objetivo principal el de zonificar los suelos expansivos presentes dentro del área del Subproyecto, tomando en cuenta su naturaleza geológica y sus propie

dades geomecánicas y mineralógicas. Para ello, se ha realizado un estudio geológico de la zona con la finalidad de tratar de correlacionar las características geológicas y geomorfológicas del área con la información disponible sobre expansividad, además de las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Se han utilizado diferentes métodos para determinar las características de expansión de los suelos, que van desde los ensayos edométricos de expansión libre y controlada hasta los métodos más simples como lo son la determinación de las propiedades índices. Además de éstos, para la identificación mineralógica se han utilizado los métodos del análisis térmico-diferencial y el análisis del azul de metileno, que complementan la información requerida.

De lo anteriormente expuesto, podemos concluir que son muchos los aspectos que inciden en el desarrollo del fenómeno de expansión como son los de su origen: geológico, mineralógico y ambiental. De aquí, que se justifica la ejecución de estos ensayos, pues se hace necesario el conocimiento de todos los parámetros mencionados.

Finalmente, se pretende establecer una metodología de trabajo que optimice los resultados y su uso para las diferentes obras de Ingeniería, cuando el profesional trate con este tipo de suelos.



### 1.3 ASPECTOS TEÓRICOS DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Los suelos expansivos son aquellos cuya constitución mineralógica y estructura sufren cambios de volumen al absorber agua. Es por esto, que estos suelos son considerados inestables.

Una de las manifestaciones del fenómeno de expansión es la apertura y cierre de grietas. Conforme se repiten los ciclos de humedecimiento y secado del terreno, se provocan deformaciones y esfuerzos que causan daños en las estructuras que se cimentan sobre estos suelos. (8).

#### 1.3.1 Naturaleza de los suelos expansivos

Las experiencias con los suelos expansivos hacen ver que existe una directa relación entre las rocas originales, las condiciones ambientales en que se efectuó la meteorización y los suelos producto de ella.

Algunos autores han llegado a la conclusión que los suelos expansivos se originan de la alteración de ciertas rocas ígneas básicas, o de rocas sedimentarias que contienen montmorillonita.

La montmorillonita fue probablemente formada de dos diferentes formas. Una producto de la meteorización y erosión de las rocas de las tierras altas, las mismas que fueron llevadas a las planicies costeras por efecto de las corrientes. Los suelos de grano más fino se han acu-

mulado en las cuencas oceánicas como lutitas (18). Otra, como resultado de la alteración de los depósitos en las planicies y en los mares de las acumulaciones de cenizas volcánicas.

La mayoría de los suelos expansivos están asociados con regiones semi-áridas de clima tropical, en donde la evaporación anual excede a la precipitación.

Desde el punto de vista mineralógico, la magnitud de la expansión depende de la clase y cantidad de mineral arcilloso presente en el suelo, de su capacidad de intercambio iónico y de su estructura interna. (8).

Existen tres principales grupos de minerales arcillosos: montmorillonita, illita y caolinita. La presencia de cualquiera de estos minerales en el suelo indica cualitativamente el potencial de expansión del mismo.

La caolinita es el mineral de arcilla menos activo. Su unidad estructural consta de capas alternadas de tetraedros de Silicio con unidades octaédricas de Aluminio. El grupo de Caolinita lo forman de 70 a 100 de estas láminas unidas entre sí con enlaces de Hidrógeno.

La illita es un mineral de arcilla cuya unidad fundamental está formada por dos capas de tetraedros de Silicio -

que encierran una capa octaédrica de Aluminio, lo que produce un mineral 1:2, anotándose que algunas de las posiciones de Silicio están ocupadas por átomos de Aluminio y, que entre capas están adheridas iones Potasio que no son intercambiables. Las illitas son un poco menos estables que las Caolinitas.

La Montmorillonita, posee una unidad estructural muy parecida a la illita, esto es, una unidad 1:2. En la montmorillonita se producen algunas sustituciones, la de Aluminio por Silicio en la capa tetraédrica y la de Magnesio, Hierro, Litio o Zinc por Aluminio en la capa octaédrica. Esto crea un gran desequilibrio eléctrico que da como resultado una gran capacidad de intercambio de cationes. (4)

Se ha detectado que algunas propiedades físicas en adición a las características mineralógicas son indicativas del fenómeno de expansión, pudiendo mencionarse las siguientes: densidad del suelo, humedad, plasticidad. Al respecto, se han realizado numerosas investigaciones en diversas partes del mundo, tratando de relacionar los parámetros mencionados con el fenómeno de expansión, con la finalidad de facilitar la identificación de los suelos expansivos y su posterior tratamiento. De ello se desprende que existe una relación directamente proporcional entre la densidad seca de los suelos y la presión y porcentaje de expansión.

El aumento de humedad de los suelos secos, mineralógicamente expansivos, es uno de los factores de mayor incidencia en el fenómeno de expansión, debido principalmente a la facilidad del agua de penetrar en el suelo.

En lo que respecta a la plasticidad, ya en 1956, Holtz y Gibbs (11), demostraron que el IP y el LL son indicativos útiles para la determinación de ciertas características expansivas de la mayoría de las arcillas, esto es, que existe una relación directamente proporcional entre los IP y LL, y los de presión y porcentaje de expansión, tal como lo demostraremos en el presente trabajo.

### 1.3.2 Mecanismo de expansión

El mecanismo de expansión está íntimamente relacionado con tres aspectos que son: la migración de agua, el potencial de expansión y la presión de expansión.

La migración de agua depende de las formaciones geológicas, del clima, la topografía, del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. La transferencia de humedad sucede generalmente por efecto de la gravedad, pudiendo también desarrollarse por efecto de la fuerza capilar. El agua libre presente en los suelos expansivos hace que se produzcan cambios volumétricos, así como también el vapor de agua cuando éste se encuentra con una temperatura mayor a la circundante. La humedad varía con la profundi



dad del suelo, mientras mayor es la profundidad, mayor será la humedad del suelo, por lo tanto, la expansión disminuirá. (18). Ahora bien, la profundidad de desecación depende de las condiciones climáticas, del tipo de suelo y la localización del nivel freático. Hasta esa profundidad es perceptible la evaporación y nos indica aproximadamente el espesor del suelo que puede expandirse.

El potencial de expansión fue definido por Seed, en 1962, como el porcentaje de expansión de una muestra confinada lateralmente, que ha sido compactada a la densidad seca máxima y humedad óptima del ensayo de compactación AASHTO - T-99, y luego saturada, estando sometida a una presión de sobrecarga de 1 psi. (17).

El valor del potencial de expansión determinado en laboratorio nos sirve para predecir el levantamiento total o el máximo levantamiento de una estructura cimentada directamente sobre suelo expansivo.

La presión de expansión es aquella necesaria para llevar a su volumen original a una muestra que se ha expandido. Refleja generalmente las características expansivas de un suelo. Es independiente de la presión de sobrecarga, grado de saturación y del espesor de la muestra, siendo la densidad inicial el único elemento que influye de manera casi proporcional sobre la presión de expansión.

## CAPITULO II INVESTIGACION PRELIMINAR

### 2.1 GEOLOGIA REGIONAL

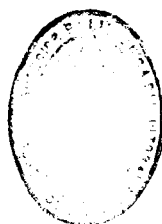
La información más actualizada al respecto ha sido consultada a partir del informe final sobre los estudios geotécnicos en la zona Daule-Pula (6), así como también del léxico estratigráfico (5).

El área de estudio está enmarcada en la plataforma de Daule, constituida por la gran llanura de inundación del Río Daule, que es una llanura aluvial que cubre una vasta región con sedimentos recientes de arcillas, limos y arenas, la cual se distribuye casi paralelamente de Norte a Sur a ambas márgenes del Río Daule. Estos depósitos aluviales se encuentran descansando ocasionalmente sobre sedimentos aterrazados de tipo fluvial de la Formación Pichilingue hacia la margen izquierda del Río Daule, aflorando en las inmediaciones de la población de Daule. Hacia la margen derecha, el área que cubre los sedimentos aluviales del Daule es un poco menos extensa, apareciendo más hacia el Oeste una serie de mesas constituidas por rocas sedimentarias terciarias pliocénicas de origen marino de la Formación Balzar, con capas bien estratificadas de conglomerados, areniscas, arcillas y limos, contiene moluscos. Dirigiéndonos hacia el Sur, encontramos algunos afloramientos de rocas ígneas de la Formación Piñón, constitui -

das por Diabasas y granodioritas, apareciendo estas últimas intru-  
sionando a las primeras. Afloran en sitios como Chivería, San Jo-  
sé, Cerro sin Cabeza, Bijagual. Las diabasas son rocas de grano-  
fino a muy fino, de color verde grisáceo, densas, de alta resis-  
tencia, masivas y de baja porosidad, contienen trazas de sulfuros  
polimetálicos, especialmente de hierro. Son más abundantes que  
las granodioritas, que son rocas de grano medio a grueso, color  
gris, algo cuarcíferas, aflorando en las cercanías de la pobla-  
ción de Pascuales.

## 2.2 GEOLOGIA LOCAL

Nuestra zona investigada está delimitada hacia el Norte por sedi-  
mentos más recientes constituidos por terrazas indiferenciadas  
del Cuaternario que corresponden a la llanura aluvial del Daule.  
El Río Magro que desemboca en el Daule, hace de frontera Norte  
del Proyecto LOMAS. Al Sur, se distinguen varios afloramientos  
de rocas ígneas cretácicas: diabasas, de la Formación Piñón. El  
Estero Bijagual que también desemboca en el Río Daule, hace de  
frontera Sur. Al Este, en una parte por sedimentos aterrizados  
fluviales Pleistocénicos de la Formación Pichilingue y por otra,  
sedimentos más recientes del Cuaternario indiferenciado. Por el  
Oeste, por un relieve de mesas constituidas por rocas sedimenta-  
rias terciarias Pliocénicas de la Formación Balzar.



### 2.2.1 Geomorfología

Nuestra zona de investigación está constituida por partes planas y sectores ligeramente colinados (20 m.), con pendientes menores del 12%. Las partes planas son características de la llanura aluvial del Daule, pudiéndose distinguir algunas divisiones que son: el nivel alto, el nivel bajo, los cauces abandonados y los diques aluviales, tal como se aprecia en el plano 2. Tanto los niveles alto y bajo de la llanura aluvial ocupan una tercera parte del Proyecto siempre hacia el Este hasta colindar con el Daule, y están constituidos en su mayor parte por arcillas. A ambos márgenes, tanto del Río Magro como del Estero Pedernal y/o Río Bijagual se han desarrollado terrazas no muy altas producto de la acción de estos afluentes del Daule, predominando en estas zonas las arcillas limosas. Ya, hacia el Oeste, aparecen una serie de colinas de poca altura, que pueden ser fácilmente ubicadas en la carretera hacia Manabí, a unos 4 Km. de la población de Lomas de Sargentillo. Estas colinas de baja pendiente evidencian la presencia de la Formación Balzar y poseen como característica de identificación tonalidades amarillentas preferentemente claras. Hacia el Sureste, en la frontera del Proyecto existen unas colinas con pendientes mayores del 12% y se trata de un afloramiento de la Formación Piñón.

### 2.2.2 Estratigrafía

En el área de estudio se distingue la siguiente secuencia:

#### a) Cretácico: Formación Piñón (Kp)

Consiste de rocas ígneas (diabasas), las cuales afloran hacia el Sur y Sureste en sitios que delimitan al Proyecto. Existe un afloramiento en el sitio denominado Bijagual, ubicado en el lado izquierdo de la carretera Guayaquil-Daule, en el desvío del camino a Manabí atrás de la gasolinera, hacia el Sureste. La roca presente es una diabasa con intrusiones de calcita bastante alterada. Existe otro afloramiento un poco más extenso que el anterior, ubicado hacia el Sur del Proyecto y está constituido también de diabasa. Ambos afloramientos aparecen en el Plano 1.

#### b) Terciario - Plioceno: Formación Balzar (Pl<sub>B</sub>)

De origen marino (contiene moluscos) (5). Consiste de areniscas, arcillas y limos. Las areniscas son limosas, algo arcillosas de color amarillo claro, blandas, de baja densidad, medianamente meteorizadas, de baja resistencia, porosas y permeables, aparentemente masivas. Las arcillas y los limos presentan tonalidades oscuras, influenciadas posiblemente por los depósitos aluviales o por cierto contenido de materia orgánica. Son de plasticidad media a alta con ciertas intercalaciones de finos lentes de arenas limosas.

c) Cuaternario Reciente ( $Q_R$ )

Se denominan así a los sedimentos aluviales que cubren la mayor parte del subproyecto y las de presiones de la Formación Balzar. Son sedimentos finos a muy finos, principalmente arcillas, limos y ocasionalmente arenas muy finas. De tonalidades oscuras a claro algo amarillentas, dependiendo del contenido orgánico. Han sido depositados durante las inundaciones, teniendo gran influencia el Daule y el Magro. Se evidencian también en los cauces abandonados. Son altamente expansivos.

2.2.3 Perfil de Meteorización

La capa vegetal que cubre los depósitos aluviales recientes presentan fuertes acumulaciones orgánicas tanto en las zonas planas como en las ligeramente onduladas. El espesor de esta capa varía entre 0,30 y 0,50 m. Se desconoce la potencia de los depósitos aluviales. Estos depósitos están constituidos de suelos transportados donde predominan las arcillas y los limos.

Una capa de suelo residual aparece cubriendo la parte Oeste del Proyecto, predominando en los sectores ligeramente colinados. Sobre ellos y en las partes relativamente bajas se presenta una delgada capa vegetal, constituida por suelos orgánicos y con un espesor de 0,30 m. Estamos sobre la Formación Balzar y es característica de la misma ,

horizontes de arcillas limosas, arcillas arenosas con intercalaciones de arenas finas y limos arenosos. La potencia de estos horizontes es variable, presumiendo que el espesor de la capa meteorizada es de varios metros.

#### 2.2.4 Topografía

Se ha utilizado la hoja topográfica de ISIDRO AVORA editada por el Instituto Geográfico Militar, la misma que tiene una escala de 1:50.000 y curvas de nivel con equidistancias de 20 m.

Nuestro Proyecto se caracteriza por ocupar casi en su totalidad un área plana con un ligero predominio de zonas con montes altos, menores de 20 m., sobre zonas muy bajas. Las primeras, responden a una cadena de lomas a nivel regional que son propias de la Formación Balzar. Son fáciles de detectar por su tonalidad amarillenta. Las segundas, pertenecen a depósitos aluviales recientes y como ya se dijo son terrenos bajos fácilmente inundables dedicados a cultivos típicos de la zona. Están cubiertos de arrozales.

#### 2.2.5 Hidrogeología

En las calicatas realizadas no se ha podido detectar la profundidad del nivel freático, por lo que presumimos que es profundo. Más aún, si consideramos que las areniscas de la Formación Balzar por su alto contenido de finos no

son reservorios adecuados. A pesar de ello, es posible preveer un alto contenido de cloruros en el agua de los posibles acuíferos ubicados en el sector Oeste del Proyecto por el origen marino de la Formación Balzar.

#### 2.2.6 Clima y Vegetación

Es muy evidente la presencia de dos estaciones climáticas durante el año, la una tropical seca comprendida entre los meses de mayo a diciembre y la otra tropical húmeda en el resto de meses, caracterizada por la presencia de lluvias.

De los datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Campamento del Proyecto América, la misma que entró en funcionamiento en el año de 1984, podemos mencionar los siguientes valores computados hasta fines del primer Semestre de 1987. La temperatura media anual varía entre 26 y 28° C, siendo la temperatura máxima de 35° C y la mínima de 18° C. La velocidad del viento fluctúa entre 0,7 y 1,3 m/seg. La humedad relativa varía entre 79 y 94% , siendo el promedio anual de 85,5%. En cuanto a las lluvias, el promedio del total de precipitación anual es de 1.150 mm. entre 1984 y 1987, destacando como máxima precipitación en un período de 24 horas la de 118,0 mm. durante el mes de abril de 1987. Lamentablemente los datos de evaporación no son confiables.



La vegetación en las zonas bajas e inundables y en las depresiones de las zonas colinadas la conforma casi en su totalidad sembríos de arroz. Arbustos y árboles de pequeña altura, así como también sembríos de frutales predominan en las zonas de colina.

## CAPITULO III INVESTIGACIONES DE CAMPO

### 3.1 EXPLORACION Y COMPROBACION

Las investigaciones de campo fueron precedidas de un estudio de oficina, el mismo que sirvió de guía en la exploración preliminar de la zona. Tanto los depósitos aluviales como los afloramientos de la Formación Balzar fueron ubicados en la zona investigada. Ventajosamente un tramo de la carretera Nobol-Jipijapa atravieza el Proyecto, lo que hace accesible a los diferentes puntos en los que se programó la ejecución de las calicatas.

Los depósitos aluviales que cubren la parte plana del Proyecto se caracterizan por su coloración, por lo general gris oscuro, cuando se trata de arcillas, y la presencia de sartenejas que son grietas de contracción, típica de los suelos expansivos. Estos suelos son muy densos y muy duros en el estado seco debido a los esfuerzos de contracción, aún con pequeños contenidos de agua presenta el mismo comportamiento. Con grandes cantidades de agua son muy plásticas y de consistencia blanda. A lo largo de la carretera hacia la población de Lomas de Sargentillo es muy común ver grietas paralelas al sentido de la vía, con separaciones de hasta más de dos pulgadas que avanzan progresivamente hacia la parte media del talud, lo que nos hace afirmar la presencia de arcillas expansivas.

Una serie de colinas visibles desde la carretera, cerca de la población de Lomas, corresponden a afloramientos de la Formación Balzar. Su tonalidad amarillo claro hace fácil su identificación, así como también el tipo de vegetación presente. Sin embargo, son las arcillas limosas y arcillas arenosas las que afloran en mayor cantidad que las arenas limosas, esto posiblemente debido a la acción de ciertos agentes erosivos como el viento y el agua.

Las diabasas de la Formación Piñón que se mencionaron con anterioridad fueron fácilmente ubicadas aflorando al pie de la carretera Guayaquil-Daule, en el desvío a Manabí, y hacia el Sur del Proyecto en un lugar cercano al Estero Bijagual.

### 3.2 MUESTREO

La campaña de campo fue orientada con la finalidad de obtener muestras que sean lo más representativo posible de los diferentes materiales presentes en el Proyecto.

Se realizaron un total de 25 calicatas, en las cuales se tomaron igual número de muestras. Las muestras son de tipo alterado, integrales. Las calicatas tenían como máximo 2 m. de profundidad y sus medidas en planta fueron de 1,50 x 0,80 m. (ver Anexo 1).

En cada calicata se tomaron sendas muestras de aproximadamente 50 Kg., las cuales fueron colocadas en saquillos. Estas muestras fueron utilizadas para la ejecución de los ensayos de compactación Proctor Standard, expansión libre y expansión controlada. A más

de esto, se procedió a tomar muestras del mismo material, de aproximadamente 3 Kg., y colocadas en doble funda plástica para evitar la pérdida de humedad, y con su respectiva etiqueta. Se las utilizó en los siguientes ensayos: contenido de humedad natural, granulometría por lavado, límites de Atterberg, ensayos mineralógicos y ensayos químicos.

Previo a la obtención de muestras, se elimina la capa vegetal cuyo espesor promedio es de 0,30 m.

Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

Las muestras van precedidas de las letras CL que significan: "Calicata Lomas", luego va colocado un número que corresponde al número de la calicata. Todas las muestras que han sido etiquetadas van acompañadas de una breve descripción visual de campo.



BIB. CA

CAPITULO IV  
INVESTIGACIONES DE LABORATORIO



BIBLIOTECA

4.1 ENSAYOS DE CLASIFICACION

A medida que avanzaba la campaña de campo, las muestras eran trasladadas al Laboratorio de Suelos en donde fueron sometidas a los ensayos correspondientes.

Para la ejecución de los ensayos se siguieron las normas de la ASTM que se detallan a continuación:

- Contenido de Humedad Natural                      ASTM D 2216-80
- Granulometría por lavado tamiz 200              ASTM D 1140-71
- Límites de Atterberg                                      ASTM D 4318-84
- Compactación Proctor Standard                      ASTM D 698-78

Los resultados de estos ensayos son presentados en la Tabla N°1 y han sido utilizados para clasificar a los suelos en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de acuerdo a la Norma ASTM D 2487-85. (1)

4.2 ENSAYOS DE EXPANSION

Los ensayos de expansión libre y controlada se ubican dentro de los métodos directos para identificar a los suelos potencialmente expansivos. Con estos ensayos se logra una determinación más

TABLA N° I  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CLASIFICACION

MUESTRA	$\gamma_d$ Kg/m <sup>3</sup>	W <sub>op.</sub> %	W <sub>n</sub> %	LL %	LP %	IP %	PASANTE TAMIZ N° 200	CLASIFI- CACION SUCS
CL-1	1335	34,7	42,1	81,4	29,2	52,2	97,7	CH
CL-2	1558	22,4	37,1	54,4	20,8	33,6	95,6	CH
CL-3	1398	28,4	34,7	42,3	19,4	22,9	95,5	CL
CL-4	1685	17,0	47,2	48,9	24,1	24,8	92,5	CL
CL-5	1533	24,0	37,2	82,2	31,1	51,1	96,4	CH
CL-6	1586	22,7	27,5	66,8	28,9	37,9	79,6	CH
CL-7	1607	21,5	42,7	48,4	23,8	24,6	91,5	CL
CL-8	1670	17,3	18,9	52,3	25,6	26,7	71,9	CH
CL-9	1830	15,8	9,9	NP	NP	NP	38,3	SC
CL-10	1693	16,3	12,5	36,6	17,1	19,5	74,7	CL
CL-11	1784	15,0	11,4	26,5	12,7	13,8	64,7	CL
CL-12	1670	18,5	22,2	44,6	17,4	27,2	81,1	CL
CL-13	1853	14,2	10,0	NP	NP	NP	42,3	SC
CL-14	1741	15,1	14,9	29,2	15,4	13,8	66,4	CL
CL-15	1776	14,5	17,3	34,0	15,4	18,6	73,2	CL
CL-16	1655	18,5	19,3	48,4	19,6	28,8	71,9	CL
CL-17	1840	14,7	20,4	25,3	10,7	14,6	67,2	CL
CL-18	1632	19,4	14,9	34,5	17,4	17,1	79,9	CL
CL-19	1550	23,6	10,7	35,2	13,3	21,9	63,8	CL
CL-20	1608	19,9	16,2	43,1	17,9	25,2	81,2	CL
CL-21	1620	21,3	20,1	56,6	27,6	29,0	60,5	CH
CL-22	1629	20,3	21,5	35,2	17,4	17,8	61,3	CL
CL-23	1592	18,5	13,6	38,3	14,9	23,4	75,6	CL
CL-24	1580	21,0	23,2	53,2	26,5	26,7	75,9	CH
CL-25	1593	22,0	17,1	44,4	18,8	25,6	63,4	CL

exacta del esfuerzo de expansión y del porcentaje de expansión - utilizando para ello el consolidómetro unidimensional.

Este tipo de ensayo no se encuentra normalizado en la ASTM, pero existe un ensayo que es utilizado para la determinación de los valores de expansión unidimensional y presión de expansión de mezclas suelo-cal que está normalizado como ASTM D 3877-80 y que representa una ampliación del método sugerido por Holtz y publicado por Chen (8).

Con estos antecedentes se ejecutaron los ensayos para la determinación de los parámetros de expansión tomando como referencia la densidad seca máxima y humedad óptima, datos obtenidos del ensayo de compactación Proctor Standard.

Los resultados de estos ensayos son presentados en la Tabla N<sup>o</sup>II.

#### 4.3 ENSAYOS MINERALÓGICOS

Entre los métodos existentes para la identificación mineralógica de los suelos está el Análisis Térmico Diferencial, el mismo que consiste en medir y comparar la diferencia de Temperaturas entre la muestra examinada y una sustancia inerte cuando ambas son calentadas rápidamente. La diferencia de temperaturas es posible-medirlas sobre el galvanómetro conectado a una pareja de termopares que se hallan en contacto con la muestra y la sustancia inerte.



TABLA N° II  
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EXPANSIÓN

MUESTRA	$\gamma_d$ Kg/m <sup>3</sup>	Wop. %	% COMPAC TACION	(S) %	EE Ton/m <sup>2</sup>	$\gamma_{seco}$ Kg/m <sup>3</sup>	$\gamma_{hum}$ Kg/m <sup>3</sup>	W <sub>i</sub> %	W <sub>f</sub> %
CL-1	1335	34,7	99,8	24,8	56,8	1332	1791	34,5	40,6
CL-2	1558	22,4	100,7	10,6	34,4	1569	1911	21,8	27,1
CL-3	1398	28,4	99,4	7,1	14,5	1389	1776	27,9	34,8
CL-4	1685	17,0	100,2	7,3	16,8	1687	1970	16,8	20,8
CL-5	1533	24,0	99,7	11,8	35,2	1529	1898	24,1	30,0
CL-6	1586	22,7	100,2	15,5	35,0	1589	1940	22,1	28,9
CL-7	1607	21,5	99,8	8,8	24,4	1604	1948	21,4	25,8
CL-8	1670	17,3	100,5	7,6	25,0	1677	1958	16,7	22,4
CL-9	1830	15,8	99,5	0	0	1821	2105	15,6	18,3
CL-10	1693	16,3	100,1	9,2	21,4	1694	1964	15,9	21,9
CL-11	1784	15,0	99,5	1,2	3,3	1775	2041	15,0	19,2
CL-12	1670	18,5	100,6	11,7	30,2	1681	1987	18,3	23,8
CL-13	1853	14,2	99,3	0	0	1840	2098	14,0	17,4
CL-14	1741	15,1	100,3	2,1	5,7	1746	2008	15,0	19,3
CL-15	1776	14,5	99,6	3,1	7,1	1769	2030	14,8	19,7
CL-16	1655	18,5	100,7	12,0	36,6	1669	1966	17,8	24,8
CL-17	1840	14,7	99,5	1,8	4,3	1831	2102	14,8	18,8
CL-18	1632	19,4	100,2	1,4	3,4	1635	1948	19,1	22,7
CL-19	1550	23,6	99,8	2,4	5,3	1548	1903	22,9	27,2
CL-20	1608	19,9	99,7	1,4	3,7	1603	1924	20,0	24,3
CL-21	1620	21,3	100,4	6,1	15,4	1633	1971	20,7	24,8
CL-22	1629	20,3	99,9	6,8	14,9	1628	1955	20,0	24,7
CL-23	1592	18,5	100,3	9,6	25,8	1596	1886	18,1	25,8
CL-24	1580	21,0	100,8	7,1	19,1	1592	1916	20,3	26,2
CL-25	1593	22,0	99,5	1,2	3,1	1584	1932	21,9	25,2



El ATD determina la temperatura a la cual las reacciones térmicas ocurren en un material, cuando es calentado continuamente a una temperatura elevada, así como también la intensidad y características generales de tales reacciones. (9)

Cuando se trata de minerales de arcilla, el ATD muestra reacciones endotérmicas y exotérmicas características, las primeras debido a la deshidratación y pérdida de la estructura del cristal, las segundas debido a la formación de nuevas fases a temperaturas elevadas.

Se ejecutaron 23 ensayos, los mismos que son presentados en curvas que se detallan en el Anexo N° 2 y cuya interpretación se la exhibe más adelante en este mismo capítulo.

#### 4.4 ENSAYOS QUIMICOS

El ensayo químico que hemos utilizado en el presente trabajo es el de la estimación de la capacidad de intercambio iónico (CII). El ensayo del azul de metileno ha sido especialmente diseñado para determinar la capacidad de las arcillas de absorber cationes de una solución previamente preparada. (3) (13)

Al igual que todos los métodos de intercambio iónico, el ensayo de azul de metileno mide la capacidad total de intercambio de una arcilla, siendo esta capacidad dependiente del tipo y contenido del mineral de arcilla presente.

Esta propiedad está aparentemente ligada al carácter expansivo de las arcillas.

El ensayo consiste en añadir varias cantidades de azul de metileno en dosis sucesivas a una muestra previamente saturada. Las muestras elegidas para nuestro caso se las ha tamizado por la malla N°200. A medida que se añaden las dosis, se coloca una gota de la suspensión sobre un papel filtro que formará una mancha color azul intenso, alrededor de la cual quedará una aureola. Cuando esta aureola adquiere un color azul claro, se entenderá que el ensayo es positivo, esto es, que la muestra de suelo no absorberá más azul de metileno. Luego de cinco minutos de producirse la última reacción, se repite el último paso del ensayo para asegurarse que la reacción ha sido total. Toma pocos minutos el análisis de una muestra por lo que se considera al análisis relativamente rápido. Para el estudio en mención, hemos tomado la cantidad de 0,5 ml. de azul de metileno como dosis sucesivas que añadidas a la muestra saturada en 15 ml. de agua destilada nos da como resultado una capacidad de intercambio iónico de 7,5 meq por 100 gramos de suelo por cada dosis añadida. Los resultados finales de estos ensayos se los detalla en la Tabla N° III.

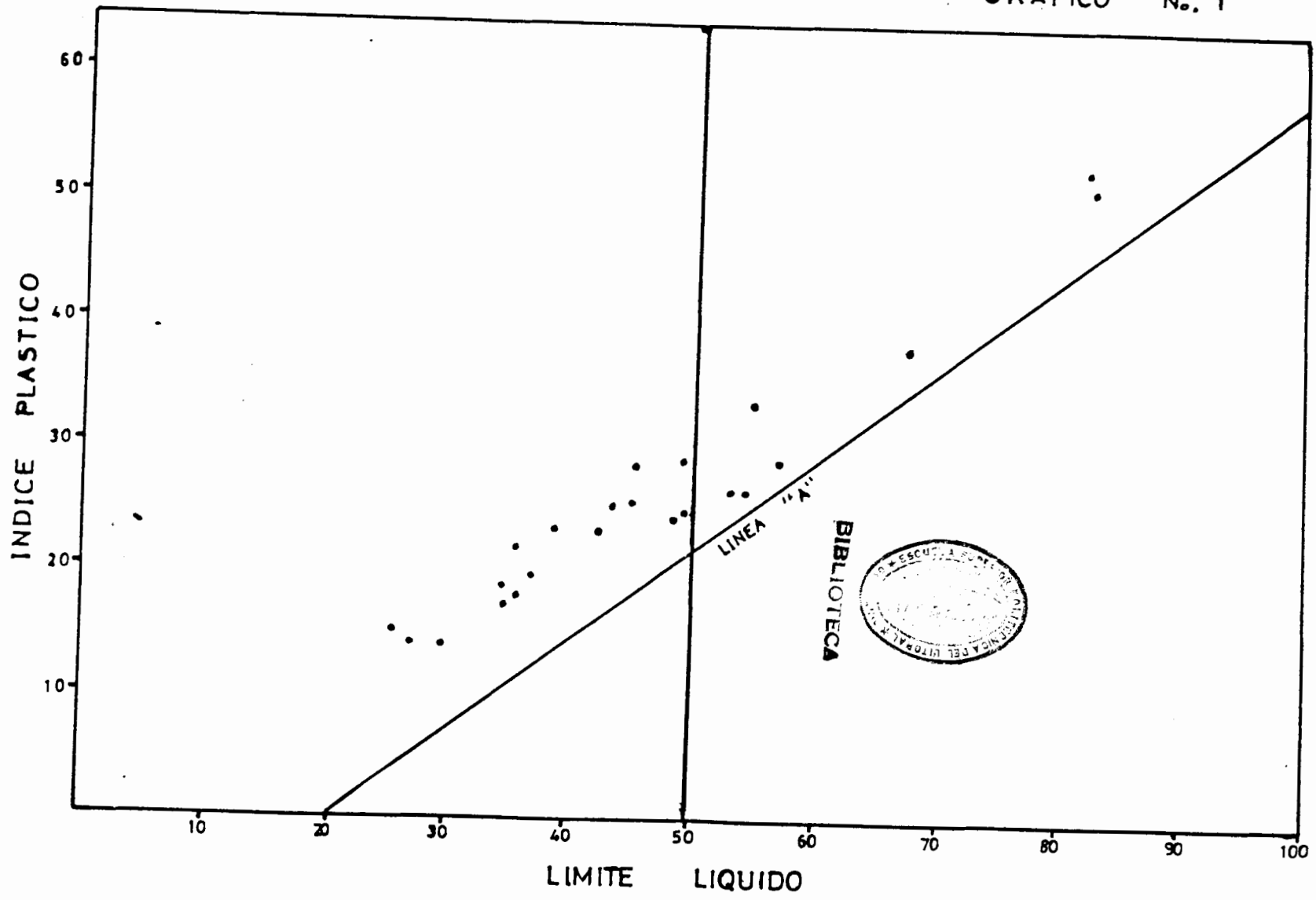
TABLA N° III  
DETERMINACION DEL CII POR EL AZUL DE METILENO

M U E S T R A	CII (meq/100 g de suelo)
CL-1	60,0
CL-2	22,5
CL-3	15,0
CL-4	15,0
CL-5	37,5
CL-6	30,0
CL-7	37,5
CL-8	37,5
CL-10	22,5
CL-11	15,0
CL-12	22,5
CL-14	15,0
CL-15	15,0
CL-16	30,0
CL-17	15,0
CL-18	15,0
CL-19	15,0
CL-20	15,0
CL-21	22,5
CL-22	22,5
CL-23	30,0
CL-24	22,5
CL-25	15,0

#### 4.5 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

Los diferentes ensayos de laboratorio realizados nos han servido para obtener una serie de resultados, que de una u otra forma han orientado en la consecución de los objetivos trazados en este trabajo. El análisis de los datos lo hacemos basados en las observaciones de campo y en los resultados de laboratorio obtenidos.

Los datos de los ensayos de clasificación muestran un comportamiento particular de los suelos ubicados dentro de la zona de Proyecto. Así tenemos, que la humedad natural de los suelos decrece al avanzar de Este a Oeste, exceptuando aquellos materiales recuperados en las partes más bajas. Lo mismo podemos decir, de la plasticidad de los suelos, que al igual que el contenido de arena varía de Este a Oeste. Las arcillas de alta plasticidad (CH), de tonalidades oscuras son más frecuentes en el lado Este del Proyecto, mientras que las arcillas de baja plasticidad (CL), de tonalidades claras y con significativos contenidos de arena que alcanzan hasta un 40%, se encuentran concentradas más hacia el Oeste del Proyecto. Todo ello coincide con la Geología de la zona, pues los aluviales más recientes están limitados por una serie de colinas de poca altura de tonalidades claras correspondientes a la Formación Balzar. Sin embargo, se han encontrado materiales de alta plasticidad en áreas aledañas al Río Magro y Estero Bijagual que pueden ser ubicadas en las terrazas de los mencionados afluentes del Daule. Inclusive aparecen dos muestras que corresponden a arenas arcillosas. En el Gráfico N° 1,



en la Carta de Plasticidad de Casagrande, han sido ubicados los suelos estudiados en el presente trabajo. Como se puede apreciar existe un predominio de arcillas CL sobre arcillas CH, ubicándose todos los suelos sobre la línea "A". Los valores de LL varían entre 25 y 82%, los de LP entre 10 y 29%, y los de IP se ubican entre 14 y 52%.

Seed, Woodwoed y Lundgreen en 1962, concluyeron que era posible calificar el Potencial Expansivo de un suelo a partir de sus propiedades índices, así: (16)

<u>Indice de Plasticidad</u>	<u>Potencial Expansivo</u>
0 - 15	Bajo
10 - 35	Medio
20 - 35	Alto
> 35	Muy alto

Basándonos en este método indirecto para predecir el Potencial Expansivo y de acuerdo a los resultados de laboratorio, podremos hacer una comparación, tal como lo demuestra la Tabla N° IV.

De acuerdo a estas relaciones, es posible llegar a las siguientes conclusiones para los suelos del Proyecto Lomas.



<u>Potencial Expansivo</u>	<u>S(Laboratorio)</u>	<u># de Muestras</u>
Bajo a Medio	1,2 a 2,1	3
Medio	1,4 a 9,2	7
Medio a Alto	6,1 a 10,6	10
Muy Alto	11,8 a 24,8	3

Tal como se mencionó en el numeral 4.2 se efectuaron ensayos de expansión libre y controlada, con los que se determinaron los parámetros de porcentaje de expansión (S) y esfuerzo de Expansión (EE) en las 25 muestras recuperadas. El valor de S varía entre 1,2 y 24,8%, mientras que el esfuerzo de expansión varía entre 3,1 y 56,8 Ton/m<sup>2</sup>, a excepción de las muestras CL-13 y CL-9 que resultaron ser no expansivas. En términos generales, las muestras más arenosas resultaron ser menos expansivas que las muestras con menor contenido de arena.

Las curvas presentadas en el Anexo N°2 son las resultantes de los ensayos térmico diferenciales. La identificación mineralógica de las arcillas a partir de las curvas del ATD es un proceso complicado que no sólo se basa en la comparación con las curvas patrón o standard (2), pues es sabido que, las diferentes formas que adoptan las curvas y los picos tanto endotérmicos como exotérmicos varían por diversas causas, como el tamaño y forma de los granos, la presencia de materia orgánica, y hasta la combinación o mezcla de 2 ó más minerales de arcilla. (14)

TABLA N° IV  
DETERMINACION DEL POTENCIAL EXPANSIVO A PARTIR DEL  
INDICE PLASTICO

MUESTRA	IP	POTENCIAL EXPANSIVO (seed y Otros)	S(%) (Laboratorio)
CL-1	52,2	Muy alto	24,8
CL-2	33,6	Medio a alto	10,6
CL-3	22,9	Medio a alto	7,1
CL-4	24,8	Medio a alto	7,3
CL-5	51,1	Muy alto	11,8
CL-6	37,9	Muy alto	15,5
CL-7	24,6	Medio a alto	8,8
CL-8	26,7	Medio a alto	7,6
CL-9	NP	Bajo	0
CL-10	19,5	Medio	9,2
CL-11	13,8	Bajo a Medio	1,2
CL-12	27,2	Medio a alto	11,7
CL-13	NP	Bajo	0
CL-14	13,8	Bajo a Medio	2,1
CL-15	18,6	Medio	3,1
CL-16	28,8	Medio a alto	12,0
CL-17	14,6	Bajo a medio	1,8
CL-18	17,1	Medio	1,4
CL-19	21,9	Medio	2,4
CL-20	25,2	Medio	1,4
CL-21	29,0	Medio a alto	6,1
CL-22	17,8	Medio	6,8
CL-23	23,4	Medio a alto	9,6
CL-24	26,7	Medio a alto	7,1
CL-25	25,6	Medio	1,2



Es necesario entonces, poner énfasis en ciertos aspectos que se los considera importantes en la identificación de los minerales de arcilla. Así, las caolinitas, por lo general presentan tres picos endotérmicos característicos seguidos de un pico exotérmico. El primer pico endotérmico ubicado siempre a temperaturas menores de  $200^{\circ}\text{C}$  y que está asociado con la remoción de agua absorbida. El segundo pico endotérmico se ubica entre  $450$  y  $600^{\circ}\text{C}$  y revela la pérdida de agua en la estructura misma del mineral. El tercer pico endotérmico localizado en los  $930^{\circ}\text{C}$  está precedida casi inmediatamente de un pico exotérmico y depende del grado de cristalinidad de las caolinitas. Las muestras CL-3, CL-11, CL-14, CL-15, CL-16, CL-17, CL-18, CL-19, CL-20, CL-23, presentan características similares a las descritas, por lo que podemos afirmar que estos materiales poseen caolinitas. Las illitas poseen características especiales en tres diferentes rangos de temperatura. De  $50$  a  $250^{\circ}\text{C}$  se evidencia un pico endotérmico asociado a la pérdida de humedad higroscópica y que suele hacerse máximo a los  $130^{\circ}\text{C}$ . De  $250$  a  $700^{\circ}\text{C}$  ocurre un segundo pico endotérmico, que se hace máximo a los  $550^{\circ}\text{C}$  y es producto de la pérdida de los grupos hidroxilos de las illitas. De  $800$  a  $1000^{\circ}\text{C}$  ocurre el derrumbamiento de la estructura anhidra y está asociado con un pico endotérmico cercano a los  $900^{\circ}\text{C}$ . Los materiales CL-2, CL-6, CL-7, CL-12, CL-22, CL-24 se ajustan a estas características. El grupo de las montmorillonitas presentan por lo general 2 picos endotérmicos característicos. El primero, que es bien largo, se manifiesta entre los  $100$  y  $300^{\circ}\text{C}$  y se debe a la pérdida del agua absorbida, es variable en su longitud debido a los iones presentes. El segundo

pico endotérmico se evidencia en la región de los 700°C y otro a los 900°C seguido inmediatamente de un pico exotérmico, y se deben a la pérdida de los grupos hidroxilos característicos de las montmorillonitas. Las curvas de los materiales CL-1, CL-4, CL-5, CL-10, CL-21, CL-22, CL-24 responden a las características antedichas. Es necesario también enfatizar que, la presencia de materia orgánica produce picos exotérmicos que representan la oxidación de compuestos absorbidos y se manifiestan entre los 200 y 550°C, como se aprecia en las muestras CL-3, CL-6, CL-7, CL-12, CL-15, CL-16, CL-24.

Los resultados de los ensayos químicos en los que se utilizó el método del azul de metileno para la determinación de la capacidad de intercambio iónico de las arcillas presentan valores que fluctúan entre los 15 y 60 meq/100 g. Ahora bien, sabemos que ciertos minerales de arcilla arrojan diferentes valores de CII, como las caolinitas de 3 a 15, las illitas de 10 a 40, el grupo de las montmorillonitas entre 70 y 150, por lo que es posible hacer una comparación con los datos obtenidos. (3)

Tomando en cuenta que en la Naturaleza es muy raro encontrar suelos en donde la totalidad de la fracción arcillosa esté compuesta de un solo mineral de arcilla y, que separar la fracción arcillosa de una muestra resulta ser muy difícil, podemos afirmar que los valores obtenidos no obedecen exclusivamente al contenido de un solo mineral de arcilla, sino más bien a la mezcla de 2 o más, en donde uno de ellos muchas veces predomina.

Podemos asumir para nuestro caso, que aquellos suelos con valores de CII de 15 meq/100 g poseen en su fracción arcillosa al grupo de las caolinitas como minerales de arcilla predominantes, de 22,5 a 37,5 a las illitas, y mayores de 37,5 a las montmorillonitas.

#### 4.6 CORRELACION DE PARAMETROS

Se ha procedido a analizar algunos de los parámetros obtenidos en laboratorio para poder establecer relaciones entre ellos, con el fin de determinar su incidencia en el fenómeno de expansión.

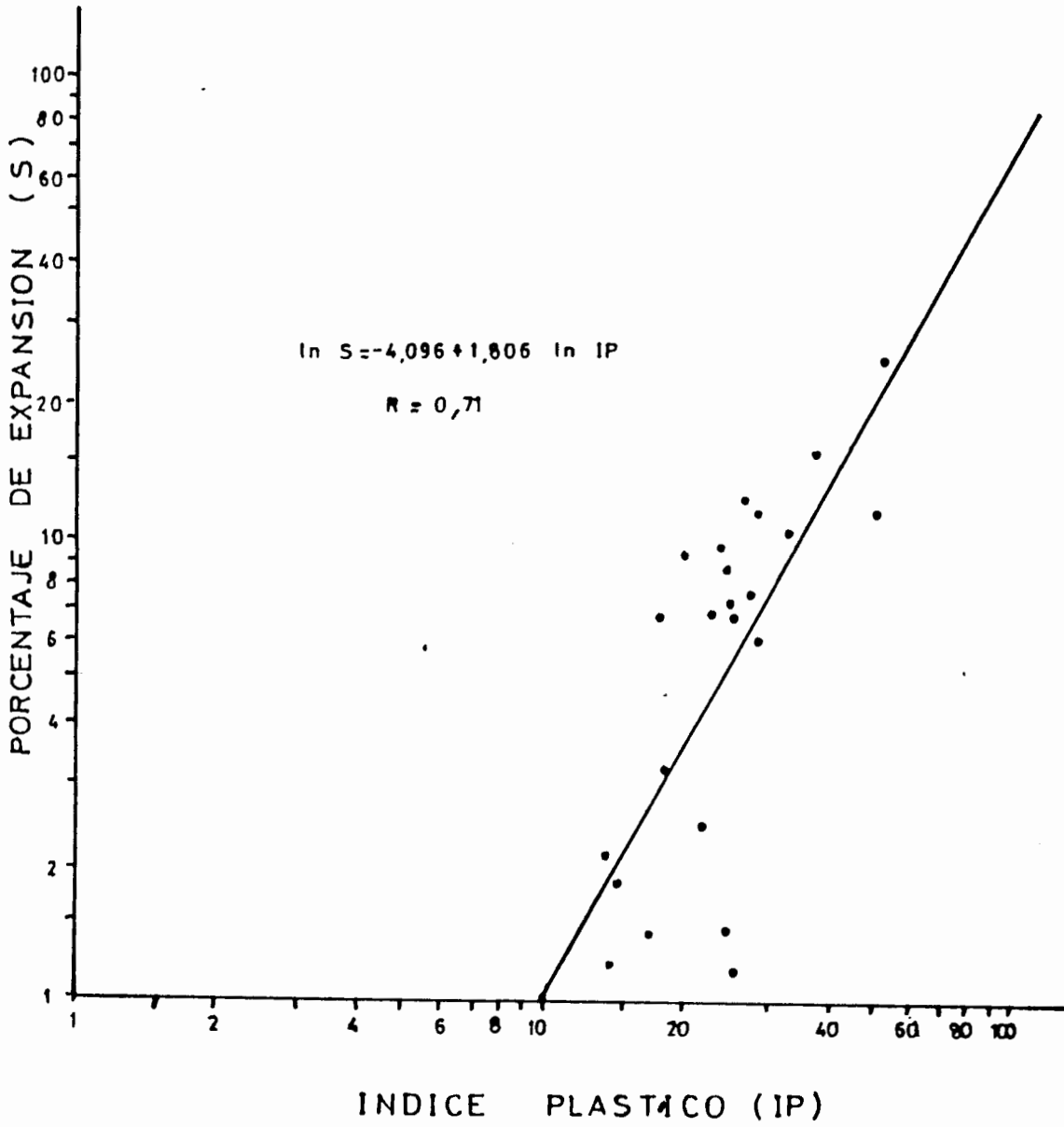
Los primeros parámetros correlacionados fueron el Porcentaje de expansión (S) con el Índice Plástico. A partir de aquí se evidencia una relación directamente proporcional entre ambos parámetros, a medida que aumenta el IP aumenta el Porcentaje de expansión. La ecuación que representa la ubicación de los puntos es:

$$\ln S = -4,096 + 1,806 \ln IP$$

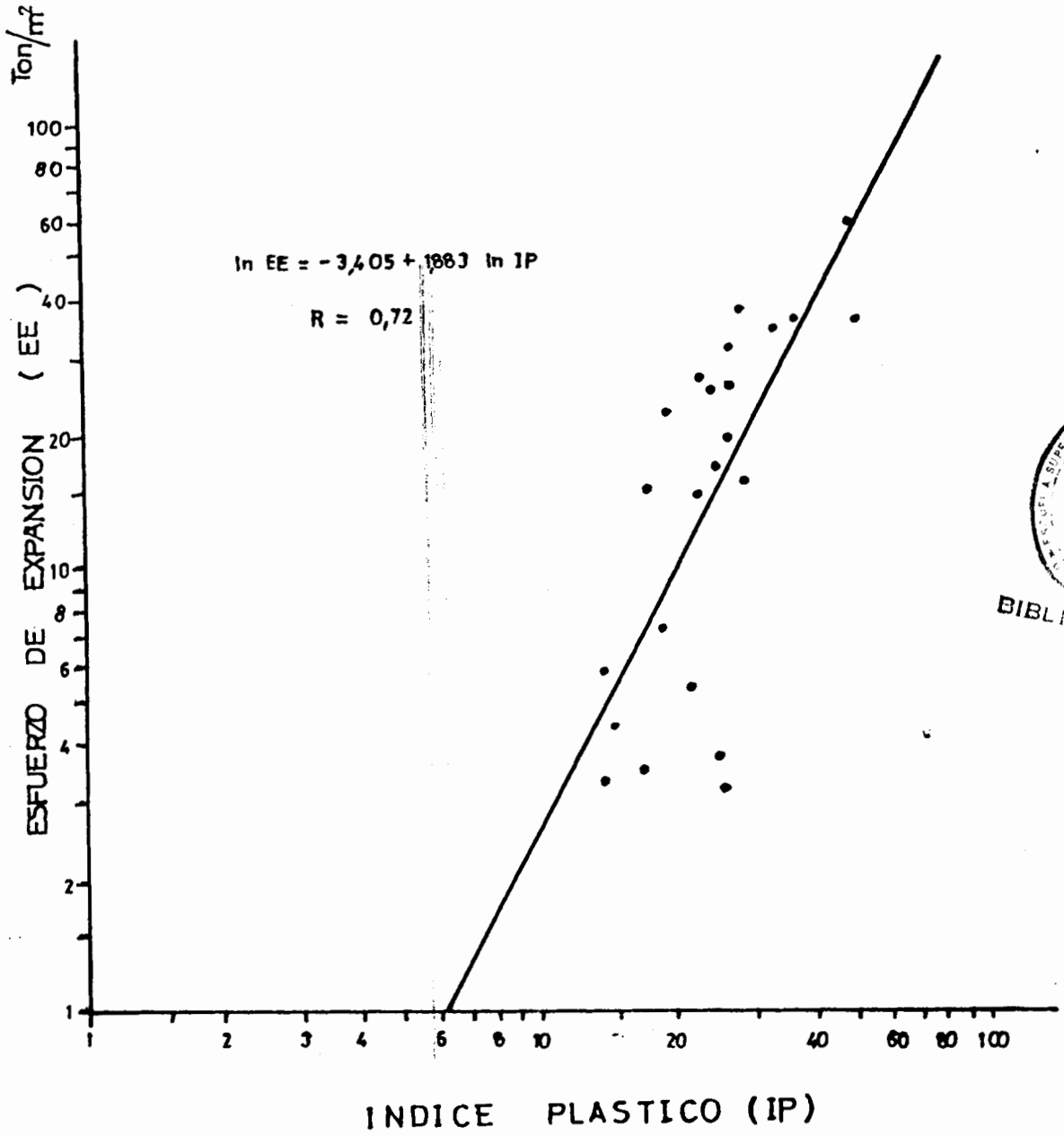
El coeficiente de Regresión R para esta relación es 0,71 y representa el grado de asociación de los datos ubicados en el Gráfico N°2.

En el Gráfico N°3 se correlacionaron los parámetros de esfuerzo de expansión vs. el Índice Plástico. Presentan el mismo comportamiento anterior, es decir, a medida que se incrementa el IP, se incrementa el esfuerzo de expansión. La ecuación que representa esta relación es:

# GRAFICO No. 2



# GRAFICO No. 3



$$\ln EE = -3,405 + 1,883 \ln IP$$

El coeficiente de Regresión para esta relación es 0,72 que refleja un aceptable grado de asociación de los datos relacionados.

El Gráfico N°4 establece correlación entre el Porcentaje de Expansión (S) y el esfuerzo de Expansión, el mismo que arroja una relación directamente proporcional entre ambos parámetros, con un coeficiente de Regresión de 0,99 que evidencia un excelente grado de asociación de los datos obtenidos como así lo demuestra la recta obtenida y cuya ecuación es:

$$\ln S = -0,864 + 0,971 \ln EE$$

Como se puede notar, se ha correlacionado de diferentes formas parámetros como el Índice Plástico, Porcentaje de Expansión y Esfuerzo de Expansión.

En el Gráfico N°5 relacionamos la Capacidad de Intercambio Iónico (CII) con el porcentaje de Expansión (S). Nótese que para un mismo valor de CII de 15, existen varios valores de S que van desde 1,2 a 8%. A su vez para una CII de 22,5 los valores de S fluctúan entre 6 y 14%.

En el Gráfico N°6 y 7 relacionamos la Capacidad de Intercambio Iónico (CII) con el Esfuerzo de Expansión y con el Índice Plástico respectivamente. En el primero, para un mismo valor de CII de

# GRAFICO No. 4

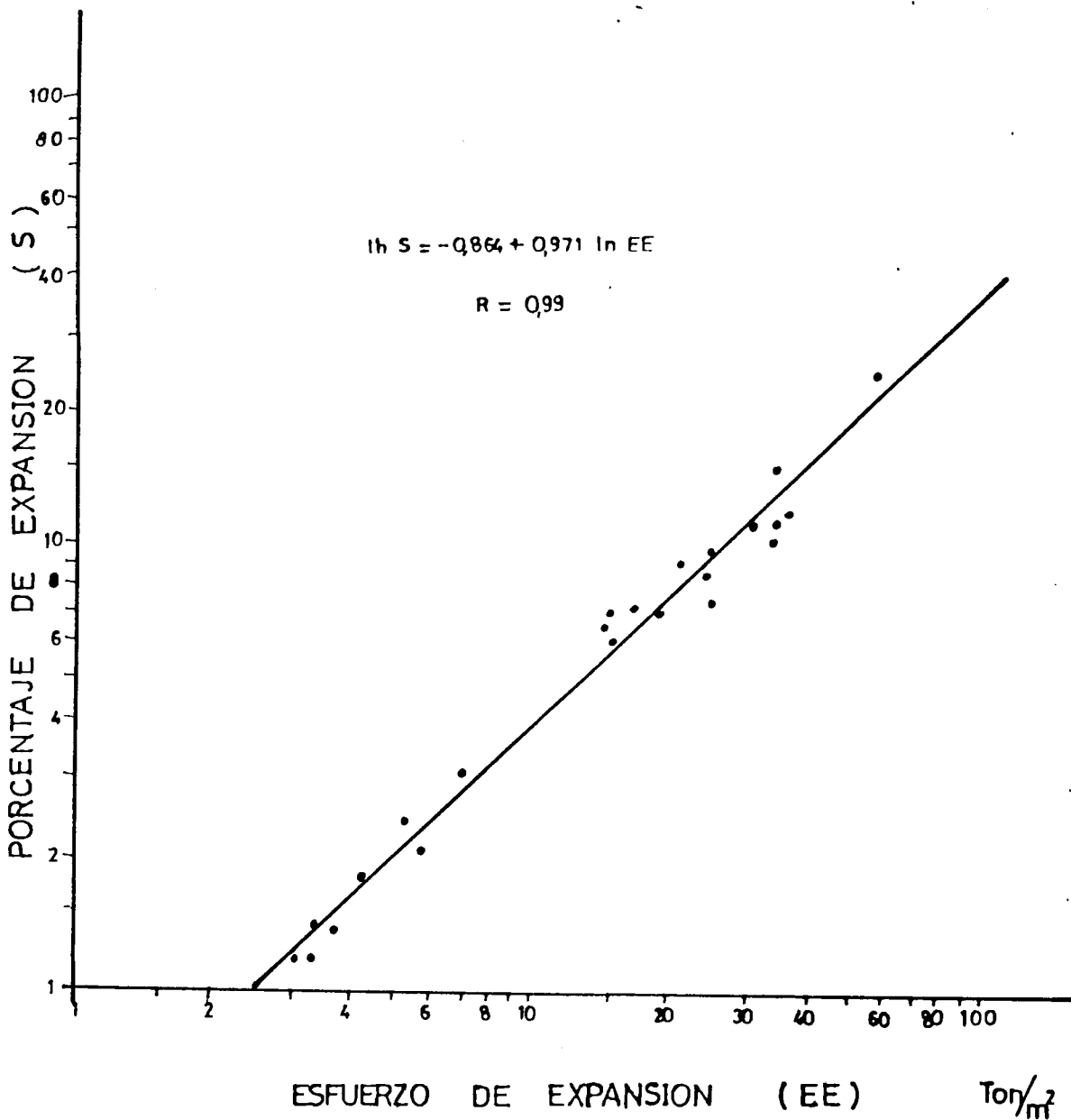


GRAFICO N. 5

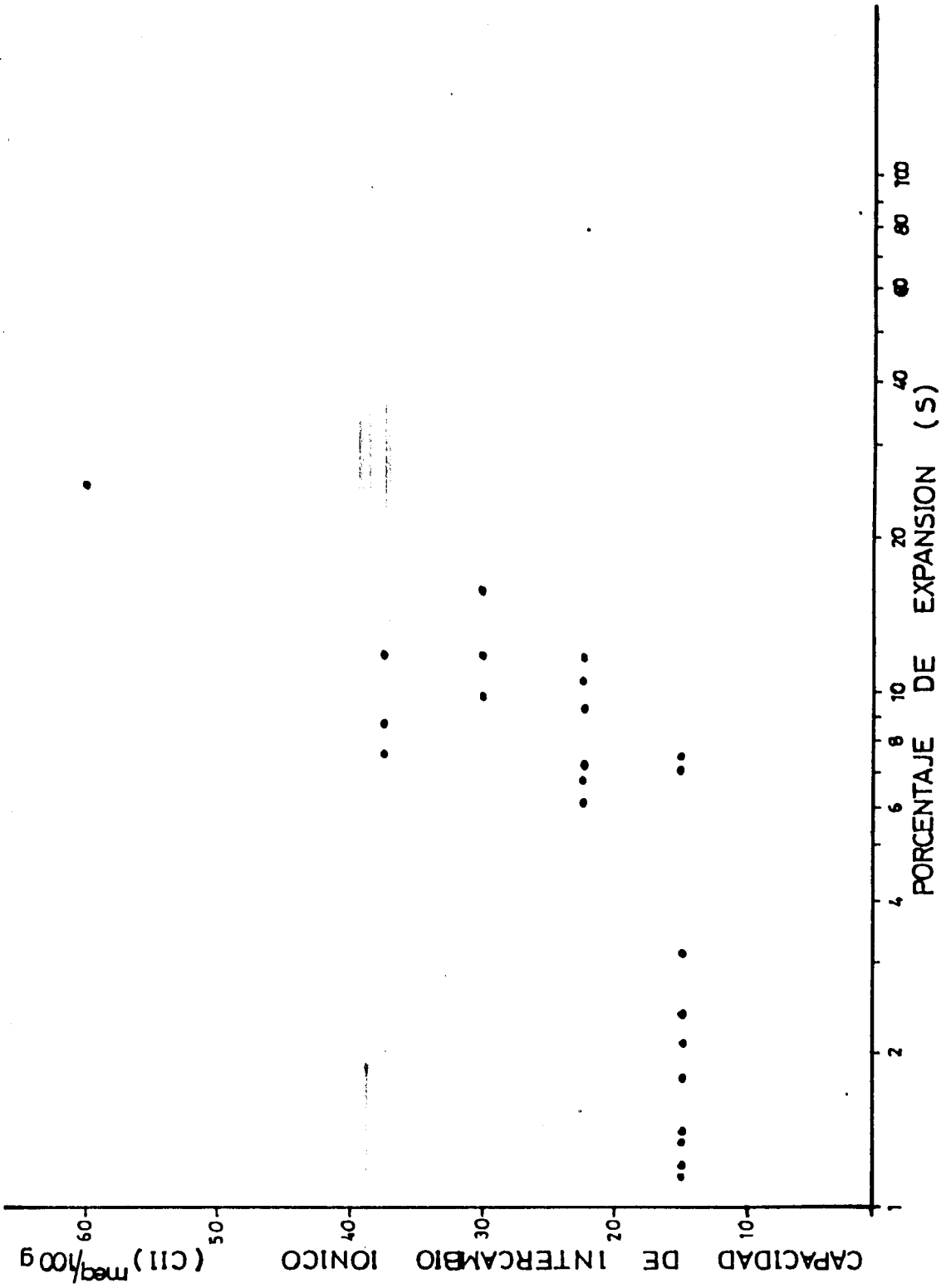
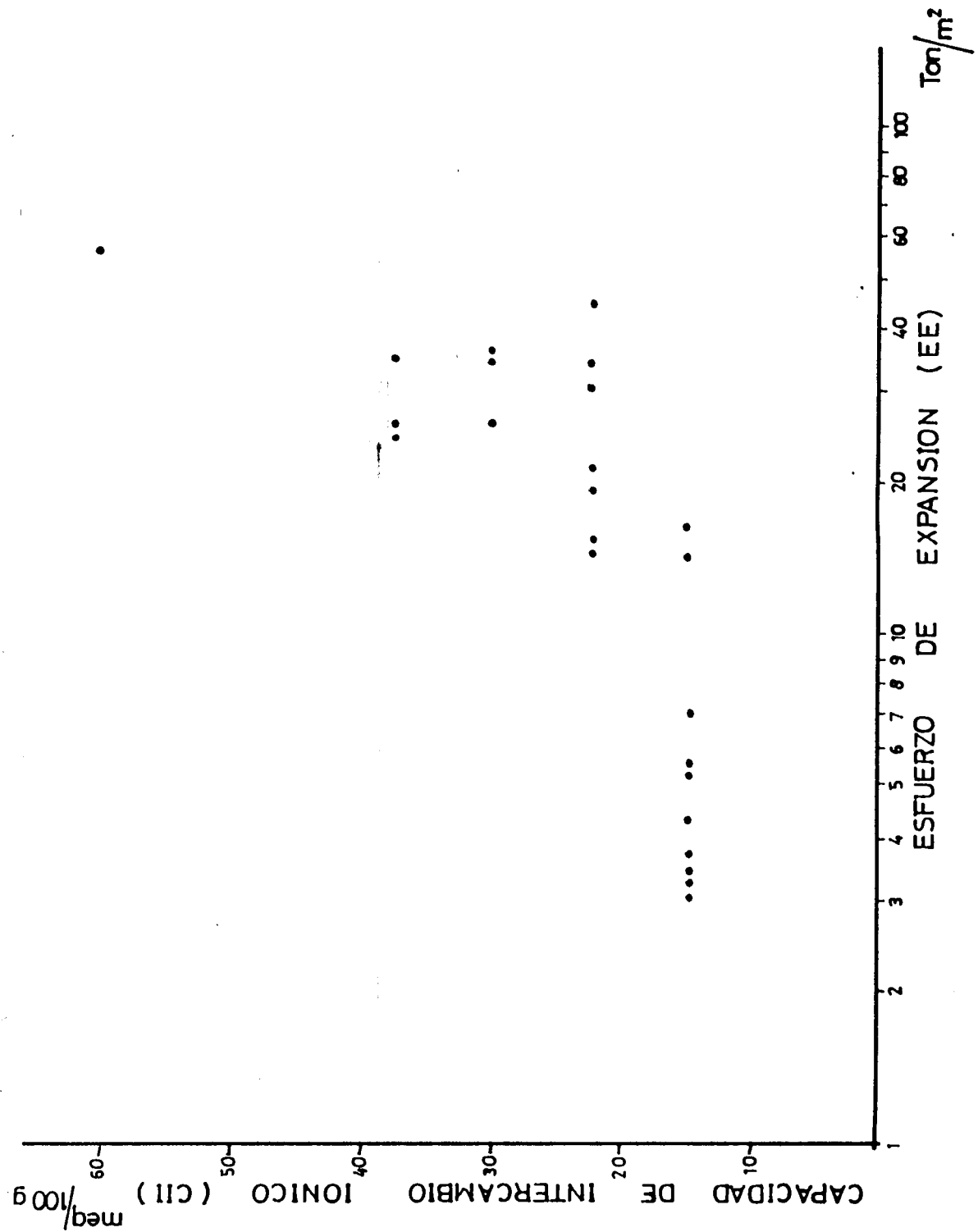
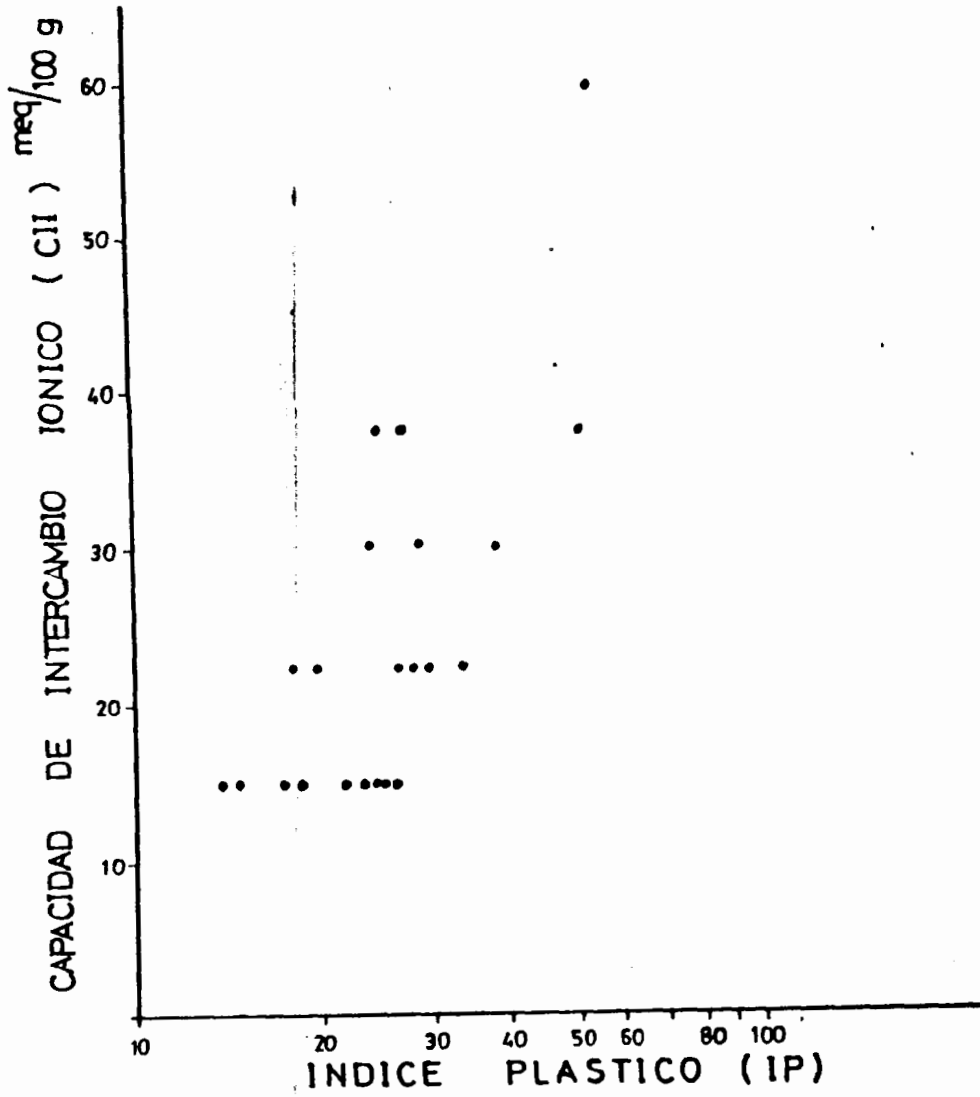




GRAFICO No. 6



## GRAFICO No. 7



15, existen 10 valores de esfuerzo de expansión que van de 3 a 17 Ton/m<sup>2</sup>. En el Gráfico N°7 se presentan casos similares a los gráficos Nos. 5 y 6.

Estas dispersiones aparecen en los gráficos donde se correlaciona la CII con otros parámetros, por tal motivo no hemos creído procedente representar el lugar geométrico de los datos con una ecuación. A pesar de ello, existe una tendencia en los tres gráficos últimos de, a medida que se incrementan los valores de la CII, se incrementan también los valores de Porcentaje de Expansión, Esfuerzo de Expansión e Índice Plástico.

## CAPITULO V ZONIFICACION GEOTECNICA EN BASE A LA EXPANSIVIDAD

### 5.1 UTILIZACION DE LA GEOLOGIA

En base a las investigaciones preliminares realizadas tanto a nivel regional como local, y reforzando esta información con las observaciones de campo y resultados de laboratorio, es posible realizar una zonificación de los diferentes materiales que se hallan en el subsuelo del Proyecto que investigamos, con el fin de asociar a estos materiales de acuerdo a su comportamiento mecánico.

Ya hemos afirmado la existencia de sedimentos recientes del Daule cubriendo una gran parte del Proyecto, así como también el afloramiento de la Formación Balzar hacia el lado Oeste del mismo. Estas dos unidades litológicas son las que cubren la zona investigada y cuyo contacto estimado es visible en el Plano N°1.

Los sedimentos recientes en su mayoría son arcillas de tonalidad oscuras que van desde grises hasta marrones ligeramente amarillentas, con evidencias de pequeñas partículas de yeso, son de humedad media, consistencia de media a firme y de plasticidad de media a alta. Geomorfológicamente estos depósitos aluviales corresponden a la gran llanura aluvial del Daule. Materiales semejantes han sido encontrados en los sedimentos aterrizados del Río Magro y Bijagual. En general, esta zona es bastante plana y de

poca elevación.

Los materiales residuales pertenecientes a la Formación Balzar pueden ser identificados por su tonalidad clara y de color amarillento o crema. Son fácilmente ubicados hacia el lado Oeste del Proyecto y están asociados geomorfológicamente con elevaciones de poca altura y baja pendiente. Son por lo general arcillas residuales de humedad media a baja, de plasticidad media a baja, y de consistencia de media a firme. Ocasionalmente encontramos arenas arcillosas o limosas que están ubicadas en las partes más altas de la zona investigada. En las depresiones es posible encontrar depósitos aluviales que se encuentran mezclados con materiales residuales de la Formación Balzar.

## 5.2 DELIMITACION DE LAS AREAS DE SIMILARES POTENCIALES EXPANSIVOS

Tomando en consideración básicamente los resultados de laboratorio y la distribución geológica de los materiales encontrados en la zona podemos afirmar lo siguiente:

### Zona A

La caracteriza aquellos suelos muestreados que están ubicados en la zona de depósitos aluviales. Presentan un alto potencial expansivo que está asociado también con su alta plasticidad y con la Montmorillonita como mineral predominante presente en su estructura mineral. Estos suelos han llegado a tener hasta 24,8% de potencial expansivo. La presencia de cierta cantidad de materia orgánica evidenciada por el ATD, en algunas muestras, sirve de referen-

cia en las tonalidades y colores de los suelos investigados.

### Zona B

Esta zona se caracteriza porque los suelos encontrados poseen un potencial expansivo de medio a alto, asociado con plasticidades - que van de medio a alto. Están ubicados en áreas pertenecientes a las terrazas de los Ríos Magro y Bijagual y por ello deben ser considerados como depósitos aluviales. En su contenido mineralógico aparecen como mezclas de dos o más minerales, estando presente la Illita al parecer en menor cantidad que otros minerales de arcilla.

### Zona C

Está caracterizada por los suelos de tonalidades claras que tienen un potencial expansivo de medio a bajo y mineralógicamente predominan las Caolinitas, aunque existen fuertes indicios de Illita.

Los suelos de esta zona están vinculados en gran parte con la Formación Balzar. En las depresiones existe una mezcla de suelos de origen aluvial y residual, que arrojan resultados un poco altos de plasticidad, con potenciales expansivos un poco altos.



BIBLIOTECA

## CÓNCLUSIONES

- De los resultados de los análisis se puede concluir que los suelos provenientes de los depósitos aluviales del Río Daule son más expansivos que los suelos residuales pertenecientes a la Formación Balzar. Los primeros presentan valores de Potencial Expansivo calificados como muy altos y de medio a alto. Los segundos, el potencial expansivo es medio y a veces de medio a alto.
- Se ha comprobado la relación existente entre las propiedades Índices de los suelos con la expansividad de los mismos. Dicha relación es directamente proporcional, tanto para el porcentaje de expansión como para el esfuerzo de expansión y, con coeficientes de Regresión del orden de 0,72 que representa un aceptable grado de asociación de los datos relacionados.
- La utilización de los métodos directos para la determinación de los parámetros de expansión constituye el medio más idóneo para la predicción de la expansividad de los suelos. La relación entre el porcentaje de expansión y el esfuerzo de expansión para los materiales investigados en la zona presenta un coeficiente de Regresión del orden de 0,99 que es muy significativo y demuestra efectividad en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

- La existencia de suelos muy expansivos en al Zona C se debe posible mente a acumulaciones de suelos provenientes de depósitos aluviales, o a interestratificaciones de éstos con suelos residuales de la For mación Balzar.
- La composición mineralógica de los suelos es indicativo de la expan sividad de los mismos. El análisis Térmico Diferencial (ATD) es el método utilizado para la determinación de la misma. En el Anexo - N°2 se exponen las curvas resultantes de los suelos investigados, y como se podrá notar, la presencia de Montmorillonitas en las Zonas A y B, determina que estas zonas sean potencialmente expansivas, va riando esto de acuerdo a la proporción del mineral presente en la muestra.
- De los resultados del Método del Azul de Metileno y su posterior co rrelación con otros parámetros de los suelos, se ha demostrado que existe cierta tendencia de la CII a ser directamente proporcional - con los parámetros relacionados, porcentaje de expansión, esfuerzo de expansión, e Índice Plástico. Sin embargo, es evidente que la - dispersión de los datos conlleva a afirmar que el ensayo del Azul - de Metileno no es lo suficientemente Cuantitativo ni exacto. Sería interesante intentar hacer los ensayos con dosis sucesivas que no - superen los 0,5 ml. esto es, 0,1 ml. para obtener resultados más - aproximados, lo que nos llevaría a afirmar que el método dejaría de ser de procedimiento expeditivo.





## RECOMENDACIONES

- Con el fin de tener mayor información, y para verificar los límites de las zonas trazadas, se recomienda intensificar el muestreo, sobre todo en aquellos lugares que hacen de frontera natural de las zonas delimitadas en la zonificación.
- Las curvas que resultan del ATD deberán ser más detenidamente estudiadas, pues de ellas es posible obtener información adicional como lo son, el tipo y la cantidad de materia orgánica, la proporción de los diferentes minerales de arcilla presentes en cada muestra, entre otras.
- Deberá tratarse las muestras ensayadas tanto para el método del Azul de Metileno, como para el ATD de tal manera que sea sólo la fracción  $< 2\mu$  la ensayada.
- Se recomienda incrementar la profundidad de muestreo, para determinar la variabilidad de las propiedades de los suelos con el aumento de la profundidad.
- Sería interesante llevar a cabo una investigación sobre resistencia al corte de las muestras ensayadas con el fin de obtener mayor información sobre las propiedades geomecánicas de estos suelos.

- *El ATD además, reveló la existencia de materia orgánica en algunas muestras de la zona investigada, lo que fue asociado con depósitos aluviales y con la coloración de los suelos.*

A N E X O S

ANEXO N°1  
PERFILES ESTRATIGRAFICOS Y PROPIEDADES FISICAS  
DE LOS SUELOS













ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Nov./86

ESCALA : 1:20

CALICATA N. CL-6

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	Wn	LL	LP	Pasante Tamiz N. 200
✓✓✓	Capa vegetal				
✓✓✓	Arcilla gruesa con arena marrón oscuro, poco húmeda plasticidad alta, consistencia rígida. Con intercalaciones de arena limosa.	27.5	66.8	28.9	79.6





ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Nov./86

ESCALA: 1:20

CALICATA N. CL-8

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS.			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	Wn	LL	LP	Pasante Tamiz N.º 200
✓✓✓ ✓✓✓ ✓✓✓	Capa vegetal				
	Arcilla grasa con arena amarillo oscura, poco húmeda, plasticidad alta, consistencia media.	18.9	52.3	25.6	71.9



BIBLIOTECA





ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Dic./86

ESCALA: 1:20

CALICATA N. CL-11

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	W <sub>n</sub>	LL	LP	Pasante Tamiz N. 200
	Capa vegetal				
	Arcilla magra arenosa amarillo claro. seca. plasticidad baja. consistencia media.	11.4	26.5	12.7	64.7



BIBLIOTECA

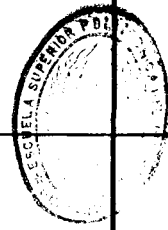




ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA  
 FECHA: Dic./86  
 ESCALA: 1:20

CALICATA N° CL-13

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	Wn	LL	LP	Pasante Tamiz N.º 200
✓ ✓ ✓	Capa vegetal				
•••	Arena arcillosa amarillo cremosa, seca, compacidad media.	10.0	NP	NP	42.3



BIBLIOTECA



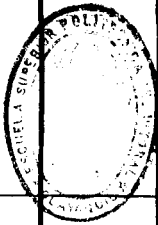
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Dic./86

ESCALA: 1:20

CALICATA N. CL-15

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	W <sub>n</sub>	LL	LP	Pasante Tamiz N. 200
✓✓✓	Capa vegetal				
✓✓✓	Arcilla magra con arena amarillo claro algo cremosa, poco húmeda, plasticidad media, consistencia rígida.	17.3	34.0	15.4	73.2



BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Dic./86

ESCALA: 1:20

CALICATA No. CL-16

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS .			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	W <sub>n</sub>	LL	LP	Pasante Tamiz N.º 200
✓✓✓✓	Capa vegetal				
▨▨▨▨	Arcilla magra con arena amarilla clara, poco húmeda, plasticidad media, consistencia media.	19.3	48.4	19.6	71.9







ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Dic./86

ESCALA: 1:20

CALICATA No. CL-19

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	W <sub>n</sub>	LL	LP	Pasante Tamiz No. 200
	 Capa vegetal				
	 Arcilla magra arenosa amarilla oscura. seca. plasticidad media. consistencia media.	10.7	35.2	13.3	63.8

BIBLIOTECA

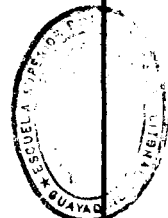




ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA  
 FECHA: Dic./86  
 ESCALA: 1:20

CALICATA N. CL-21

PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	Wn	LL	LP	Pasante Tamiz N. 200
✓✓✓	Capa vegetal				
▨	Arcilla grasa arenosa crema amarillenta clara, poco húmeda, plasticidad alta, consistencia rígida.	20.1	56.6	27.6	60.5



BIBLIOTECA







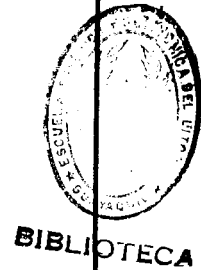
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FECHA: Nov./86

ESCALA : 1:20

CALICATA N. CL-25

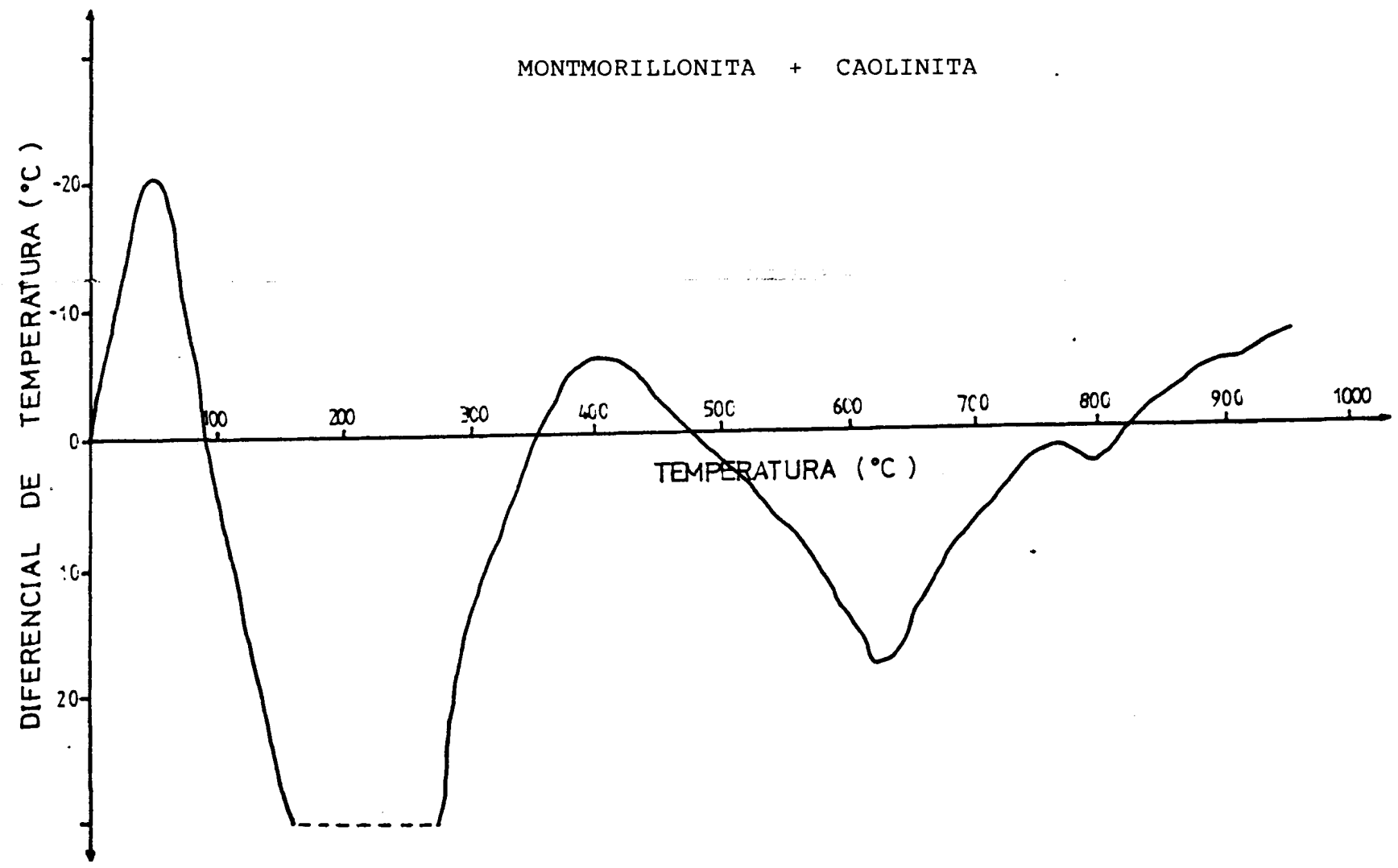
PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO		PROPIEDADES FISICAS			
Prof. (m.)	DESCRIPCION	Wn	LL	LP	Pasante Tamiz N. 200
	<i>Capa vegetal</i>				
	<i>Arcilla magra arenosa marrón claro, poco húmeda, plasticidad media, consistencia media.</i>	17.1	44.4	18.8	63.4



ANEXO N°2  
ANALISIS TERMICO DIFERENCIALES

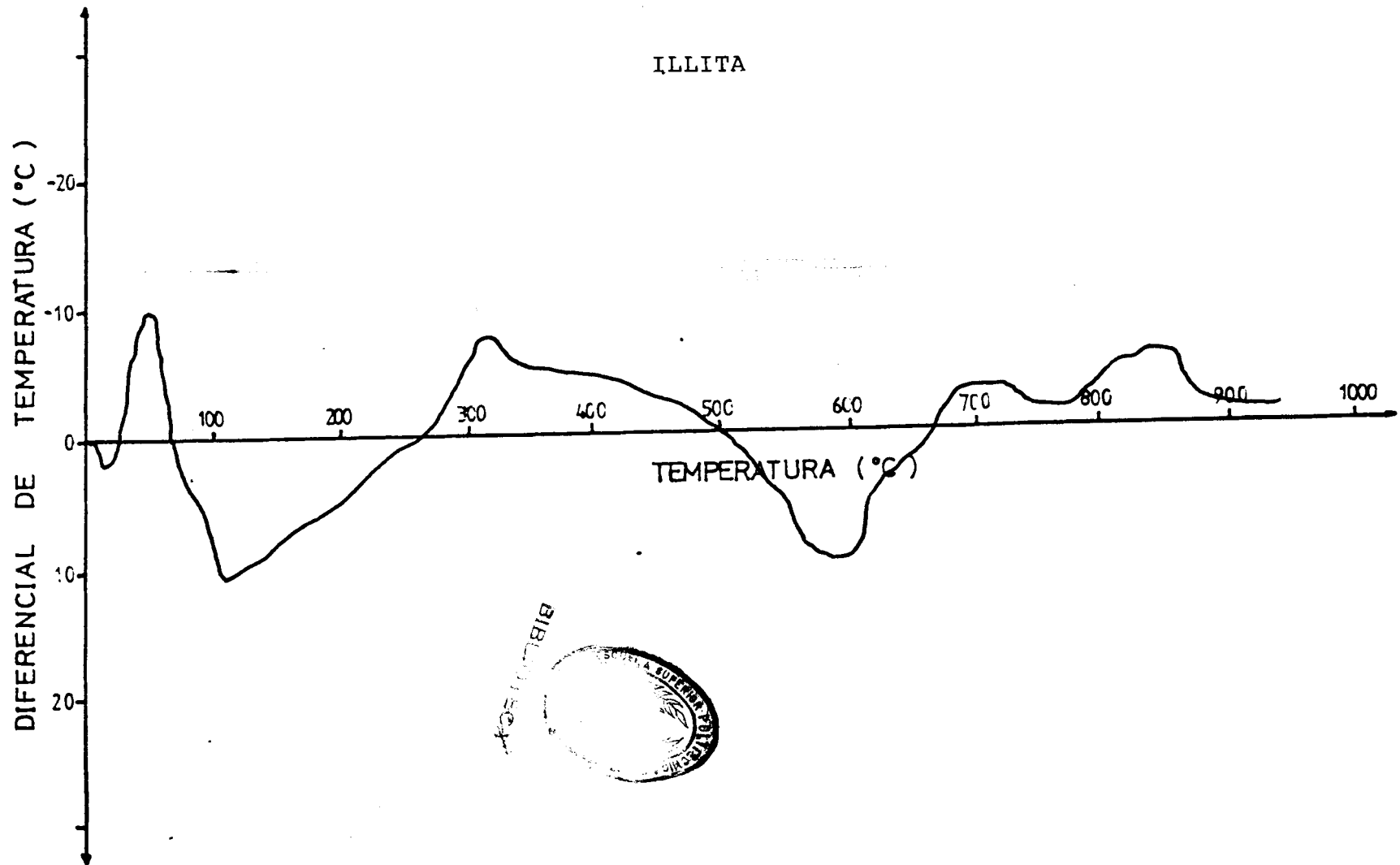
MUESTRA CL - 1

MONTMORILLONITA + CAOLINITA



MUESTRA CL - 2

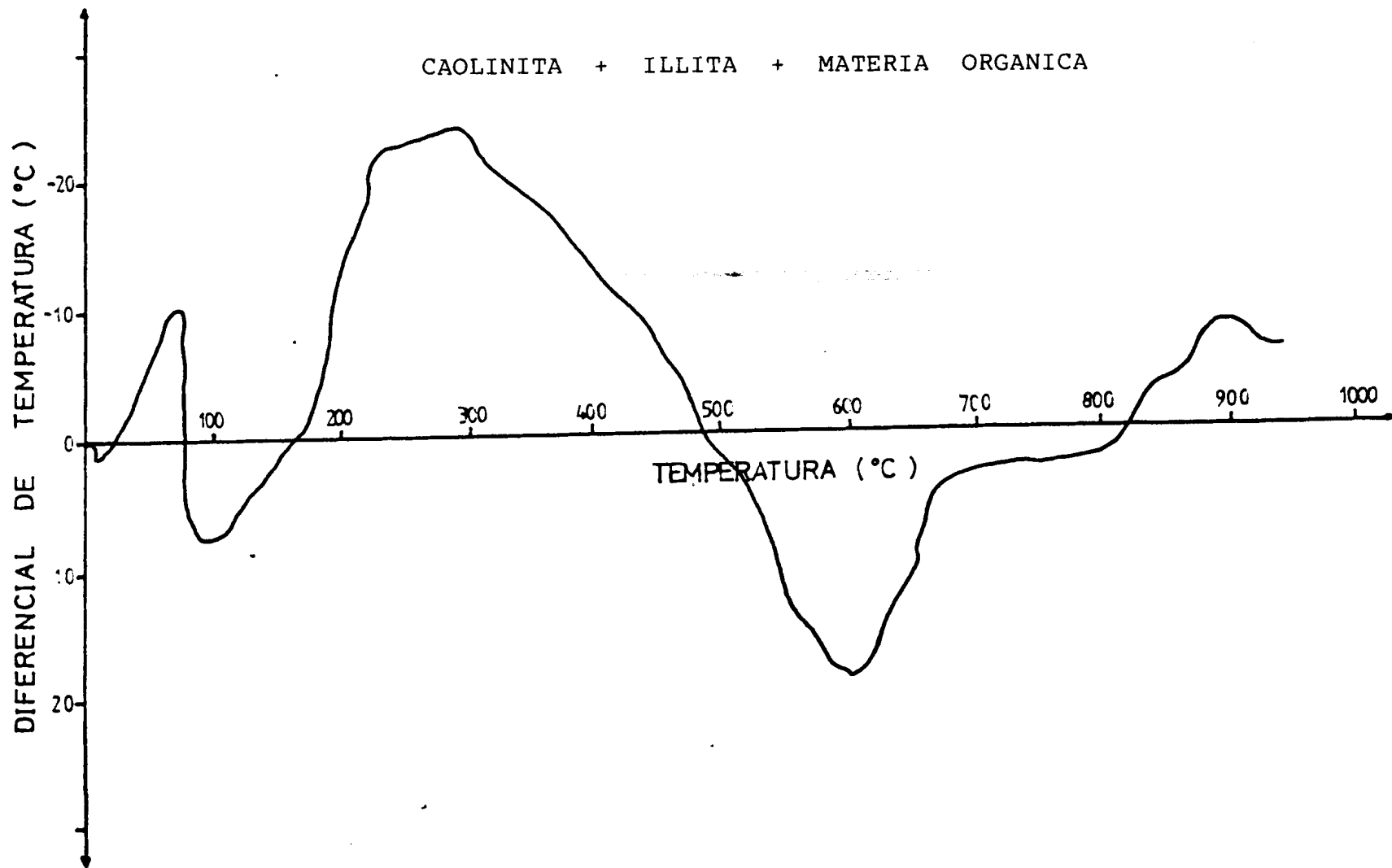
ILLITA





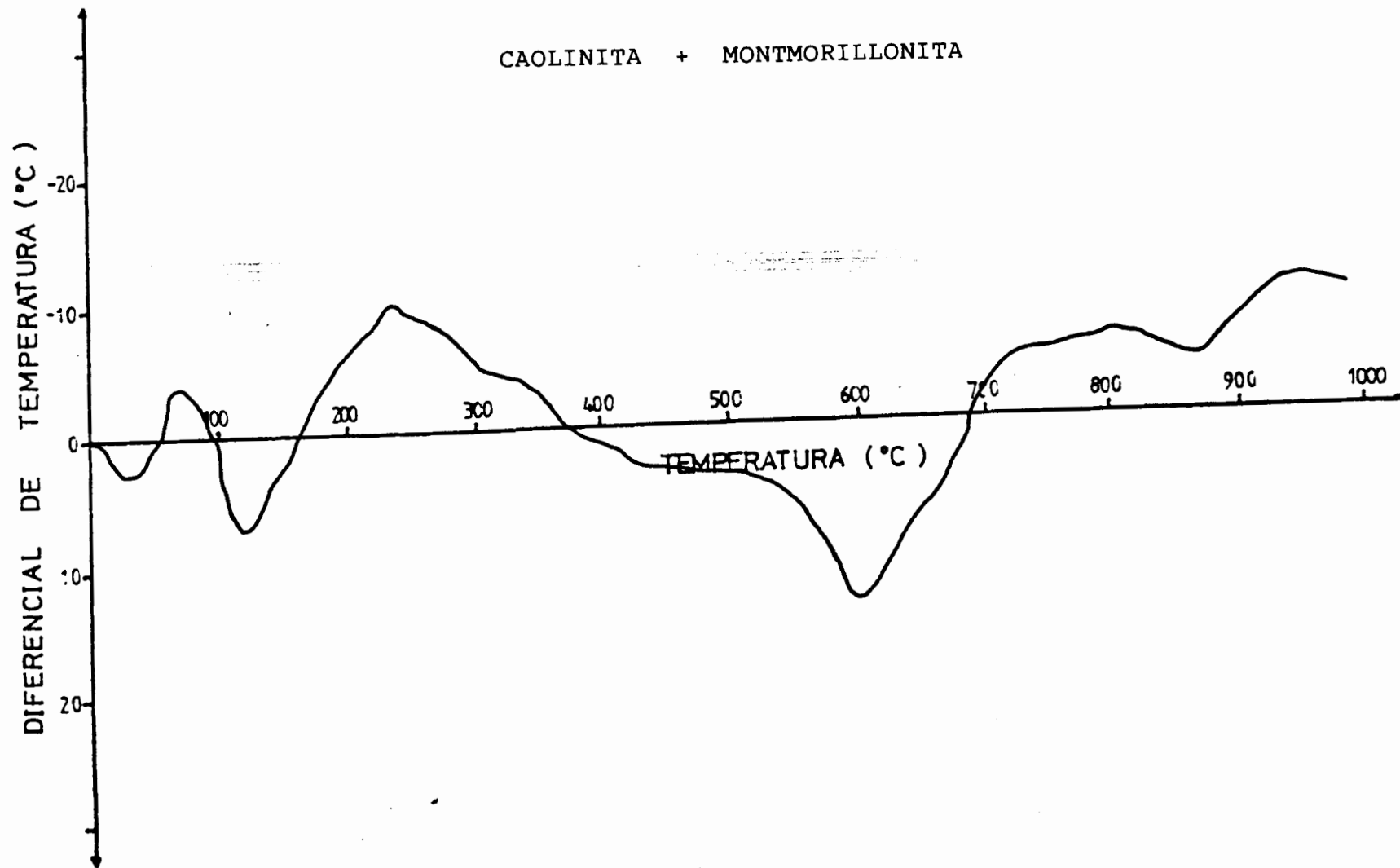
MUESTRA CL - 3

CAOLINITA + ILLITA + MATERIA ORGANICA



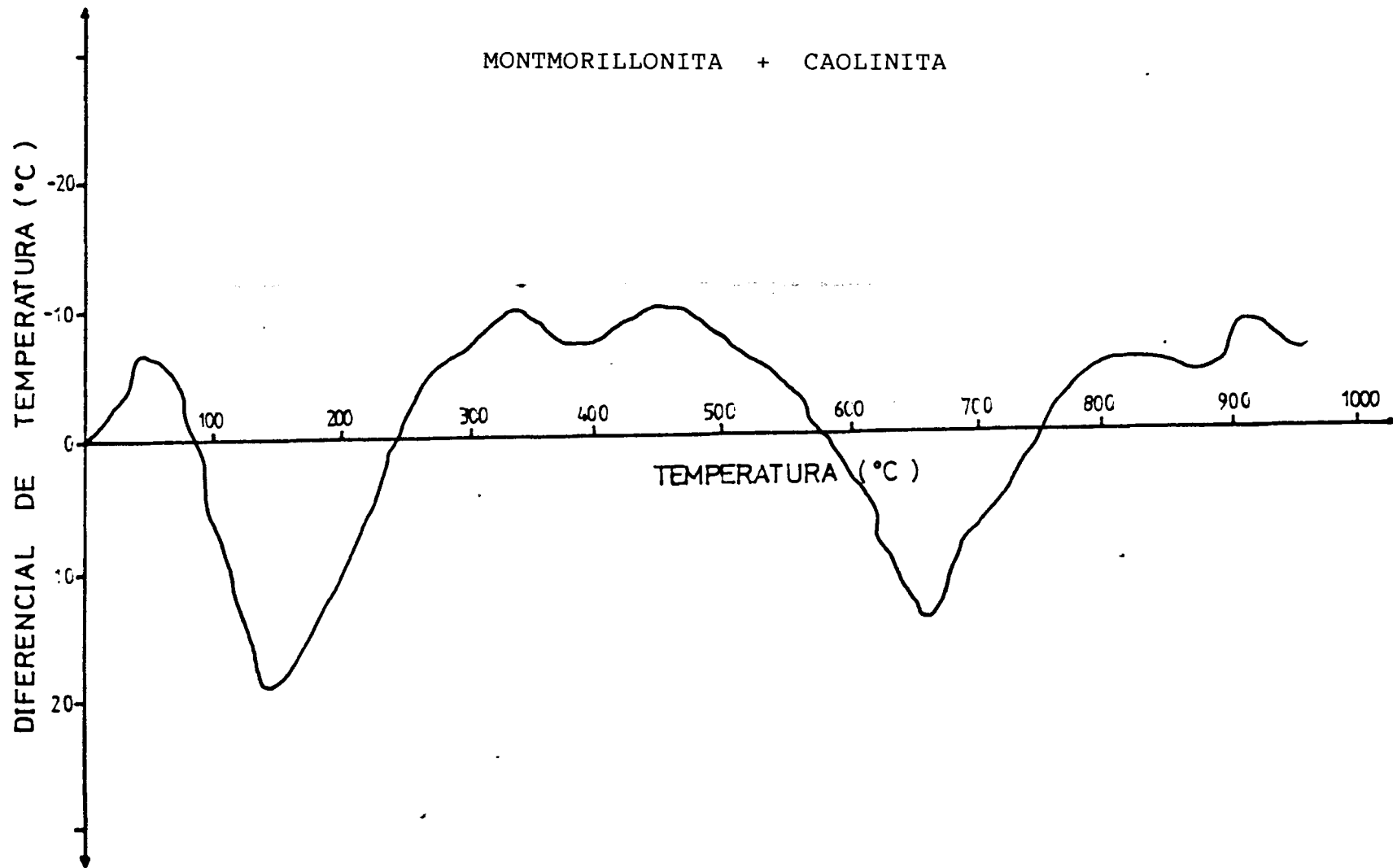
MUESTRA CL - 4

CAOLINITA + MONTMORILLONITA



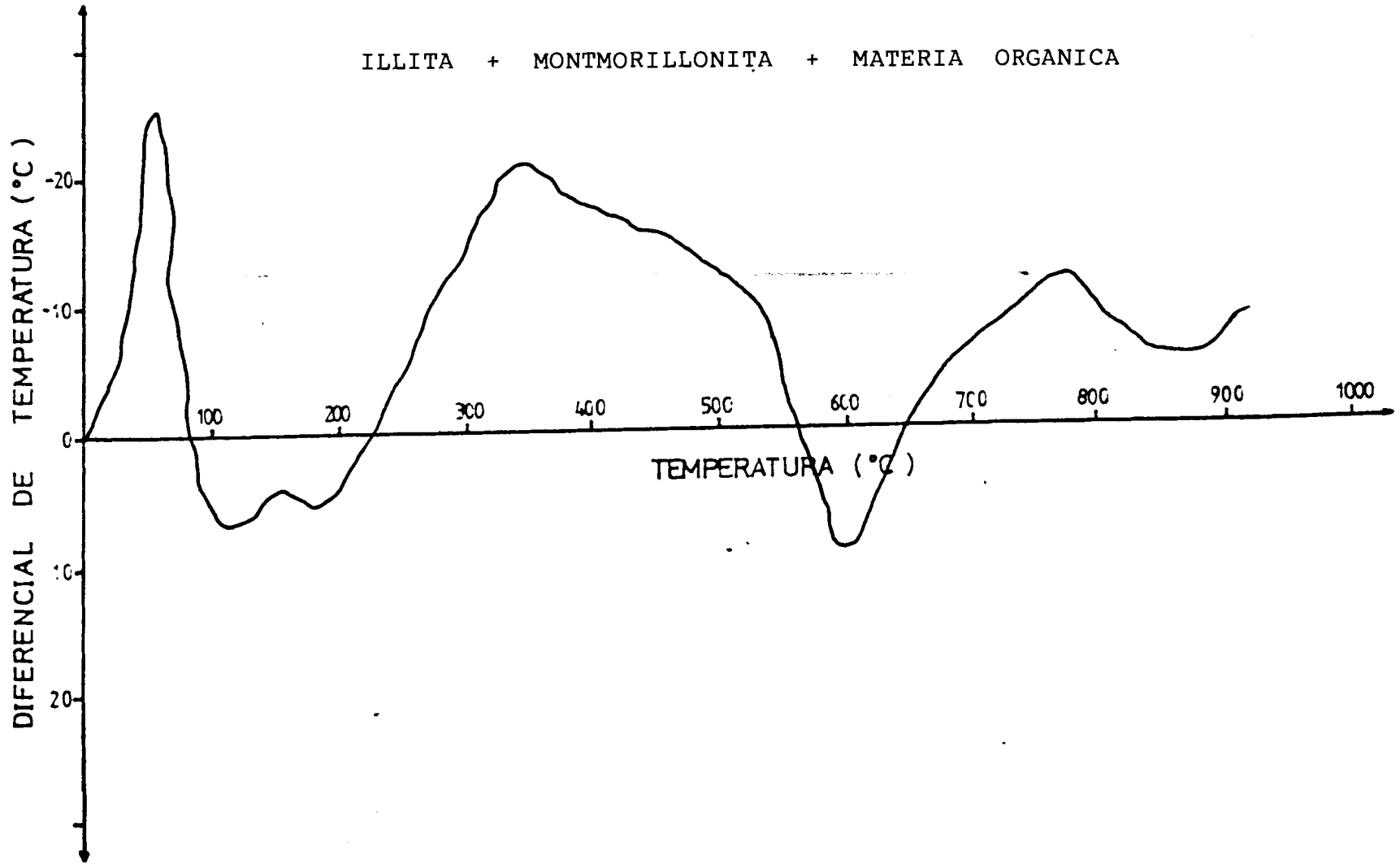
MUESTRA CL - 5

MONTMORILLONITA + CAOLINITA



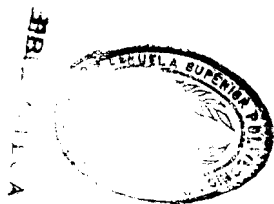
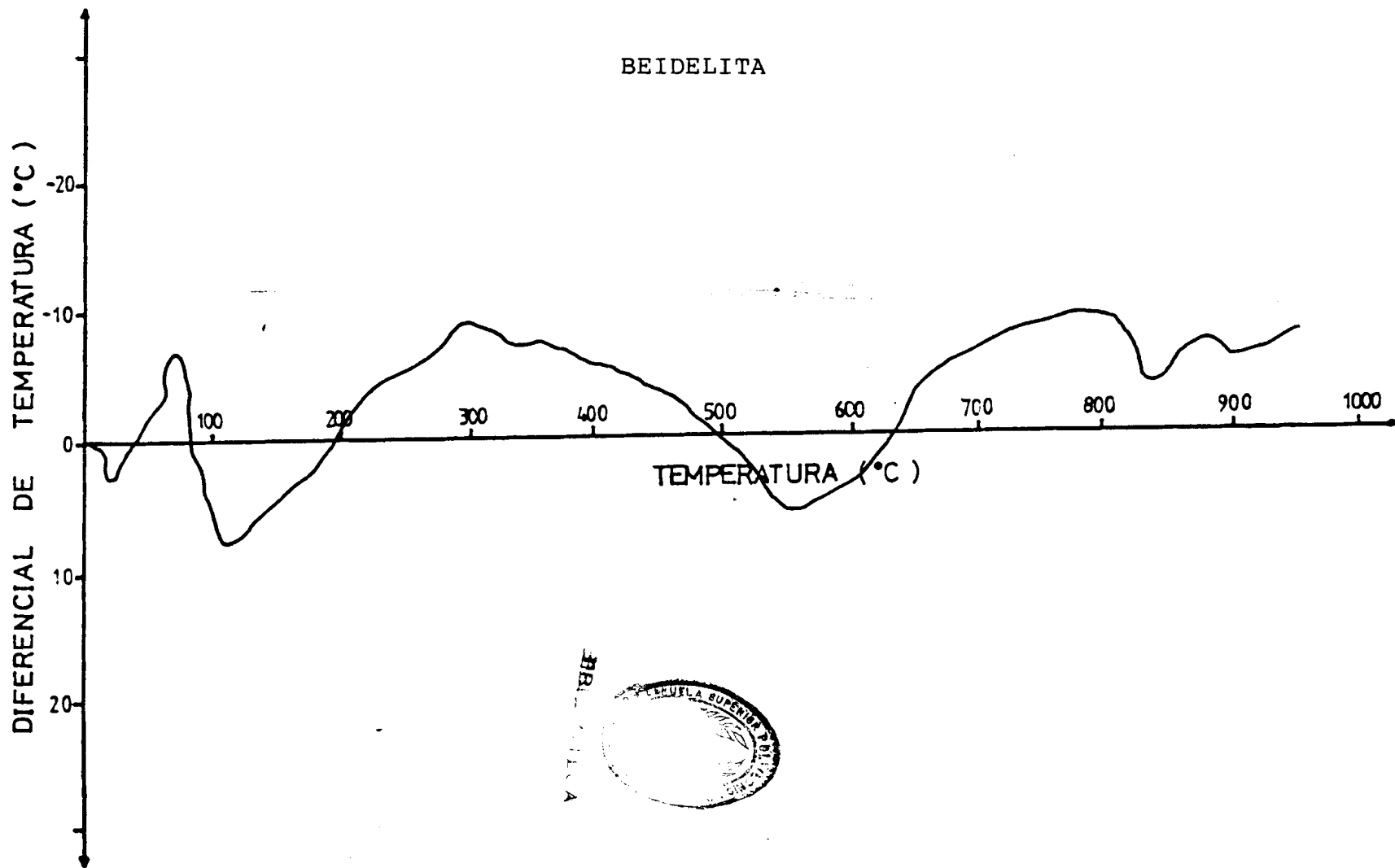
MUESTRA CL - 6

ILLITA + MONTMORILLONITA + MATERIA ORGANICA



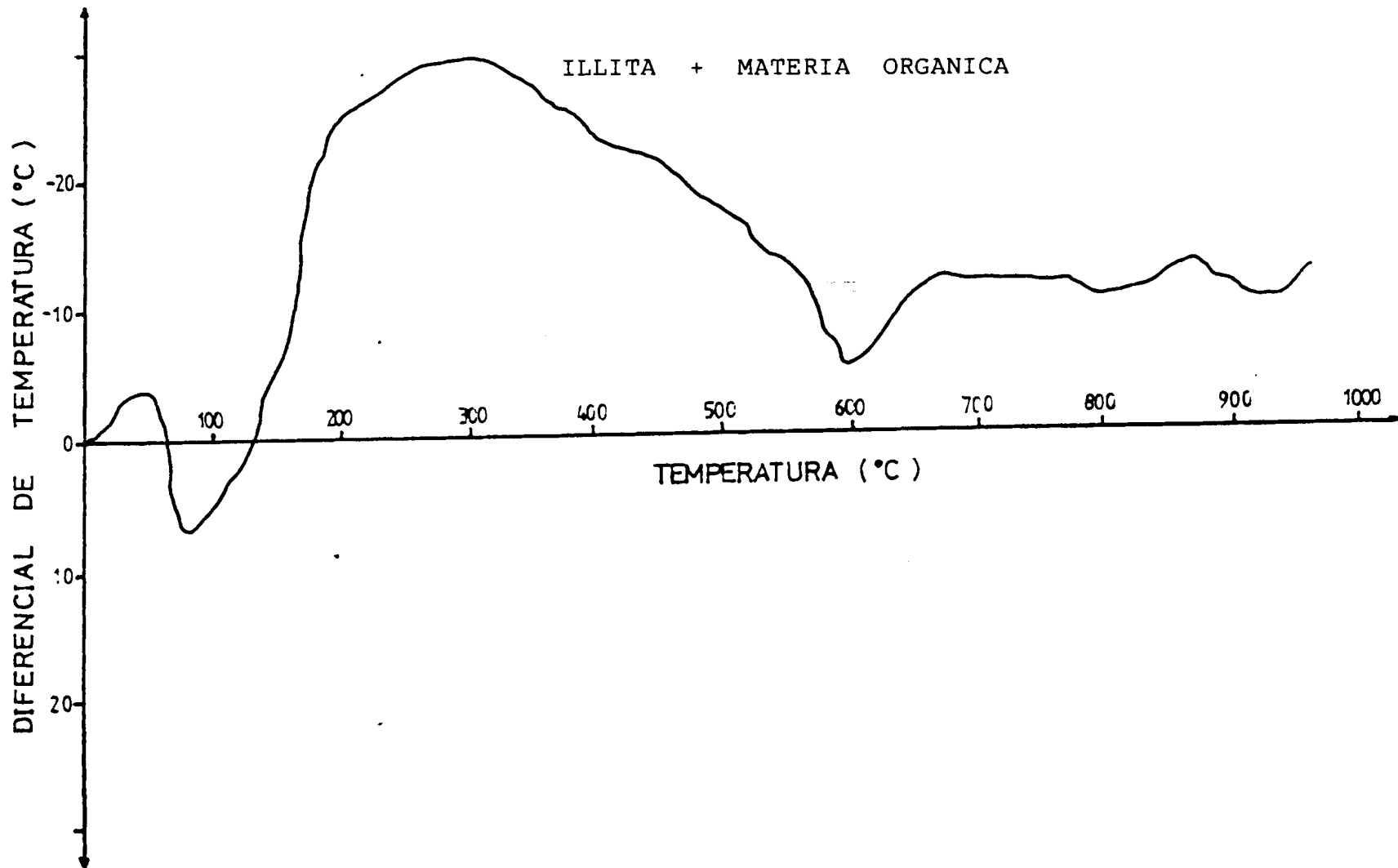
MUESTRA CL - 8

BEIDELITA



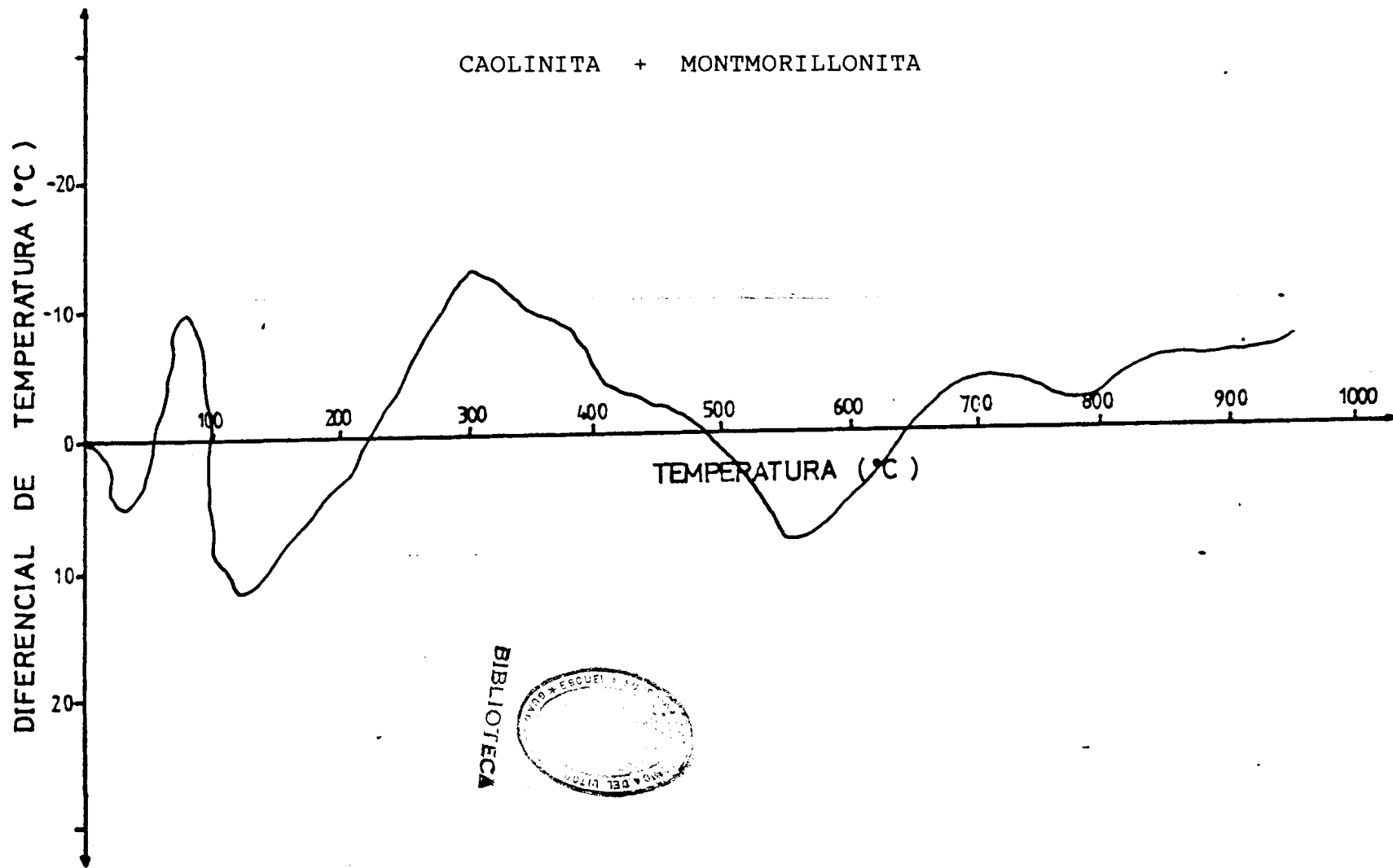
MUESTRA CL - 7

ILLITA + MATERIA ORGANICA



MUESTRA CL - 10

CAOLINITA + MONTMORILLONITA

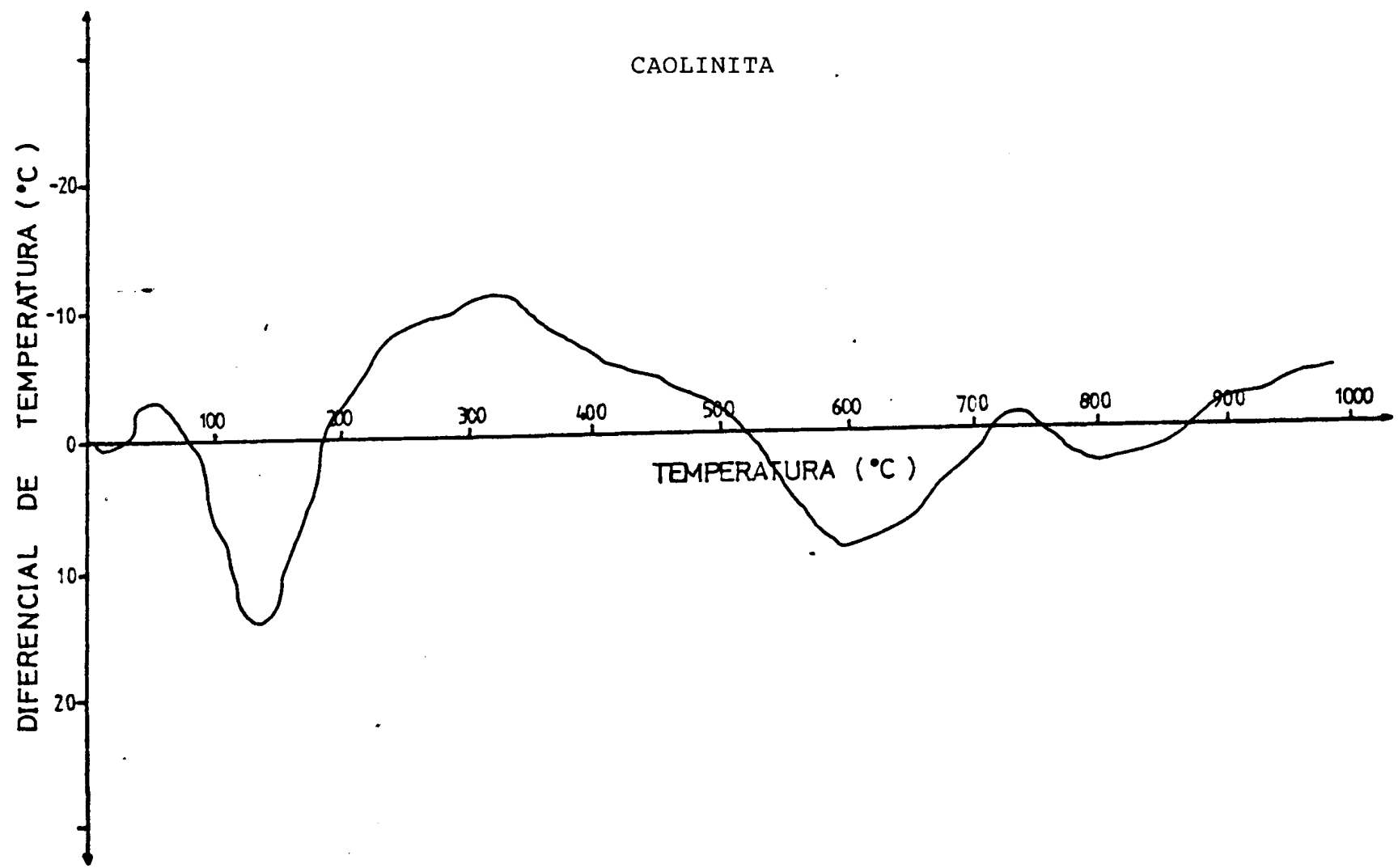


BIBLIOTECA



MUESTRA CL - 11

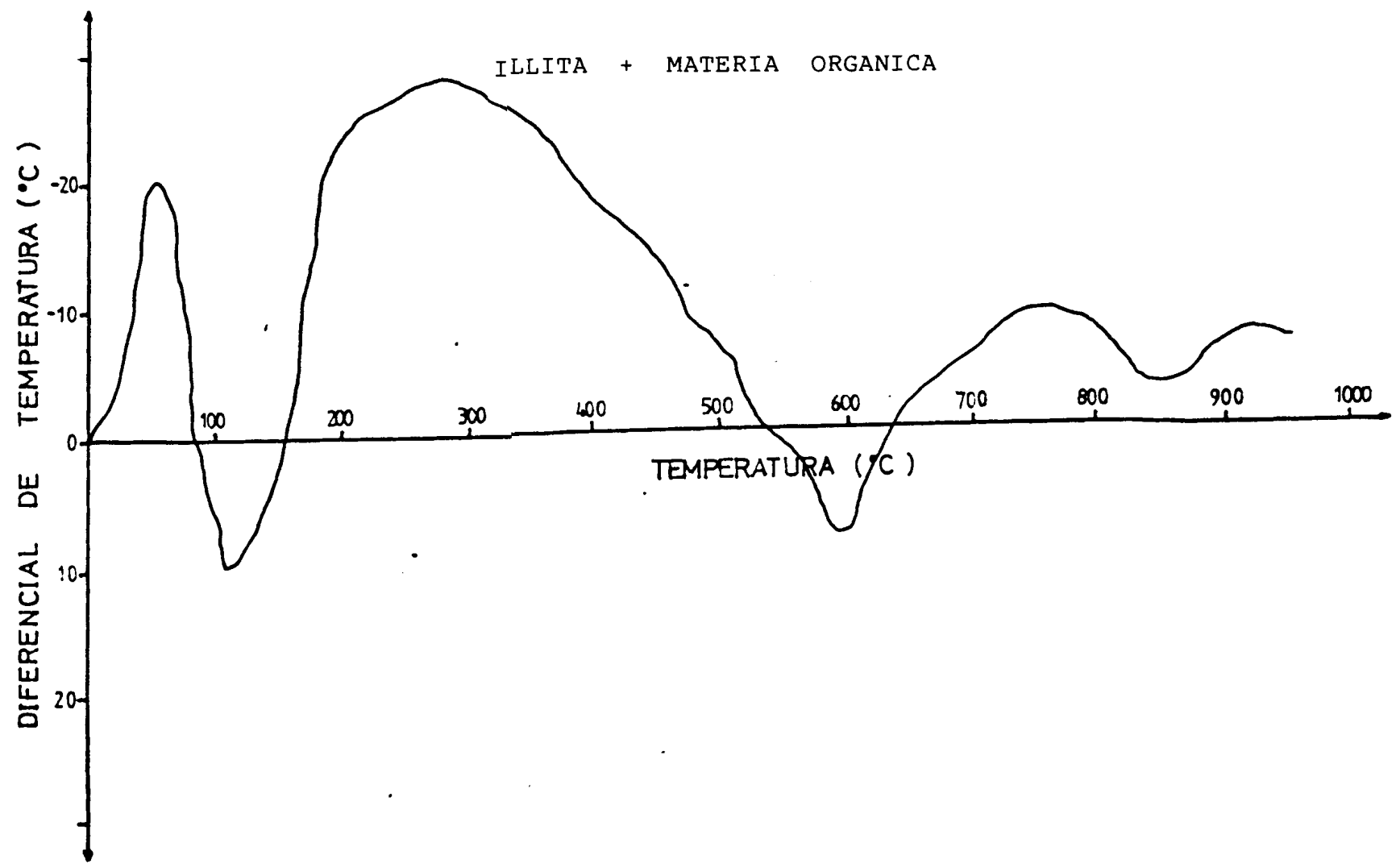
CAOLINITA





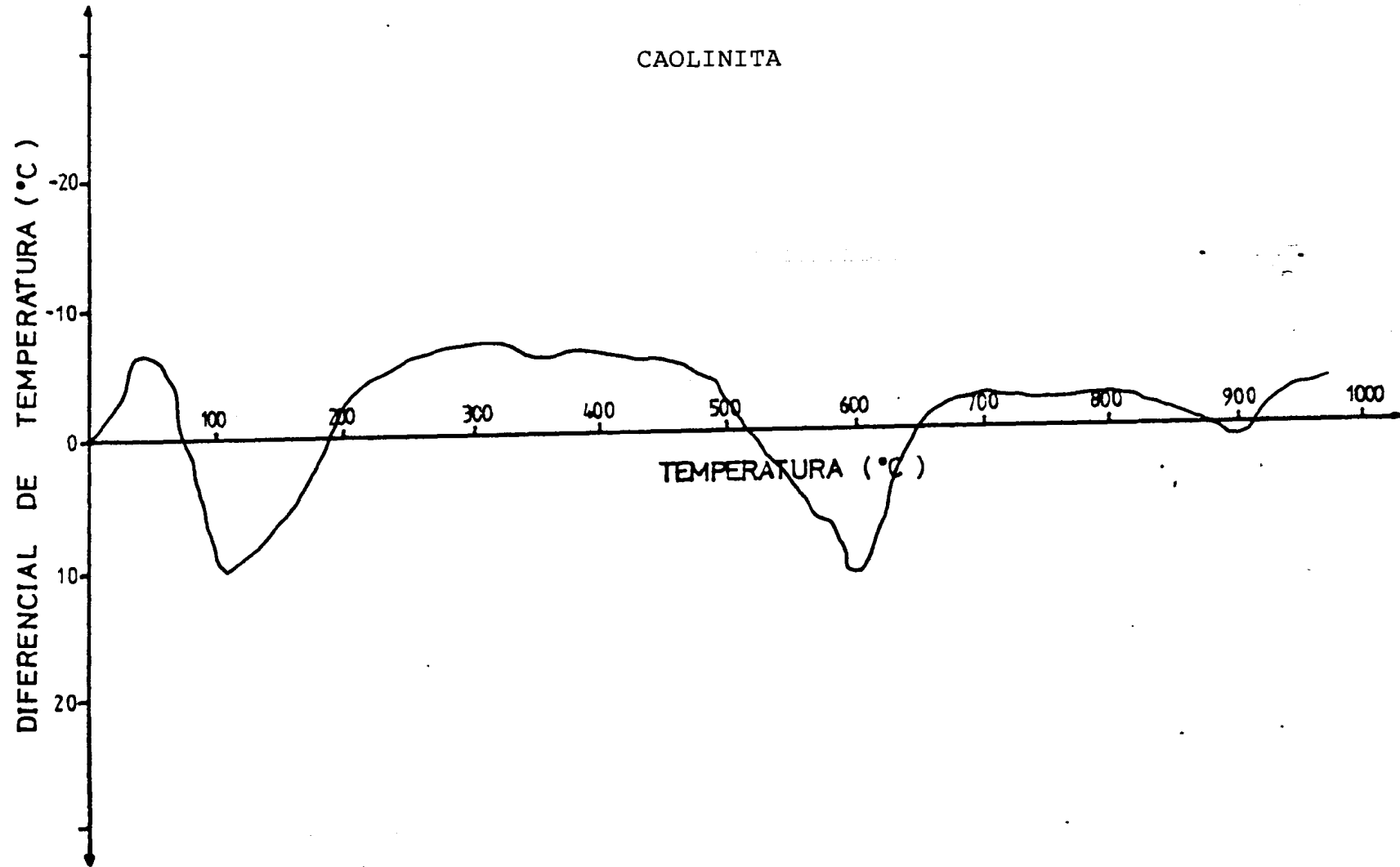
MUESTRA CL - 12

ILLITA + MATERIA ORGANICA



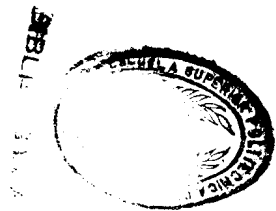
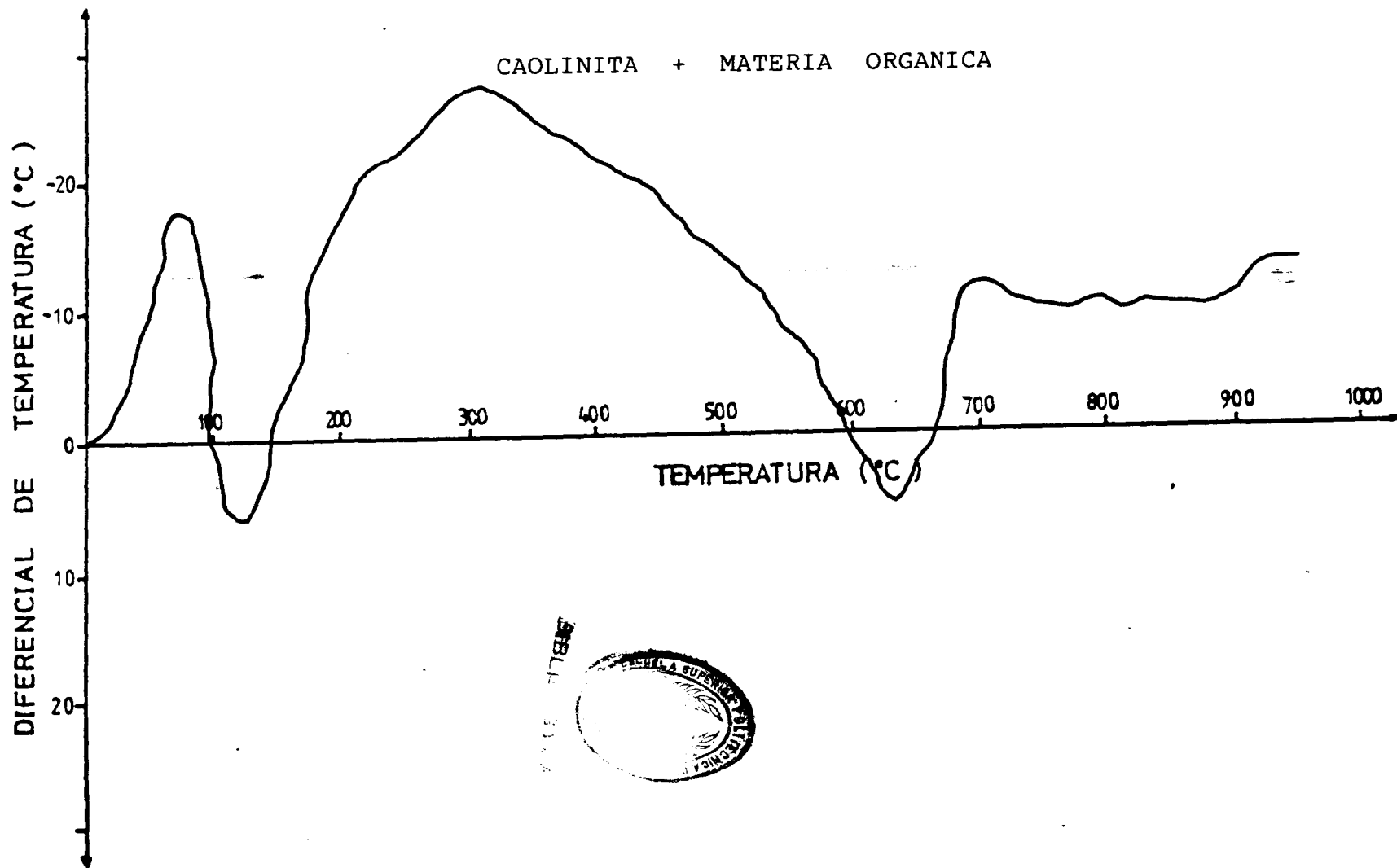
MUESTRA CL - 14

CAOLINITA



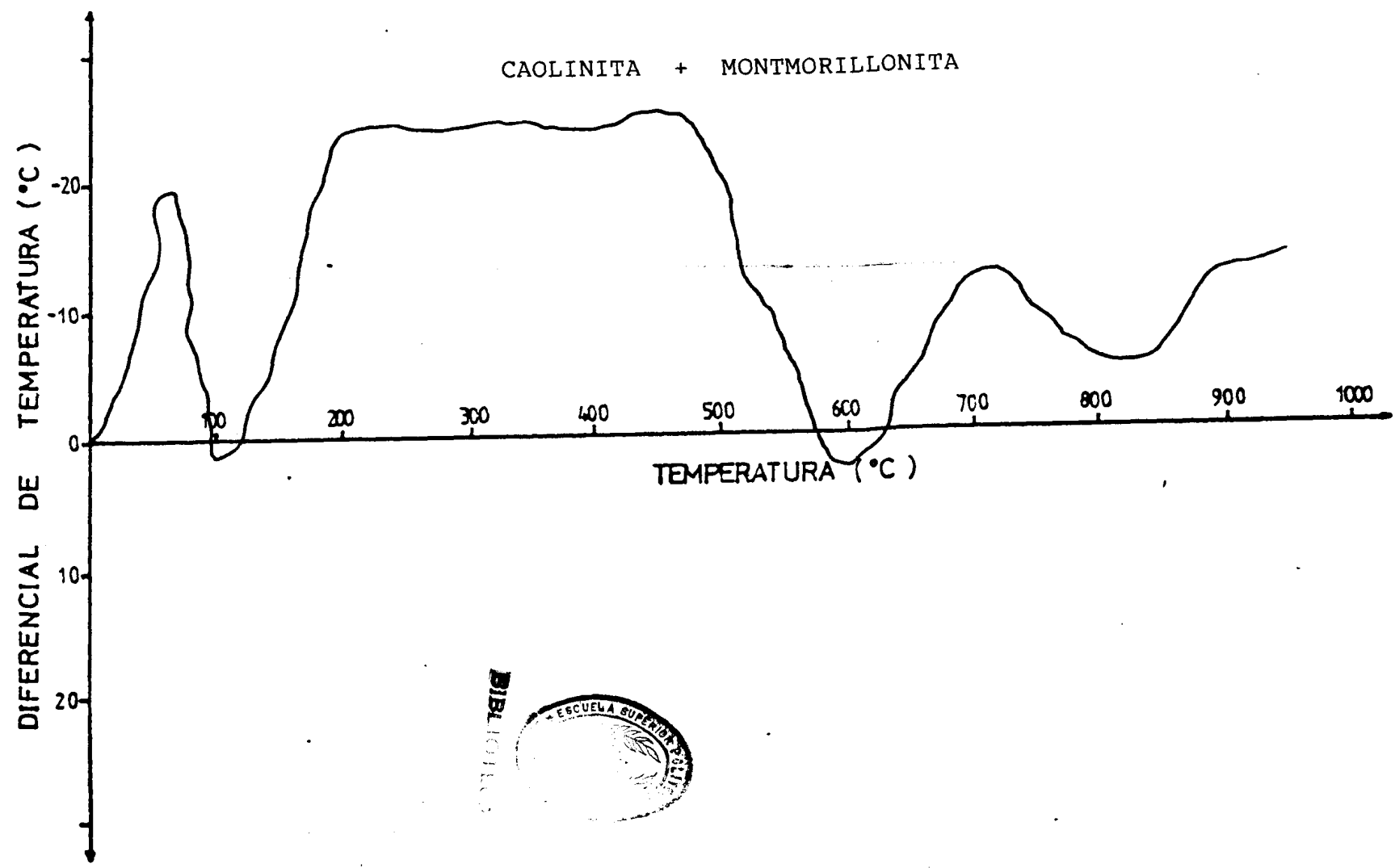
MUESTRA CL - 15

CAOLINITA + MATERIA ORGANICA



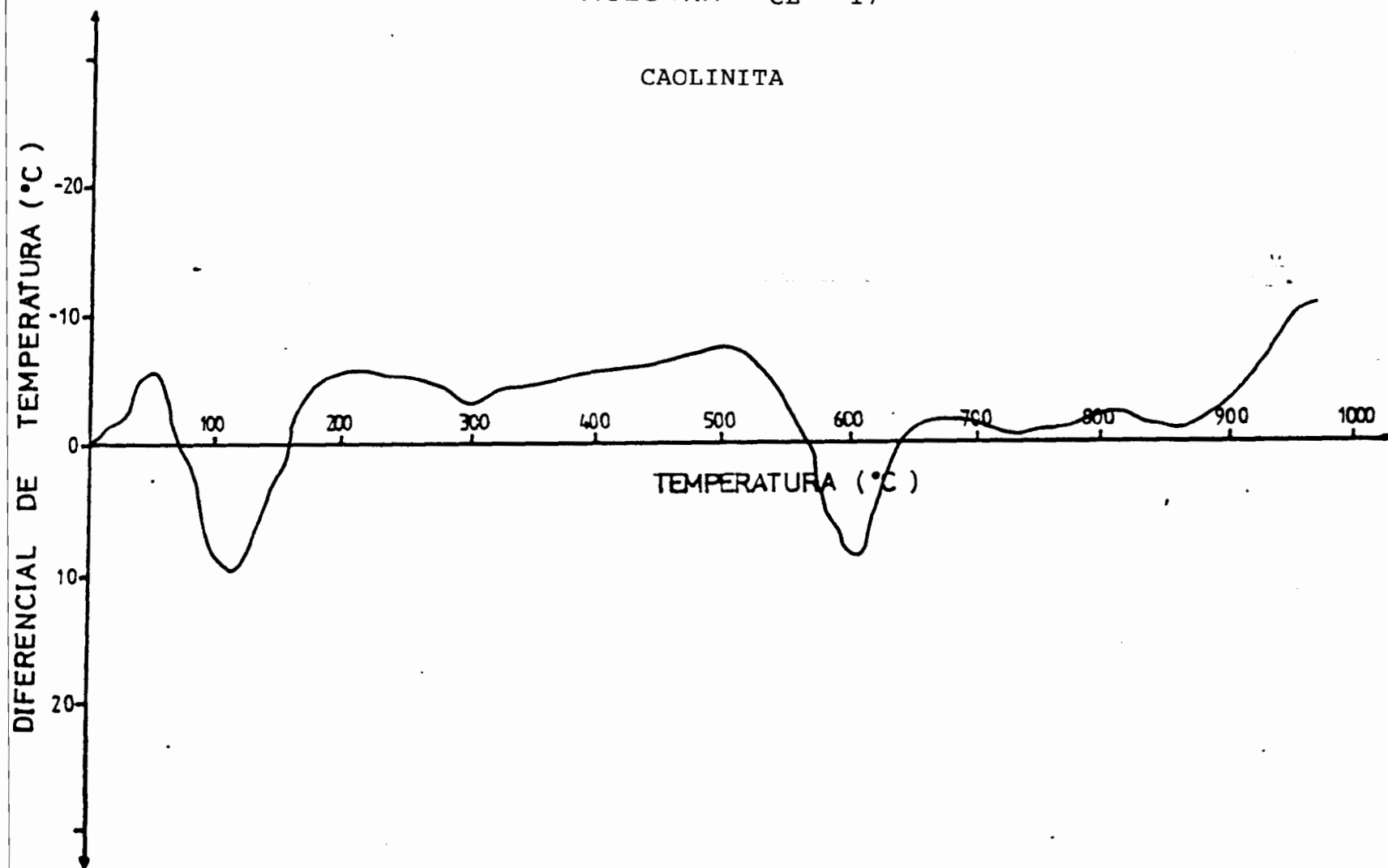
MUESTRA CL - 16

CAOLINITA + MONTMORILLONITA



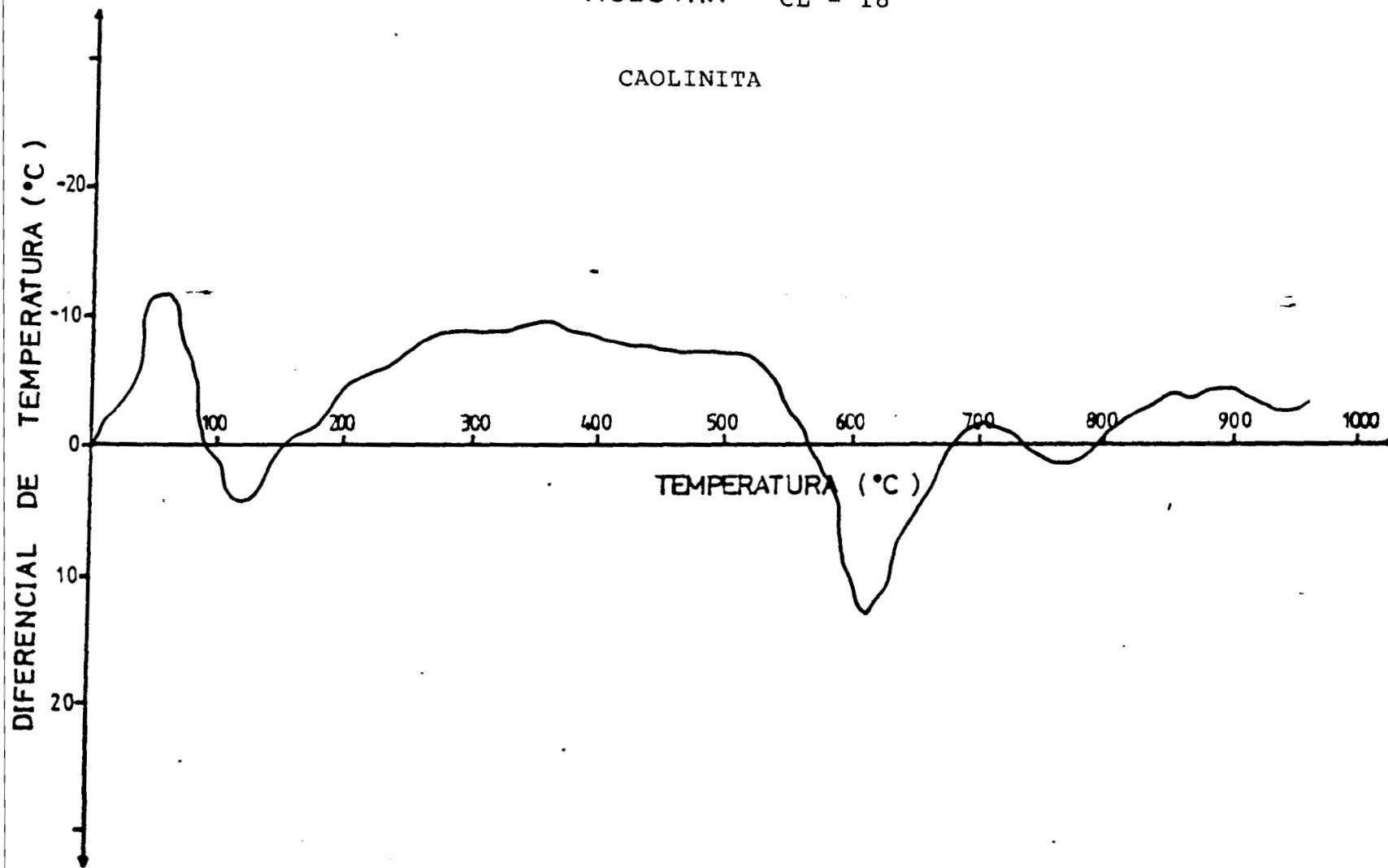
MUESTRA CL - 17

CAOLINITA



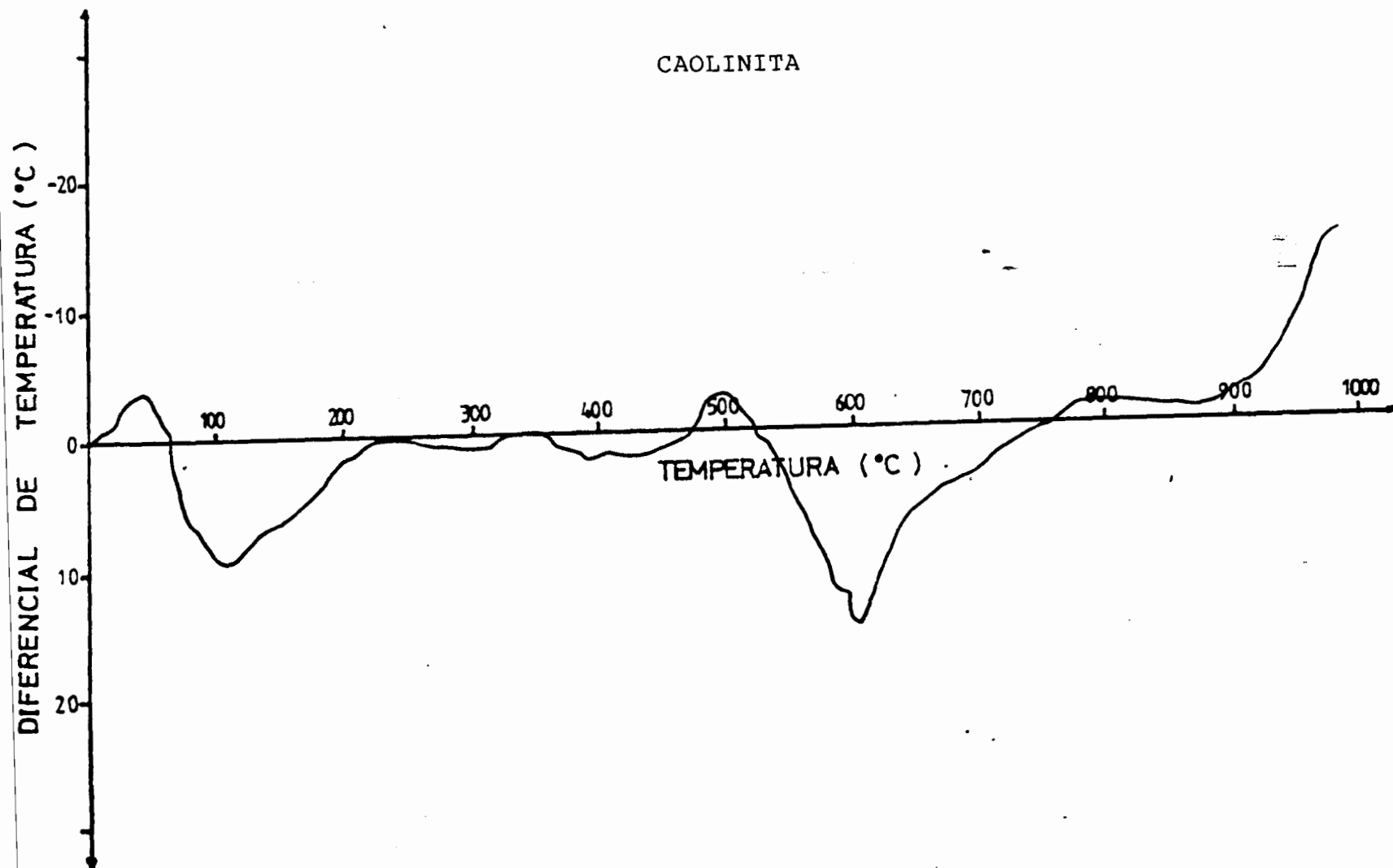
MUESTRA CL - 18

CAOLINITA



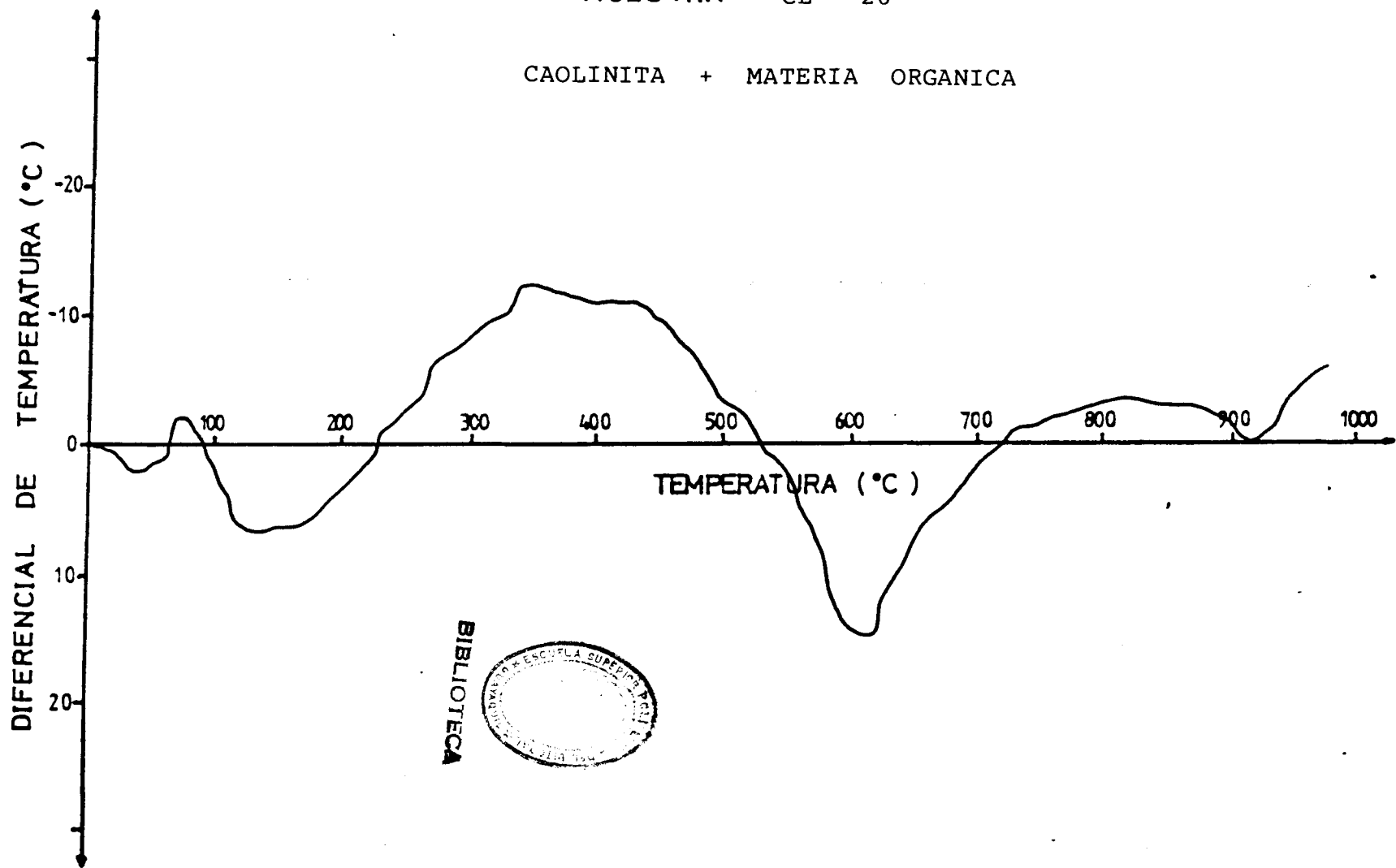
MUESTRA CL - 19

CAOLINITA



MUESTRA CL - 20

CAOLINITA + MATERIA ORGANICA



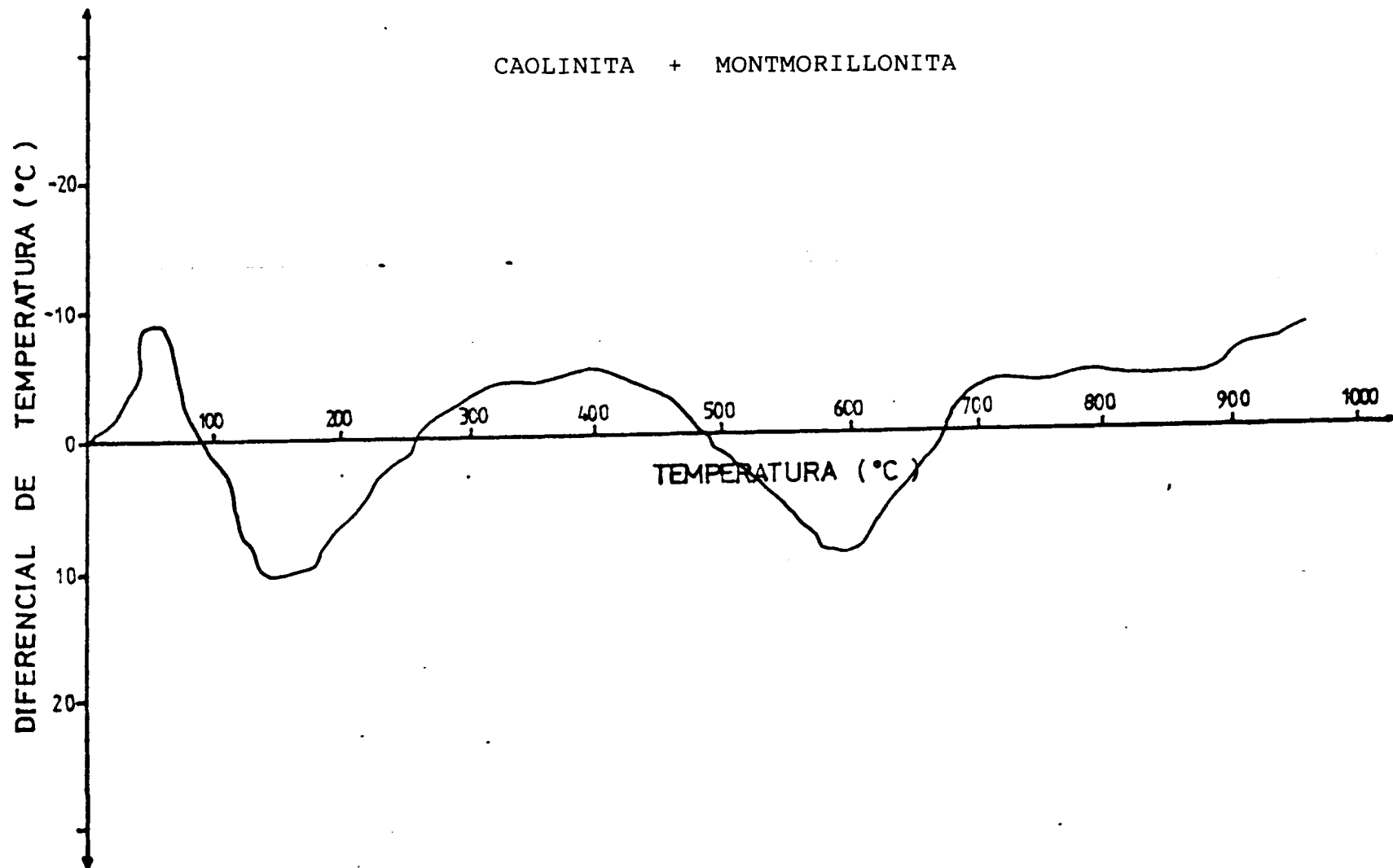
BIBLIOTECA





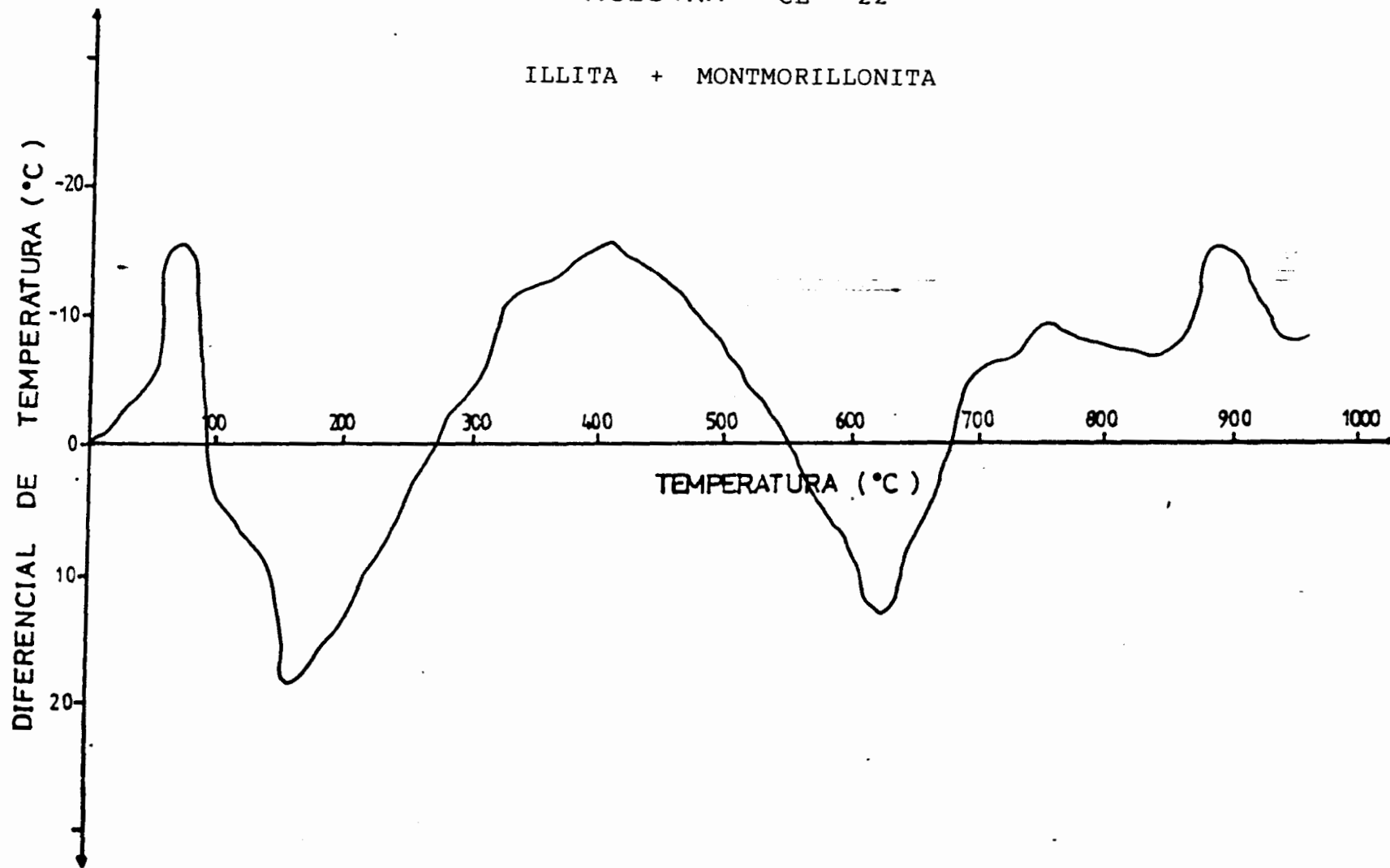
MUESTRA CL - 21

CAOLINITA + MONTMORILLONITA



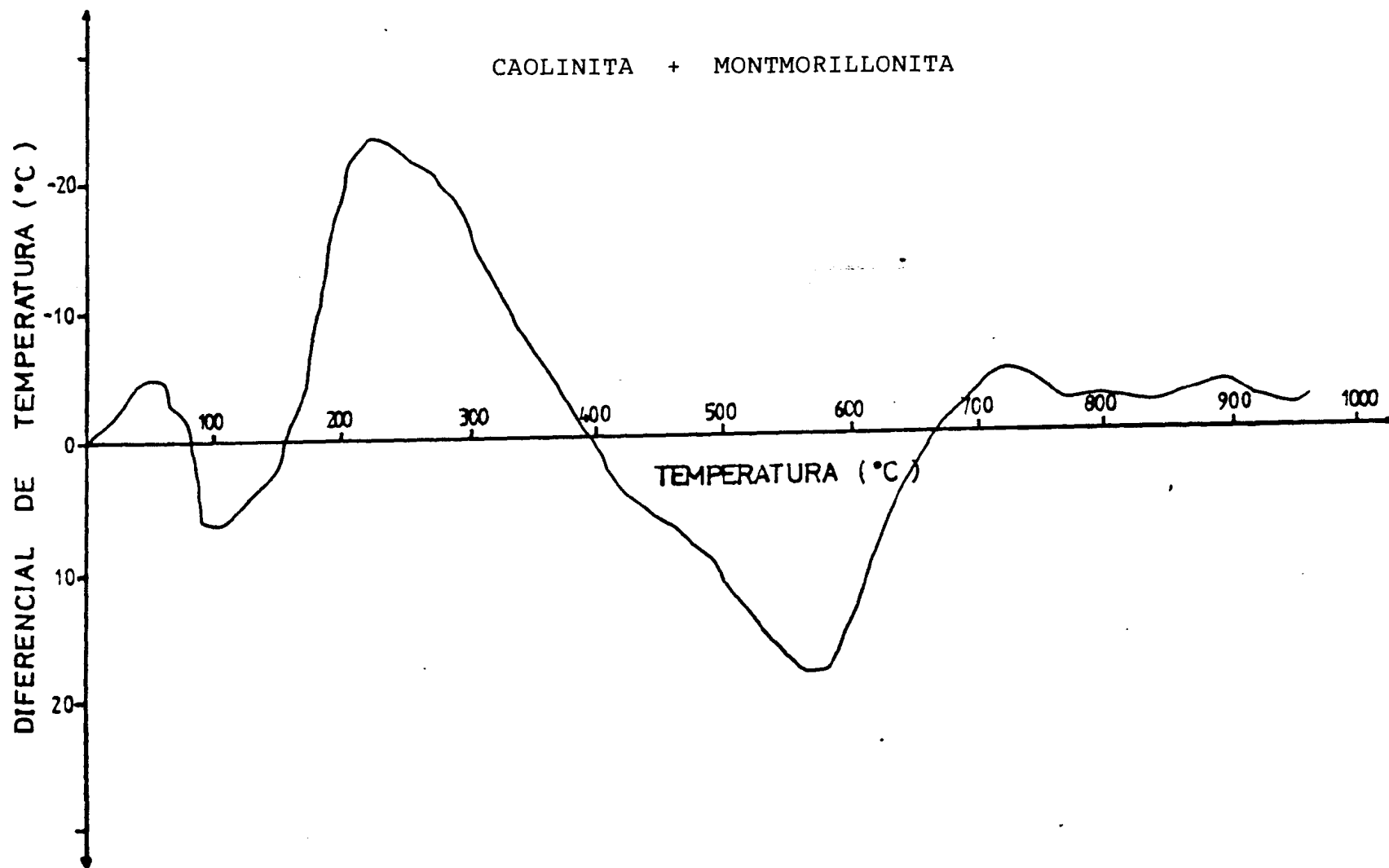
MUESTRA CL - 22

ILLITA + MONTMORILLONITA



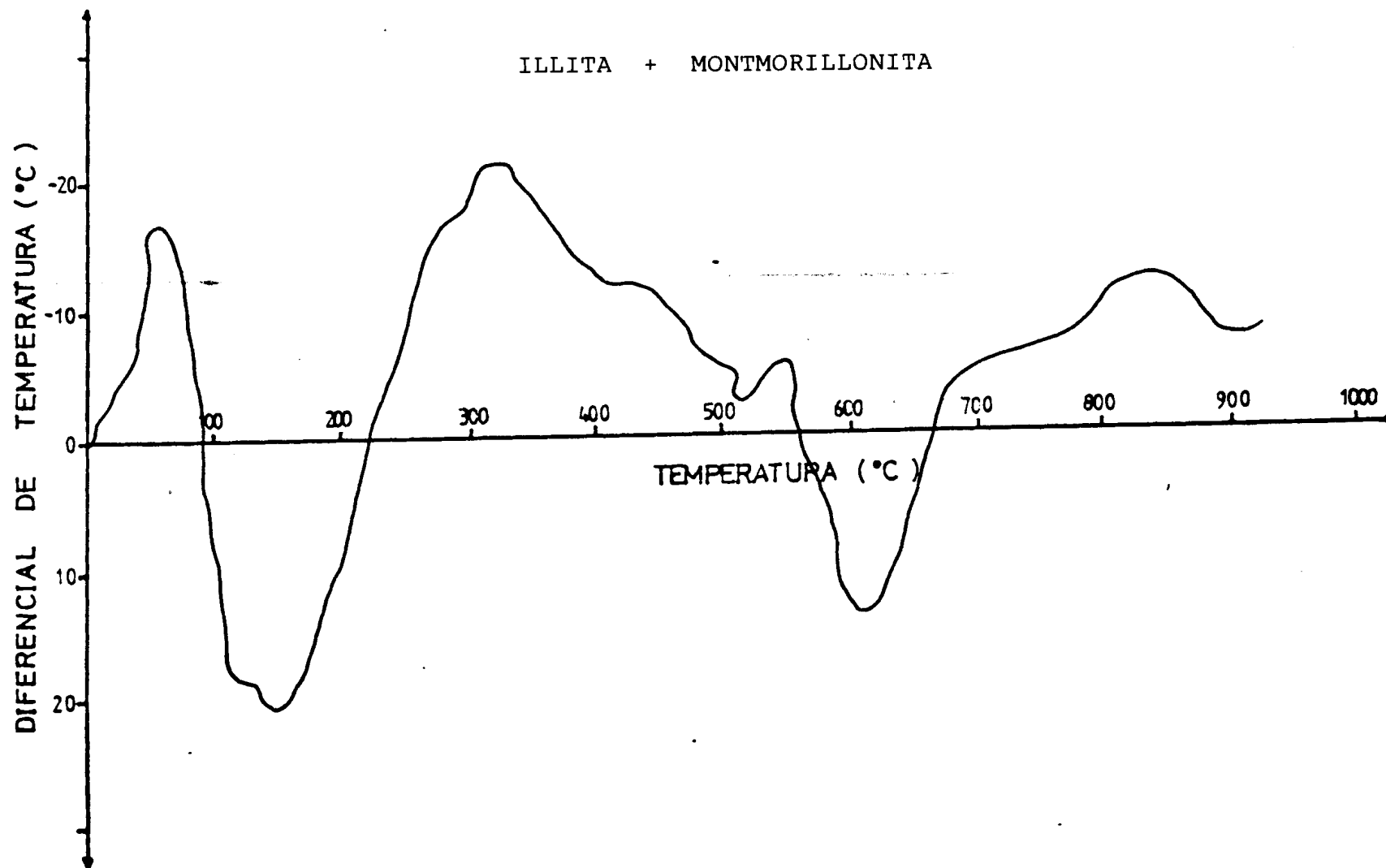
MUESTRA CL - 23

CAOLINITA + MONTMORILLONITA



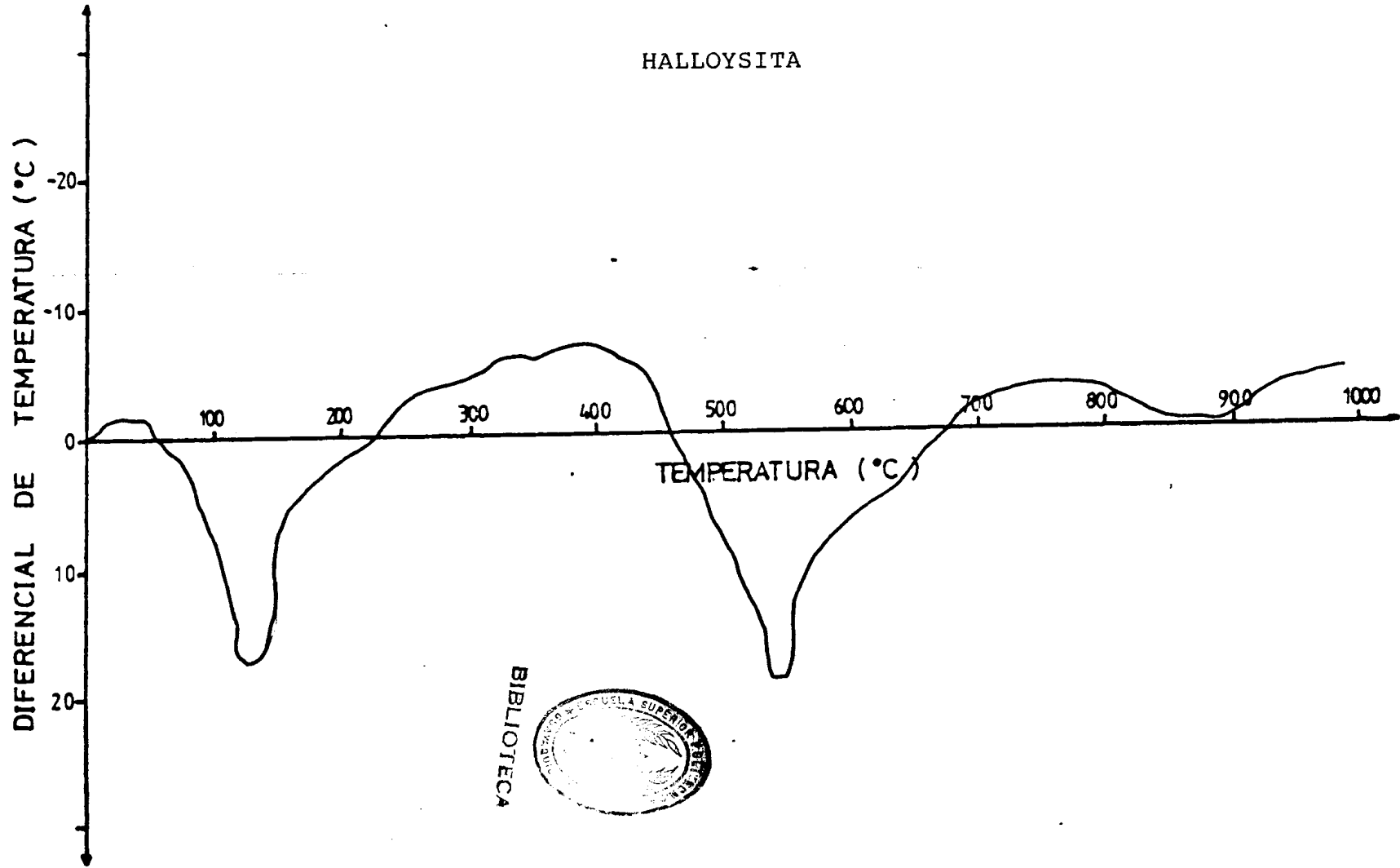
MUESTRA CL - 24

ILLITA + MONTMORILLONITA



MUESTRA CL - 25

HALLOYSITA



BIBLIOTECA



## BIBLIOGRAFIA

1. American Society for Testing and Materials; *Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08*; Easton, Md, USA: 1987, pp. 200-206, 355-358, 395-423, 763-778.
2. Ayón, H.; *Colección de curvas Térmico Diferenciales, Guayaquil, ESPOL, 1979, pp. 1-35.*
3. Baroid Industries N.L. Inc.; *Manual of Drilling Fluids Technology*, USA, 1979, pp. 25-27.
4. Bowles, J.E.; *Propiedades Geofísicas de los Suelos, (1a. Edición New York; Mc Graw-Hill, 1979), pp. 168-175.*
5. Bristow C.R. et Hoffstetter, R.; (Con la colaboración de T. Feininger et Hall M.T.); *Léxico Estratigráfico del Ecuador, París, 1977, pp. 52-53, 234-235.*
6. CIMENTACIONES C. LTDA.; *Estudio Geotécnico del Proyecto Lomas, Guayaquil, Abril 1983, pp. 1-152.*

7. CIMENTACIONES C. LTDA.; *Precampaña de Estudios Geotécnicos en la zona Daule-Pula, Guayaquil, Mayo 1987, pp. 1-426.*
8. Chen, F.H.; *Foundation on Expansives Soils, Elsevier, Amsterdam. 1975, pp. 1-60.*
9. Grim, R.E. ; *Clay Mineralogy; (2a. Edición, New York, Mc Graw-Hill, 1968), pp. 188-204.*
10. Hidrovo, A.; *Metodología propuesta para una investigación en Suelos Expansivos. Seminario Ecuatoriano de Suelos Trópico Andinos , Guayaquil, Julio 1977, pp. 1-20.*
11. Holtz, W.G.; *Expansive Clays. Properties and Problems; Earth Laboratory Brand, Bureau of Reclamation, U.S. Dept. of the Interior, Denver, Colorado, Octubre 1959, pp. 66-92.*
12. Jiménez Salas J.A. y Justo Alpañes J.L. ; *Geotecnia y Cimientos I, 2a. Edición; Madrid, 1975, pp. 84-96.*
13. Lan, T.N. ; *First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Brasil, 1985; Deux Nouveaux Essais d'identification des sols argileux, pp. 131-144.*

14. Mackenzie, R.C. ; *The differential Thermal Investigation of Clays*, 1a. Edición, London; Mineralogical Society, 1957, pp. 98-273.
15. Nuques, J.A. y Ripalda, O.F. ; *Suelos Expansivos en la Cuenca del Río Guayas: I Congreso Internacional de Suelos Trópico Andinos* , Guayaquil, CEDEGE, Mayo 1981, pp. 1-100.
16. Seed, H.B. Woodward, R.J. y Lundgreen, R. ; *Clay Mineralogical Aspects of the Atterberg Limits; Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, No. SM 4, Proc. Paper 3983, Julio 1964, pp. 107-130.*
17. Seed, H.B. Woodward, R.J. y Lundgreen, R. ; *Prediction for Compacted Clays; Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Proc. Paper 3169, Junio 1962, pp. 53-87.*
18. Tourtelot, H.A. ; *Geologic Origin and Distribution of Swelling Clays; Bulletin of the Association of Engineering Geologists* , Vol. XI, No.4, 1974, pp. 259-275.
19. Van Olphen, H. ; *An Introduction to Clay Colloid Chemistry* ; Interscience Publishers, New York, 1963, pp. 59-72.
20. Zambrano, C.A. ; *Control de Suelos Expansivos en el área de Tosagua: Tesis de Grado: Facultad de Geología, Minas y Petróleo, ESPOL, 1986, pp. 1-336.*





R. Pedro Carbo

R. Bachillero

Lomas  
de  
Sargentillo

P1b

P1b

E. Bejucal

P1b

Qr

Qr

E. Bijagual

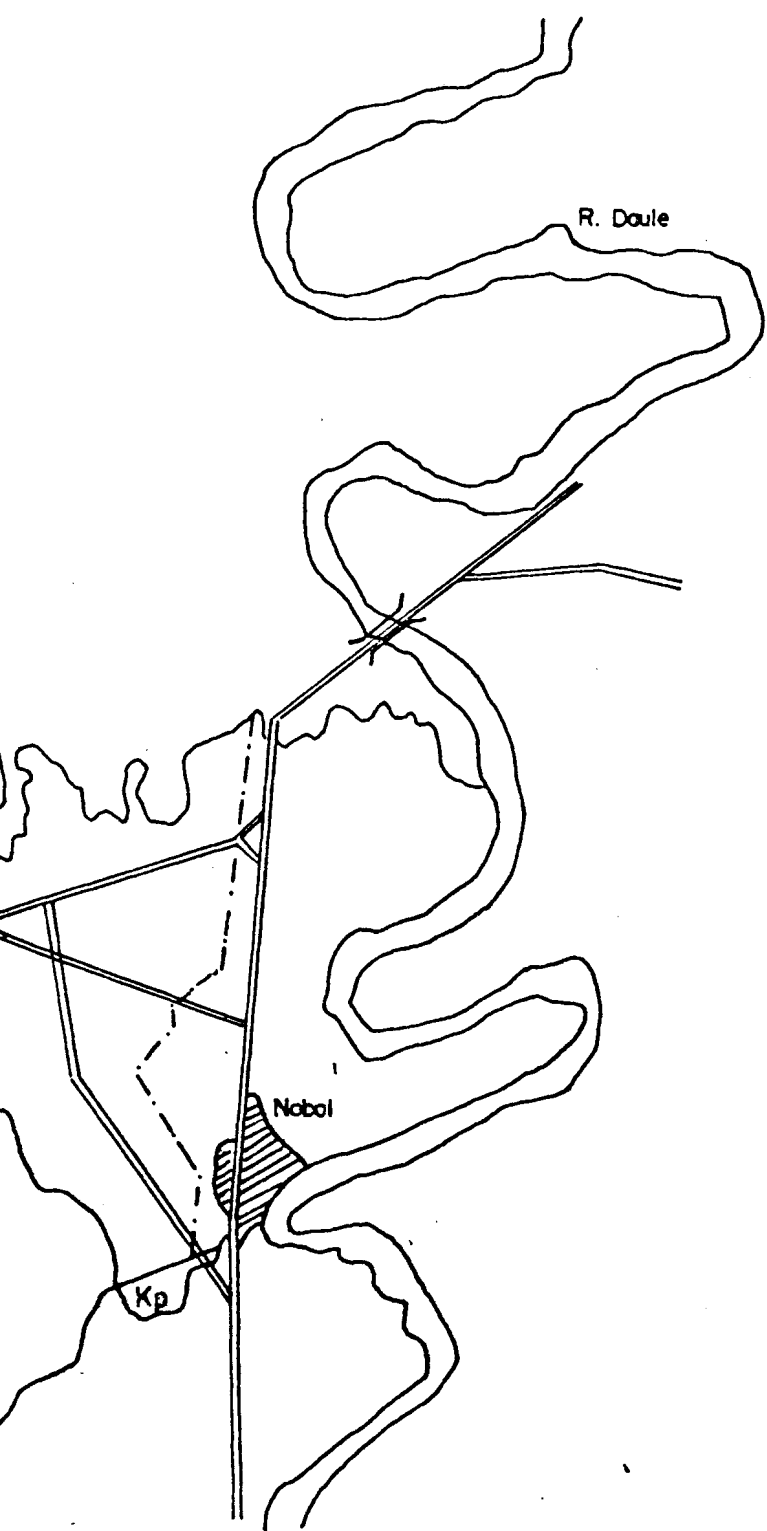
Kp

Kp

E. Espinal

Nob





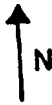
**LEYENDA**

Qr	DEPOSITOS ALUVIALES	} CUATERNARIO
Plb	ARENASCAS, ARCILLAS Y LIMOS	} PLIOCENO
Kp	DIABASAS	} CRETACICO



**BIBLIOTECA**

<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS Y PETROLEOS</b>		
<b>TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA</b>		
<b>FRANCISCO JAVIER GRAU AROSTEGUI</b>		
<b>PLANO GEOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO</b>		
ESCALA 1:50.000	FECHA Sep. 1988	PLANO: N° 1



R. Pedro Carbo

R. Bachillero

Lomas  
de  
Sargentillo

E. Bejugal

E. Bijagual

E. Espinal

7

5

6

5

6

5

7

7

7

5

5

2

5

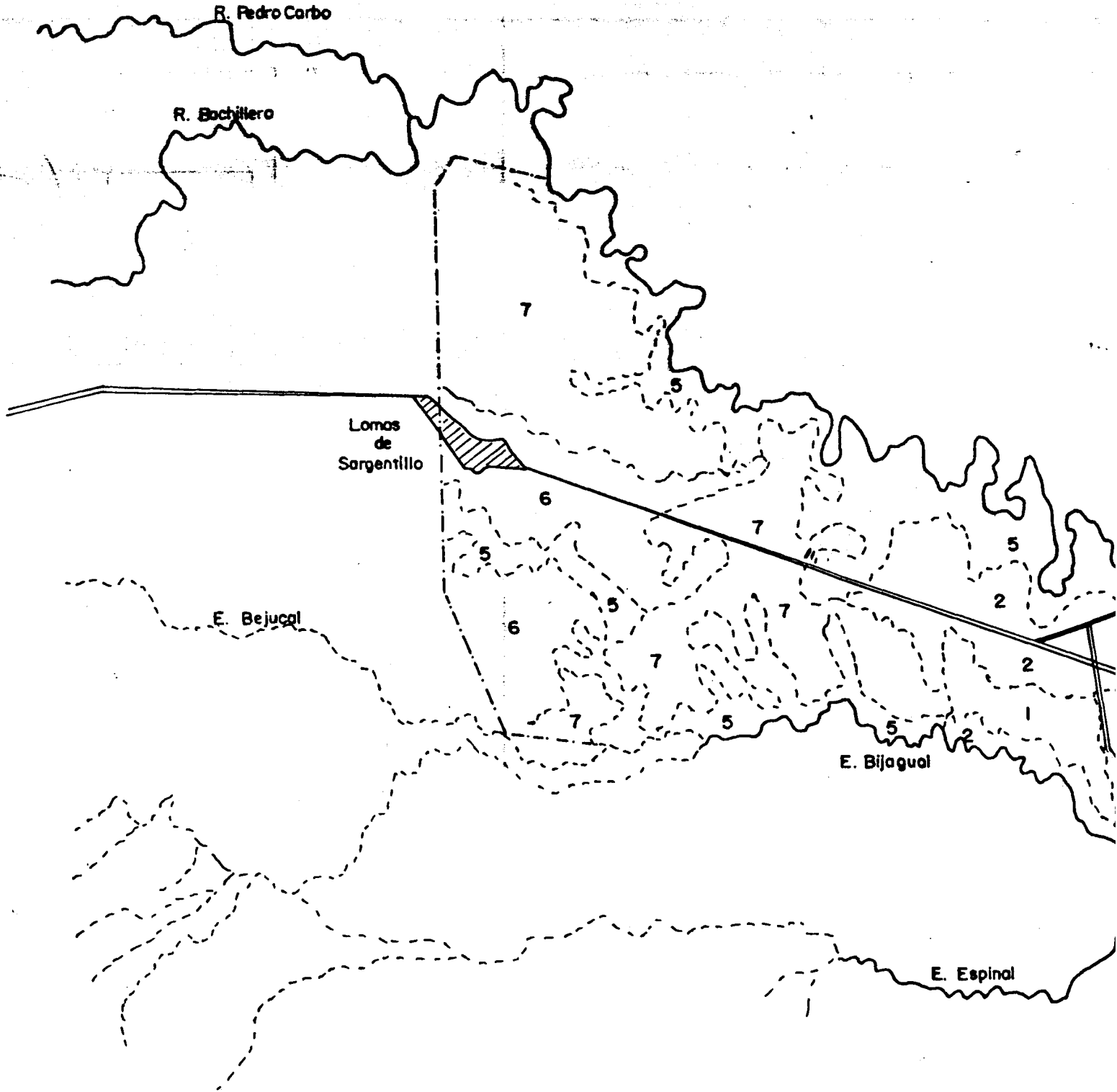
2

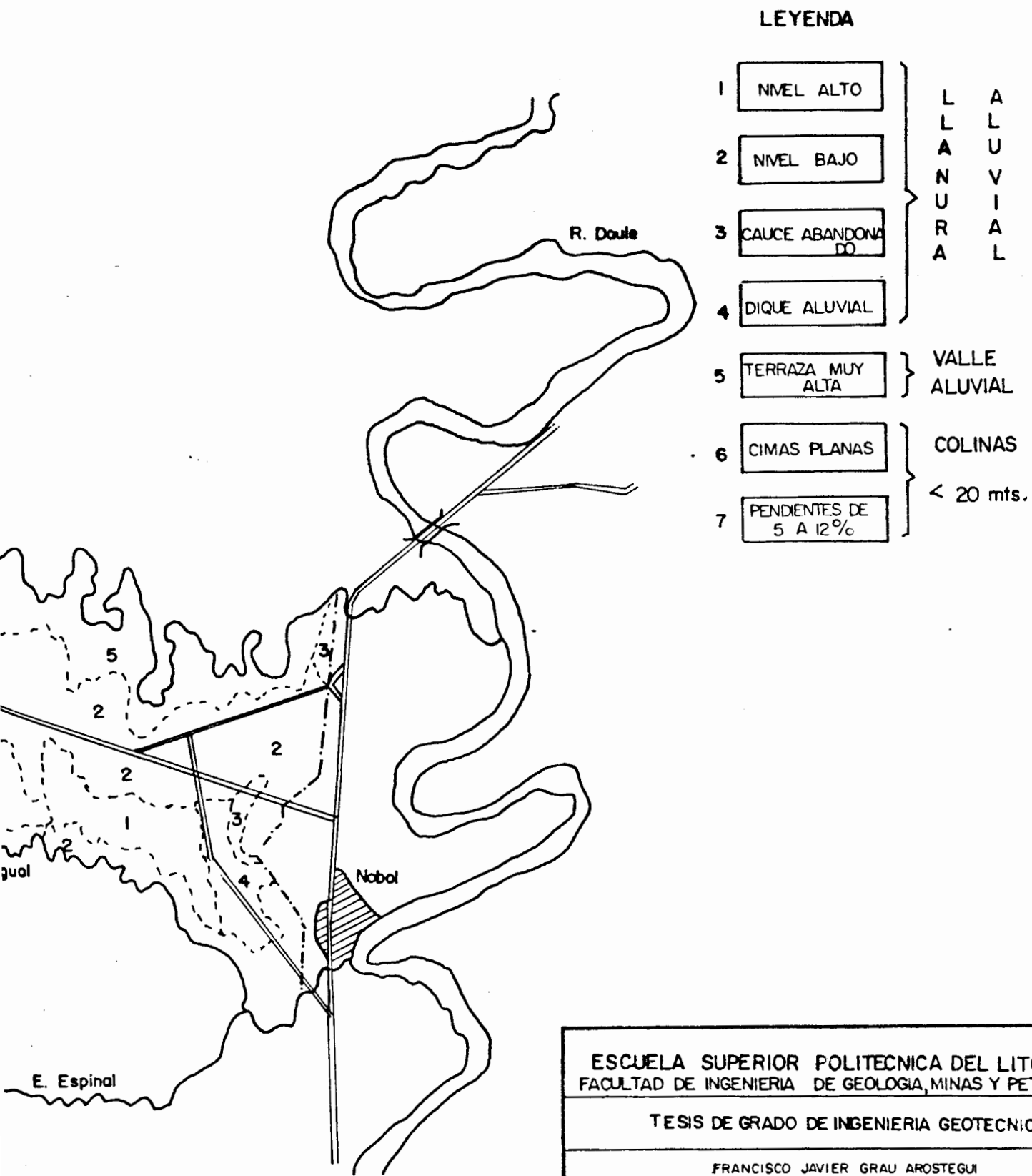
2

1

2

E. Espinal





**LEYENDA**

- |   |                       |                   |
|---|-----------------------|-------------------|
| 1 | NIVEL ALTO            | } L A L U V I A L |
| 2 | NIVEL BAJO            |                   |
| 3 | CAUCE ABANDONADO      |                   |
| 4 | DIQUE ALUVIAL         |                   |
| 5 | TERRAZA MUY ALTA      | } VALLE ALUVIAL   |
| 6 | CIMAS PLANAS          | } COLINAS         |
| 7 | PENDIENTES DE 5 A 12% |                   |

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

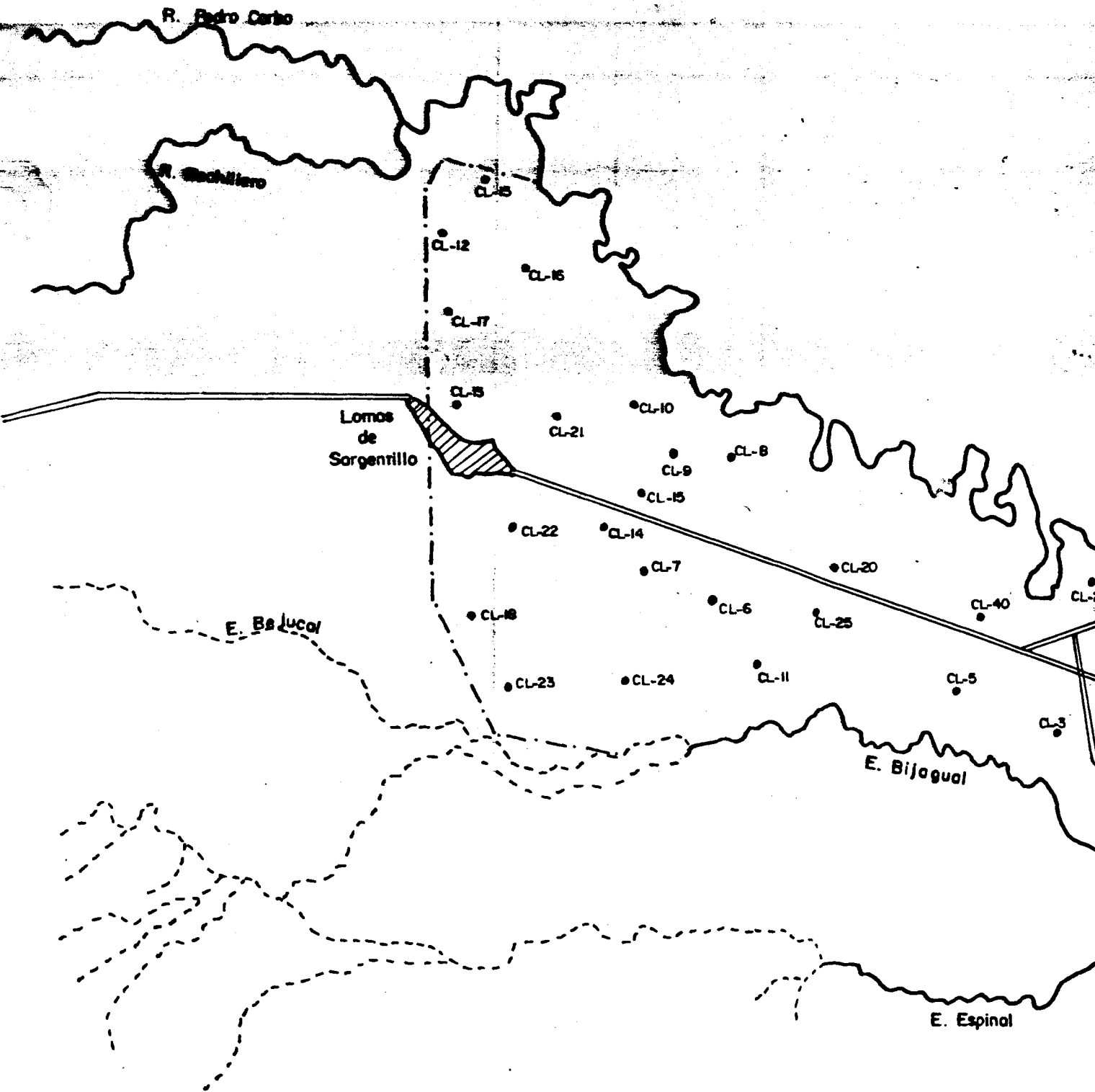
FRANCISCO JAVIER GRAU AROSTEGUI

PLANO GEOMORFOLOGICO

ESCALA : 1:50.000

FECHA: Sep. 1988

PLANO: N°2





ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA

FRANCISCO JAVIER GRAU AROSTEGUI

PLANO DE UBICACION DE CALICATAS

ESCALA 1:50.000

FECHA: Sep. 1988

PLANO: N° 3



R. Pedro Carbo

R. Bochillero

Lomas  
de  
Sargentillo

ZONA B

ZONA C

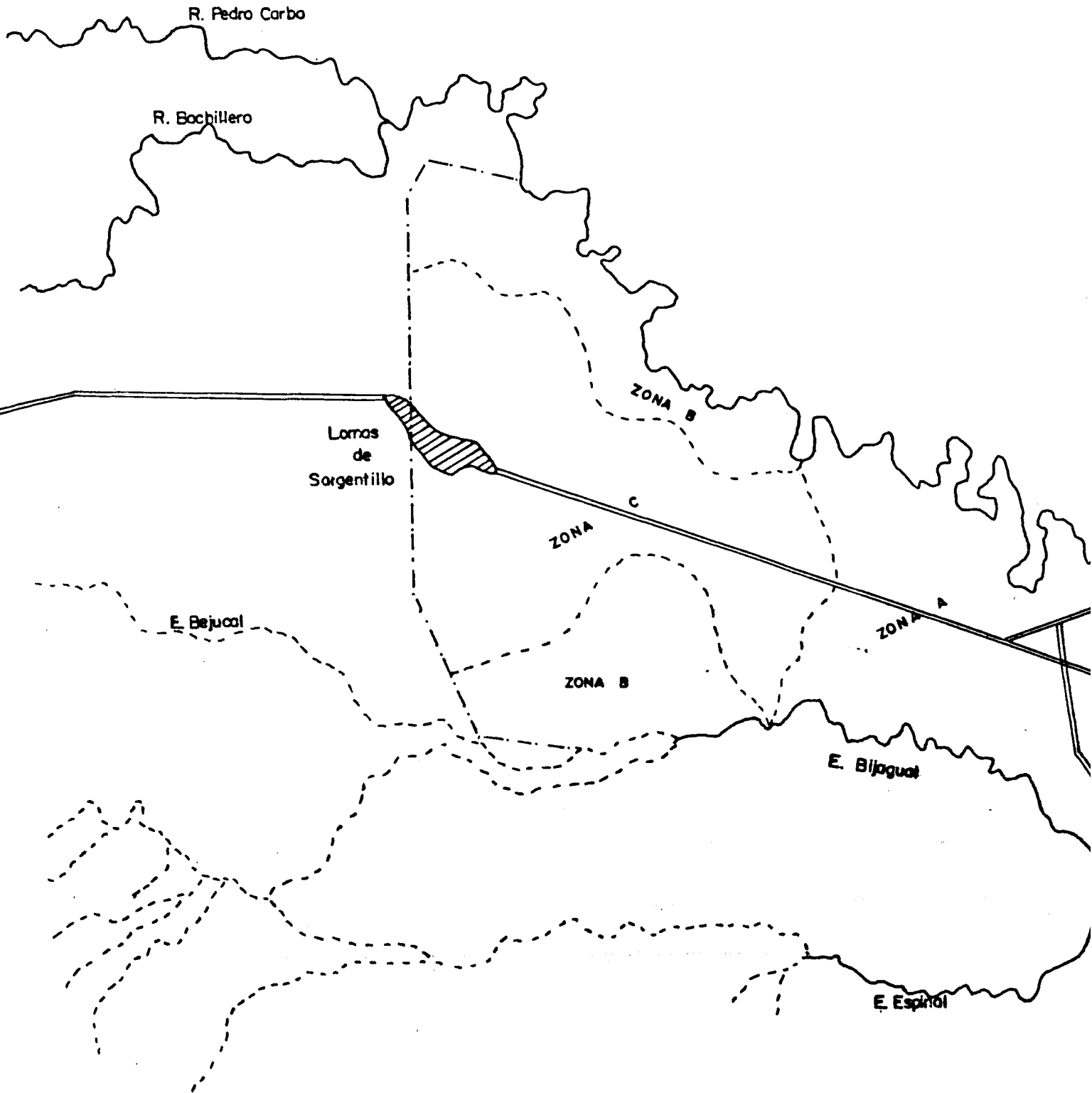
E. Bejuco

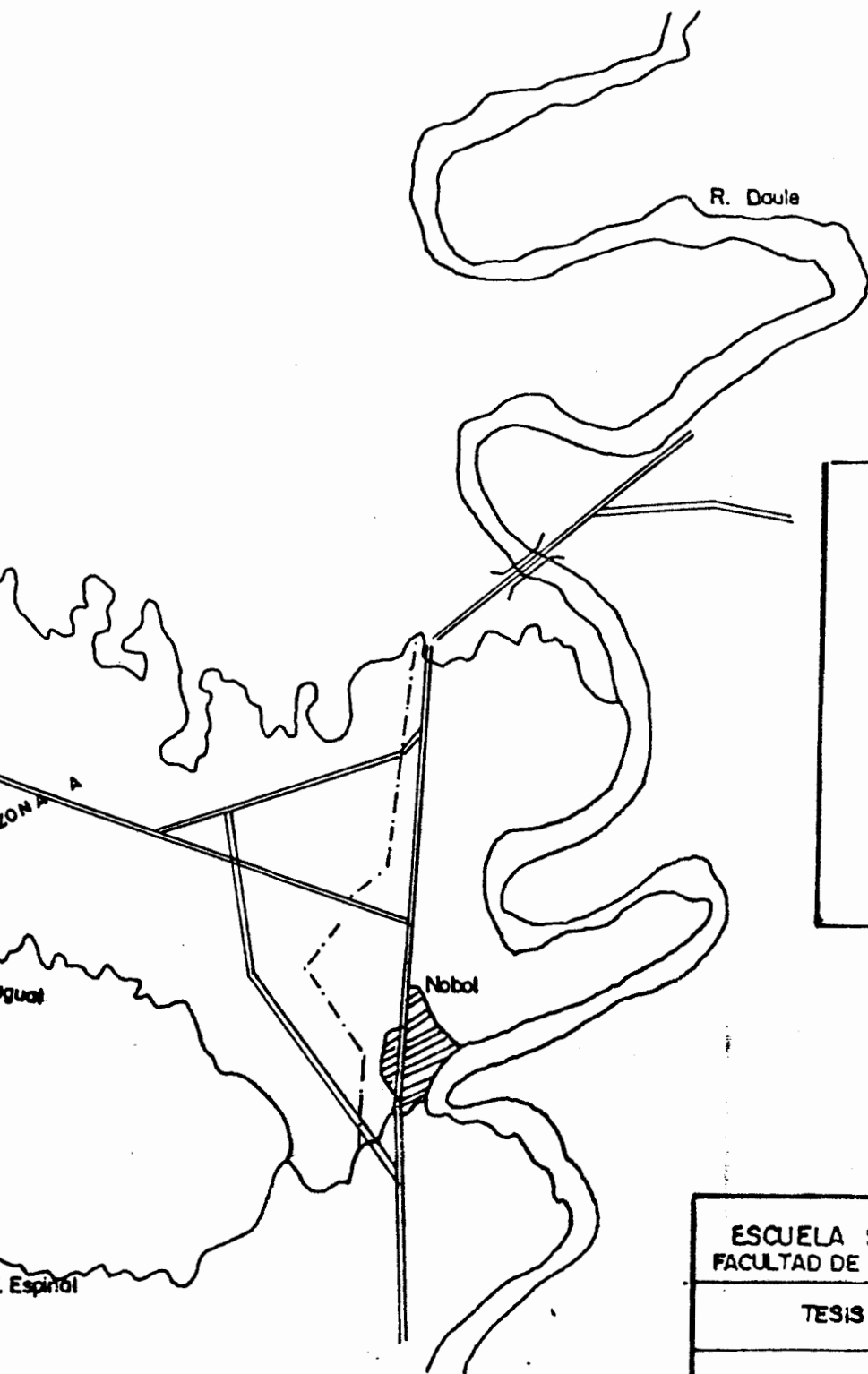
ZONA B

ZONA A

E. Bijagual

E. Espinal





LEYENDA	
ZONA A	potencial expansivo alto
ZONA B	potencial expansivo de medio a alto
ZONA C	potencial expansivo de medio a bajo

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS		
TESIS DE GRADO DE INGENIERIA GEOTECNICA		
FRANCISCO JAVIER GRAU AROSTEGUI		
PLANO DE ZONIFICACION GEOTECNICA		
ESCALA 1:50.000	FECHA: Sep. 1968	PLANO: N° 4