

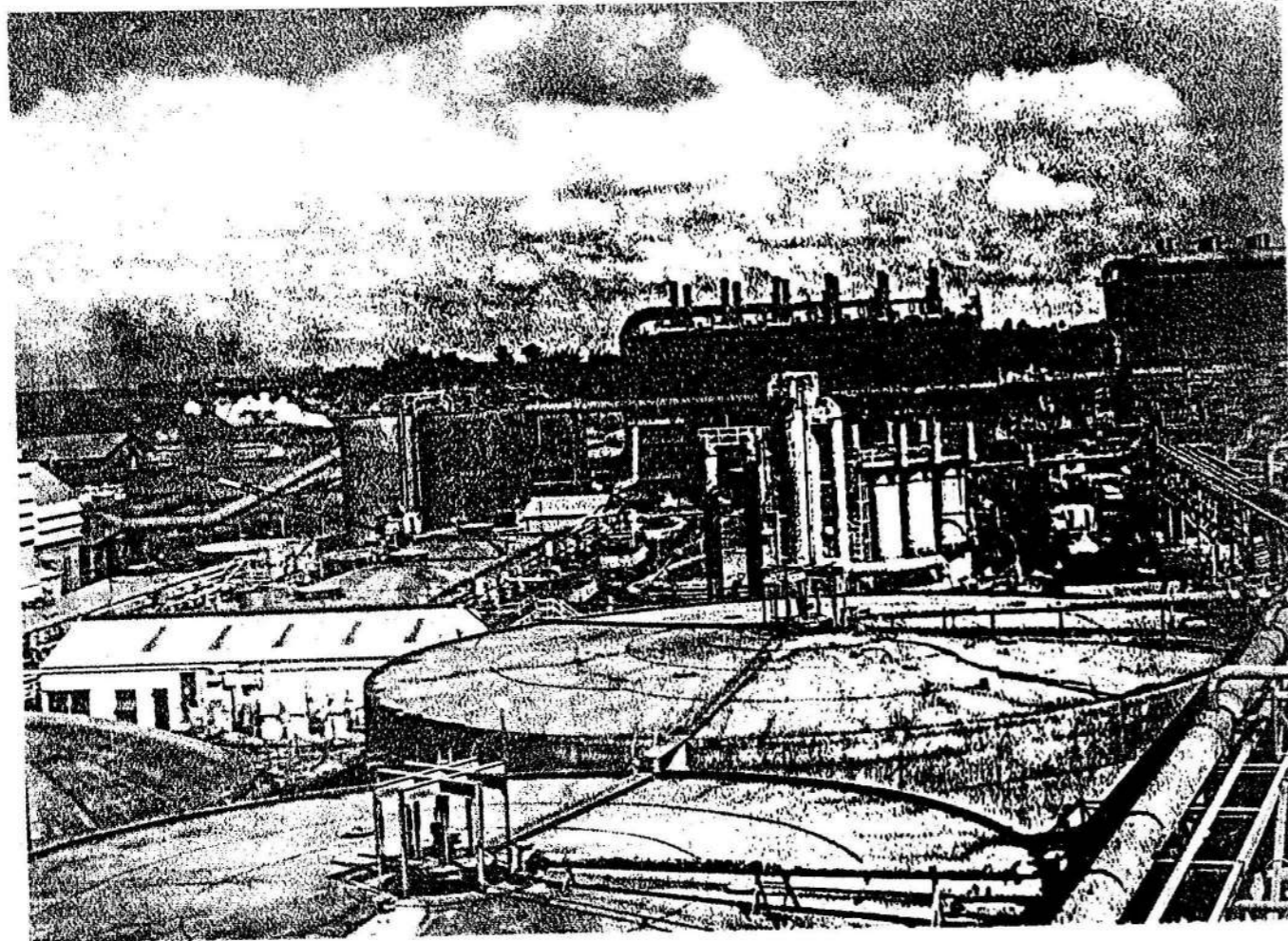
# CARACTERIZACIÓN GEOLOGO-MINERALÓGICA DEL YACIMIENTO DE TOBAS ZEOLITIZADAS CAIMANES, MOA, HOLGUÍN

Dr. Gerardo Orozco Melgar

Facultad de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

*¡Todo lo que usted necesita saber sobre  
protección y uso racional de los recursos!*

## CUBANÍQUEL



*Visítenos y disfrutará del cálido sol caribeño*

### RESUMEN:

Se ofrecen los resultados del estudio geológico y la exploración detallada del yacimiento Caimanes, ubicado a 24 km al noreste de la ciudad de Moa. Se empleó el análisis de difracción de rayos X, microscopía de polarización, microscopía electrónica y análisis químicos y complementarios de capacidad de intercambio catiónico y delta T.

Las tobas verdes están zeolitizadas principalmente por la transformación del vidrio volcánico a clinoptilolita, aparece también mordenita producto de la sustitución de la clinoptilolita y rellenando grietas y oquedades, asumiéndose para la mordenita en este último caso, un origen hidrotermal.

Las rocas zeolitizadas son ricas en SiO<sub>2</sub> y pobres en MgO, predominando las variedades cálcicas. Por los contenidos de zeolitas y los volúmenes establecidos en las diferentes categorías de reserva y tipos tecnológicos de menas, el yacimiento Caimanes es uno de los más importantes de la región oriental de Cuba.

A finales de los años 80, un grupo de profesores y estudiantes del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) desarrolló trabajos de búsqueda en zonas perspectivas para la existencia de tobas zeolitizadas, con el fin de dar solución a necesidades de la región industrial de Moa. Como resultado se presentó el informe de la exploración detallada del yacimiento Caimanes, el cual fue avalado por la Academia de Ciencias de Cuba como logro científico-técnico del quinquenio 1986-90. El presente trabajo constituye un resumen de estos resultados presentados durante la I Conferencia Internacional de Zeolitas Habana'91.

### Ubicación geográfica del yacimiento

El yacimiento de tobas zeolitizadas Caimanes se ubica a unos 24 km al noreste de la ciudad de Moa, provincia de Holguín. Geográficamente limita al norte con el río Cabañas, al sur y este con el río Moa, y al oeste con el río Castro.

### Características geomorfológicas y geológicas

En la zona estudiada, que abarca un área de aproximadamente 48 km<sup>2</sup>, se observan diferencias bien marcadas en las formas del relieve debido a las litologías presentes, así las máximas elevaciones se encuentran al sur y al noreste ocupadas por serpentinitas y gabros, mientras que al norte aparecen colinas suaves formadas por las rocas de la Fm. Mícara. En Caimanes existe una estructura monoclinnal con buza-

### ABSTRACT:

This paper deals with the zeolitization of tuffs in Caimanes deposit, which is located 24 km away from Moa city. Samples were studied through X-ray diffraction, polarizing microscopy, electronic microscopy and chemical analyses.

The green tuffs are zeolitized by transforming volcanic glass into clinoptilolite. Mordenite also appears both in substitution of clinoptilolite and filling up cavities and cracks, assuming in the latest case an hydrothermal origin of the mordenite. Calcium-rich varieties of zeolitized rocks predominate in the deposit.

mientos suaves, desarrollada sobre conglomerados, areniscas y tobas verdes. Estas rocas son poco resistentes, lo que justifica la presencia de colinas con cimas redondeadas donde las mayores alturas no sobrepasan los 240 m. La forma de la red hidográfica está determinada por el factor tectónico, prueba de esto es la presencia de una red subparalela. La existencia de la estructura monoclinnal ocasiona que los arroyos y cañadas corran hacia las zonas de menor buzamiento, ver Figura 1.

En el área afloran principalmente rocas pertenecientes a dos formaciones (Figura 1), la Fm. Mícara y la Fm. Sabaneta, además hay gabros y serpentinitas, y subordinadamente se encuentran las calizas Farallones en el sector sureste. El contacto entre dichas formaciones es gradual. En la base del corte de la Fm. Sabaneta afloran calizas brechosas con fragmentos de tobas de diferentes granulometrías, que transicionan a calizas finas en el terraplén. El contacto entre estas rocas y las tobas es tectónico. Estas últimas constituyen las rocas más comunes de la Fm. Sabaneta en esta zona y forman una serie de ritmos que hacia la parte alta aumentan en espesor, transicionando las de grano grueso en la parte baja del corte a tobas de grano medio hasta llegar a cineríticas en la parte alta, mostrando estratificación gradacional.

Esto puede apreciarse con claridad en el pozo 30, ubicado aproximadamente en el centro del área explorada. En algunos intervalos las tobas presentan un aspecto masivo, siendo común en ellas la estratificación fina, la laminación paralela, la estratificación

cruzada, a pequeña escala y oblicua, así como las rizaduras de corriente y los mecanoglifos, lo que indica que la Fm. Sabaneta es de tipo flysch. En esta zona las estructuras plicativas de la Fm. Sabaneta están subordinadas, observándose una secuencia de pliegues anticlinales y sinclinales con buzamientos suaves y orientación NE-SW de los ejes. Las rocas están afec-

tadas por un gran número de fallas de gran longitud de direcciones NE-SW, NW-SE y sublatitudinales. Las grietas relacionadas con estos sistemas de fallas están rellenas por minerales del grupo de las zeolitas, calcita y calcedonia. Los movimientos tectónicos han provocado un carácter ascendente en la zona.

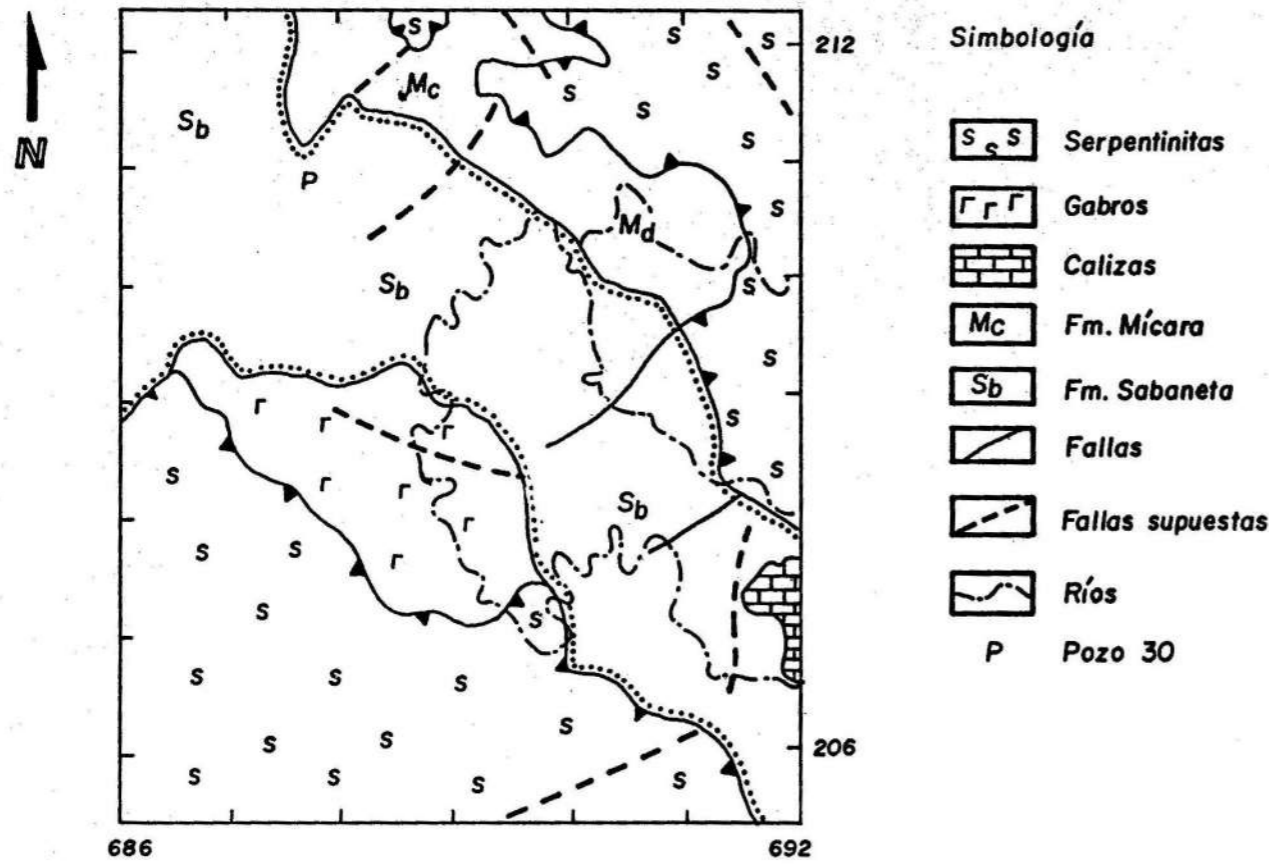


FIGURA 1. Mapa geológico de Caimanes a escala 1:50 000.

### RESULTADOS

Se proyectó una red de perforación de 150 x 50 m con dirección de la magistral N45E para explorar un sector ubicado hacia el noreste de la zona estudiada. Se perforó un total de 17 pozos, situados en 5 perfiles, que abarcan un área de 0,8 km<sup>2</sup> aproximadamente.

#### Composición mineralógica de las rocas

Se describió un total de 14 secciones delgadas del pozo 30, así como, secciones representativas de los tipos litológicos de cada pozo. Los resultados del estudio de las secciones delgadas indican que las rocas presentes son tobas compuestas de una matriz vítrea intensamente alterada a minerales del grupo de las zeolitas, y que contienen, además, hasta un 3 % de cristales de cuarzo xenomórfico y plagioclasa andeana en cristales idiomórficos muy pequeños. Hacia la profundidad aumenta el contenido de arcilla en un 10 %. La textura de las tobas es vitroclástica y se observan estructuras masiva y laminar, así como huellas de débiles corrientes marinas en los sedimentos cineríticos.

Los análisis de difracción de rayos X se realizaron con un difractómetro HZG-4, de fabricación alemana, instalado en la Facultad de Geología del Instituto

Superior Minero Metalúrgico. Se estudiaron muestras de pozos a diferentes profundidades, estableciéndose como fase principal la clinoptilolita, según los reflejos 9,01; 3,96 y 2,97 Å. Subordinadamente aparece mordenita con reflejos 9,17; 4,01 y 3,48 Å y cuarzo con reflejos 4,26 y 3,34 Å. Hacia la profundidad aumentan los contenidos de montmorillonita, calcita y plagioclasas en detrimento del contenido de clinoptilolita (Figura 2).

Para tener información sobre las características de la clinoptilolita, se trató térmicamente una muestra (a 400 °C) y se realizó nuevamente un análisis de rayos X. La muestra natural (1) no resiste el tratamiento térmico (2) (Figura 3), por lo que se infiere que la clinoptilolita, fase zeolítica principal, es de tipo cálcica.

Las muestras del pozo 30 a diferentes profundidades se estudiaron también con microscopía electrónica de rastreo. Se empleó un microscopio Tesla, de fabricación checa, instalado en la Facultad de Técnica de los Silicatos de la Academia de Minas de Freiberg, Alemania. En la Foto 1 se observa el aspecto vítreo de una toba zeolitizada, a la profundidad de 2 m, en la cual son visibles claramente macroporos que varían entre 2 y 3 micrones de diámetro. Con mayor aumento (Foto 2) se hace visible el aspecto tabular de los fragmentos de vidrio volcánico, sustituidos pseudo-

mórficamente por clinoptilolita y apreciándose a la vez la sustitución de la misma por mordenita, la cual aparece como finas agujas de aproximadamente 0,2 micrones de diámetro. La alteración se produce

por sustitución de la clinoptilolita desde el espacio de poro, comprobándose con esto que la formación de la mordenita en este caso ocurre en un estadio posterior.

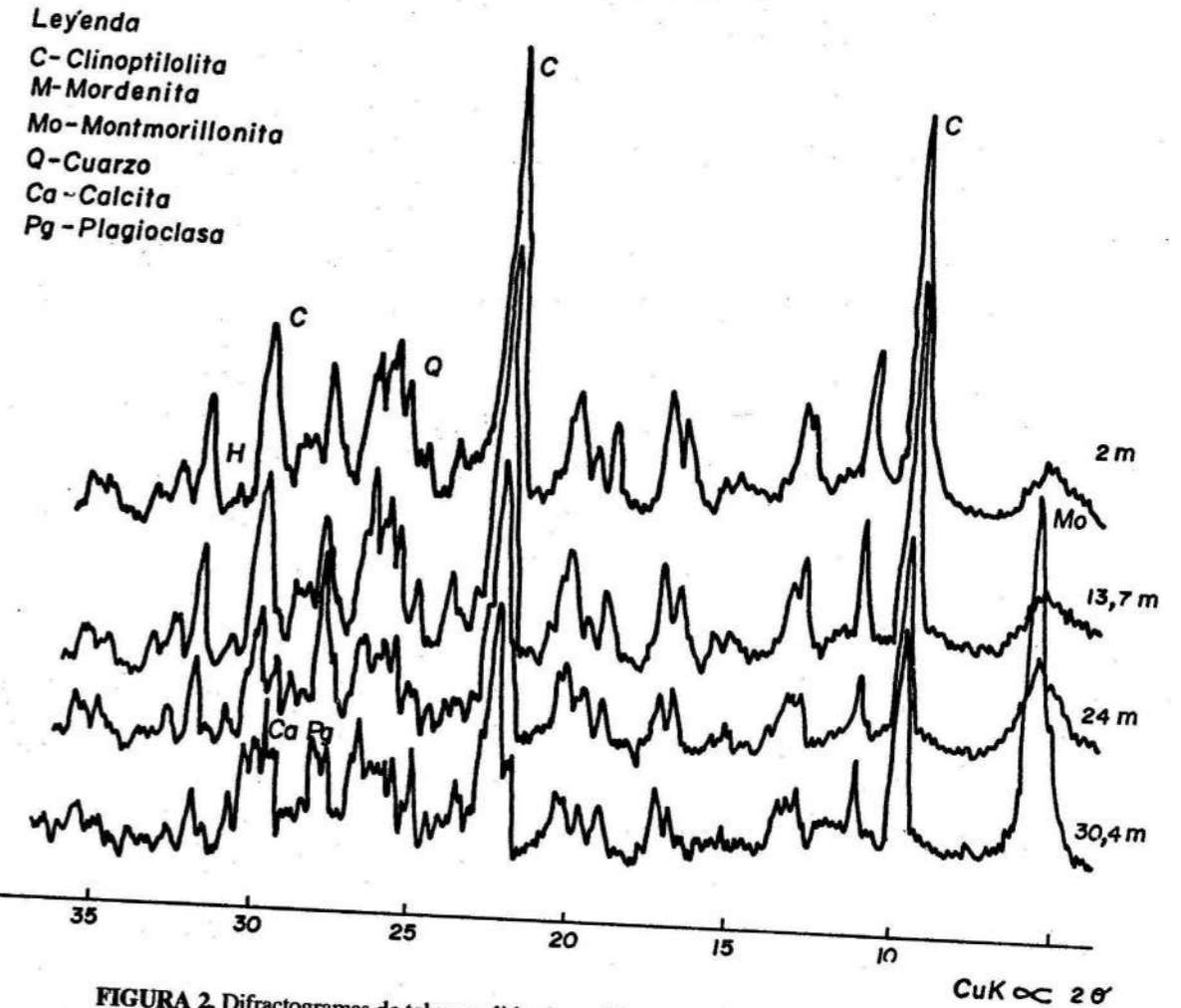


FIGURA 2. Difractogramas de tobas zeolitizadas a diferentes profundidades del pozo 30.

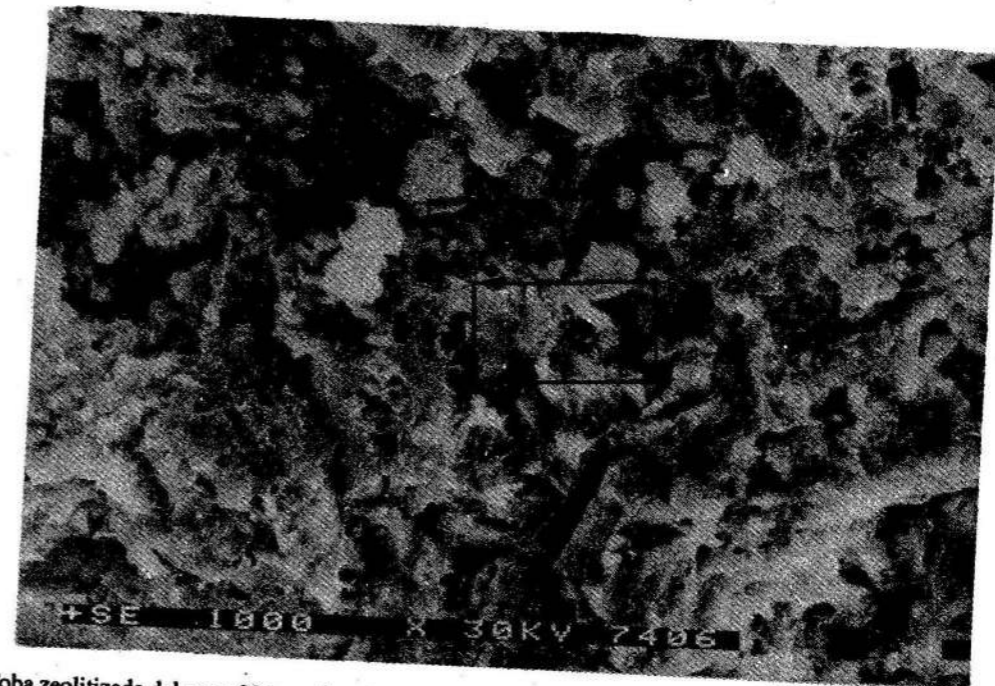


FOTO 1. Toba zeolitizada del pozo 30 tomada a 2 m de profundidad. Con aumento 1 000x se observa la textura vitroclástica.

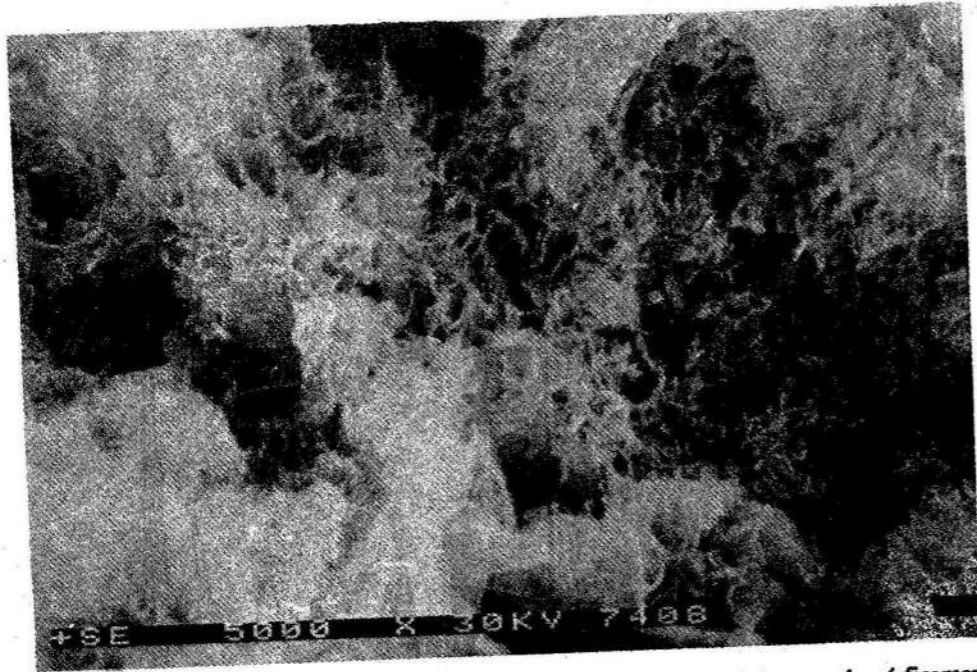


FOTO 2. Detalle de la foto 1 con aumento 5 000x. La clinoptilolita sustituye al vidrio volcánico pseudomórficamente. La mordenita (finas agujas) crece a partir de la clinoptilolita en el espacio de poro.

En la Foto 3 se puede observar, en una muestra tomada a 13,5 m de profundidad, la morfología típica de la montmorillonita, de aspecto fibroso, producto de la alteración del vidrio volcánico. La Foto 4 corresponde a un concentrado de mineral blanco presente

en grietas y oquedades de las rocas. Este mineral tiene la morfología fibrosa típica de la mordenita, los cristales son de 1 micrón de diámetro y alcanzan hasta 10 micrones y más de longitud.



FOTO 3. Toba zeolitizada del pozo 30, tomada a 13,5 m de profundidad. Con aumento 5 000x se observa cómo la morfología de fibras tipo panel de abeja, altera el vidrio volcánico.

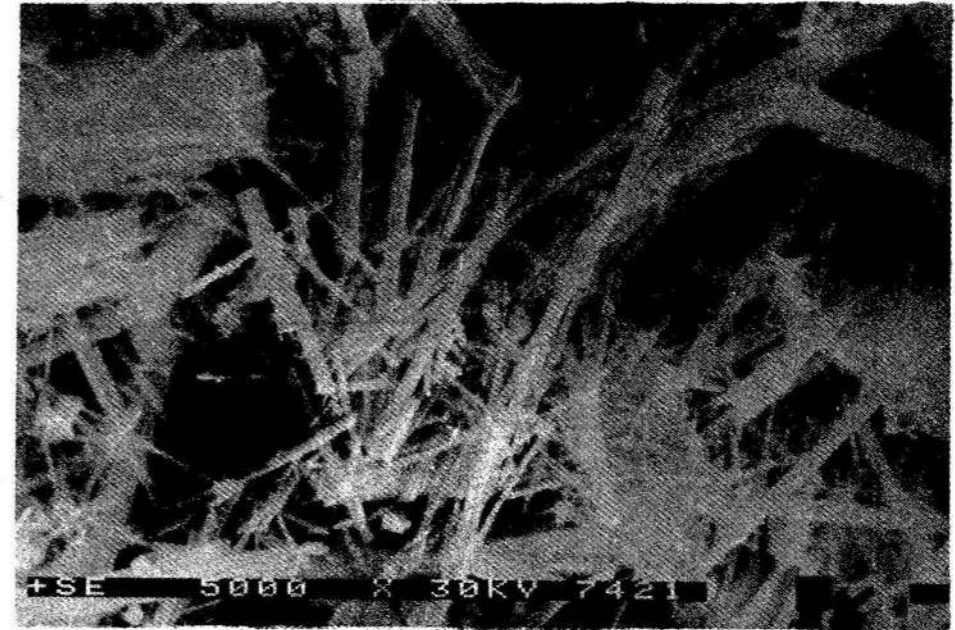


FOTO 4. Concentrado de cristales de mordenita extraídos de grietas en tobas zeolitizadas con típico aspecto fibroso columnar.

#### Composición química de las tobas

En total se realizaron 75 análisis químicos de muestras compuestas, elaboradas a partir de las muestras de los pozos. Los análisis se efectuaron en el laboratorio de la Empresa Geólogo-Minera de Oriente, Santiago de Cuba.

Los valores promedios del contenido en % en peso de los óxidos componentes de las rocas, se muestran en la Tabla 1. La composición promedio de las tobas zeolitizadas es muy semejante a la de las andesitas, las mayores diferencias se dan en los contenidos más bajos de FeO, MgO, Na<sub>2</sub>O y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, el mayor contenido de SiO<sub>2</sub> y el PPI relativamente alto en las tobas zeolitizadas. Estas diferencias podrían deberse al proceso ulterior de transformación de las rocas. Empleando el programa NEWPET se obtuvo el diagrama Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub>, según Le Maitre (1989) (Figura 4).

TABLA 1. Valor medio de los óxidos de las tobas zeolitizadas en % en peso comparados con datos de la literatura

Óxido	1 (n=75)	Andesita*	Dacita*
SiO <sub>2</sub>	59,87	56,86	66,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,41	17,22	16,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,91	3,29	2,39
FeO	0,97	4,26	2,41
MgO	1,48	3,40	1,74
CaO	6,32	6,87	4,29
Na <sub>2</sub> O	1,42	3,54	3,89
K <sub>2</sub> O	1,45	1,67	2,22
PPI	11,07	---	---

1: Para las rocas del yacimiento Caimanes.

\*: Composición química promedio de algunas rocas volcánicas según Le Maitre, 1976.

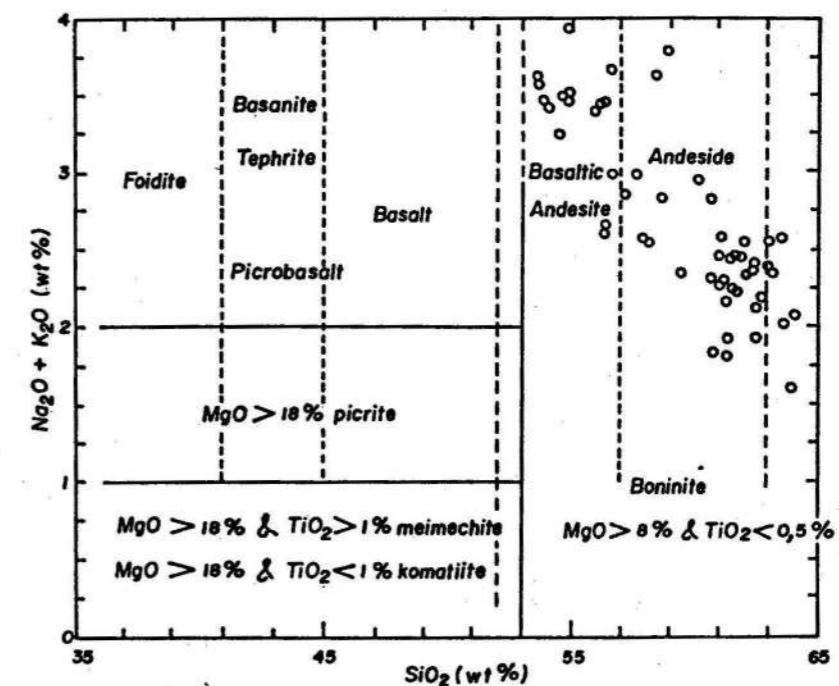


FIGURA 4. Diagrama Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub> (según Le Maitre, 1989).

En este diagrama se observa una tendencia del predominio del quimismo andesítico en las tobas. Al estudiar la correlación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  se obtuvo un coeficiente  $r = -0,899$  (Figura 5). De igual forma la correlación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  dio un coeficiente  $r = -0,853$ . Estos valores de correlación pueden entenderse quizás como una posible migración de los álcalis y óxidos de hierro en la misma dirección de enriquecimiento de la sílice. Las rocas menos profundas y

a la vez más zeolitizadas son pobres en álcalis (Figura 6), aumentando el contenido de este con la profundidad. Se comprueba de esta forma una vez más, la tendencia a la migración de estos elementos durante el proceso de transformación de las rocas desde su estadio inicial, con mayores contenidos de vidrio volcánico y álcalis, hasta rocas zeolitizadas donde aumenta el contenido de sílice y disminuyen los de álcalis.

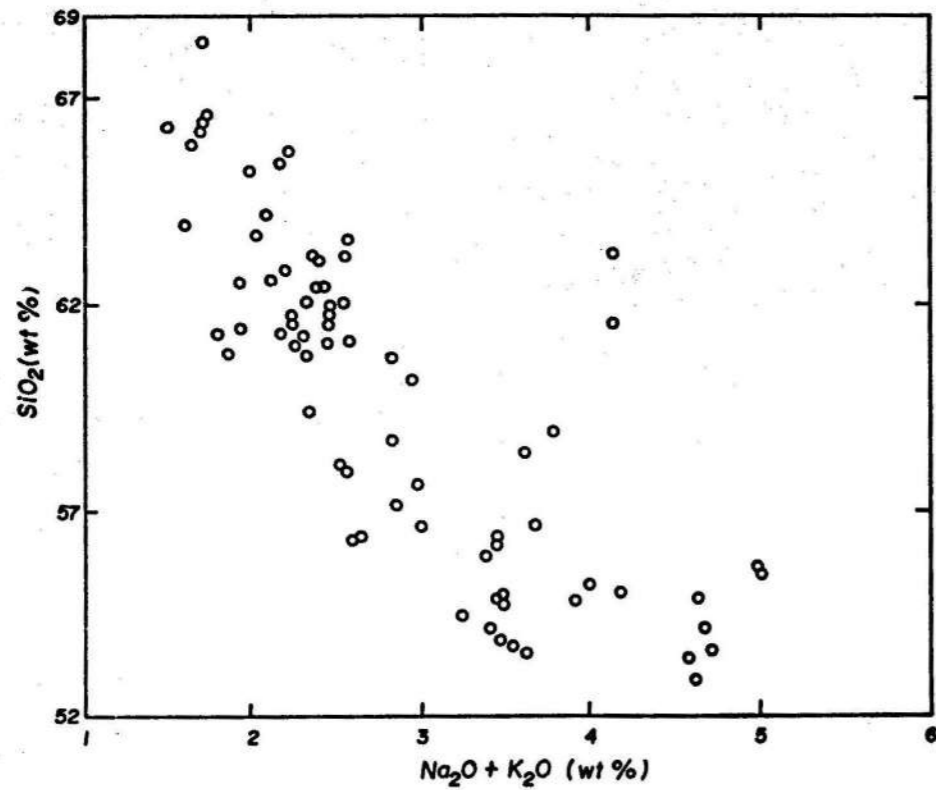


FIGURA 5. Diagrama  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ .

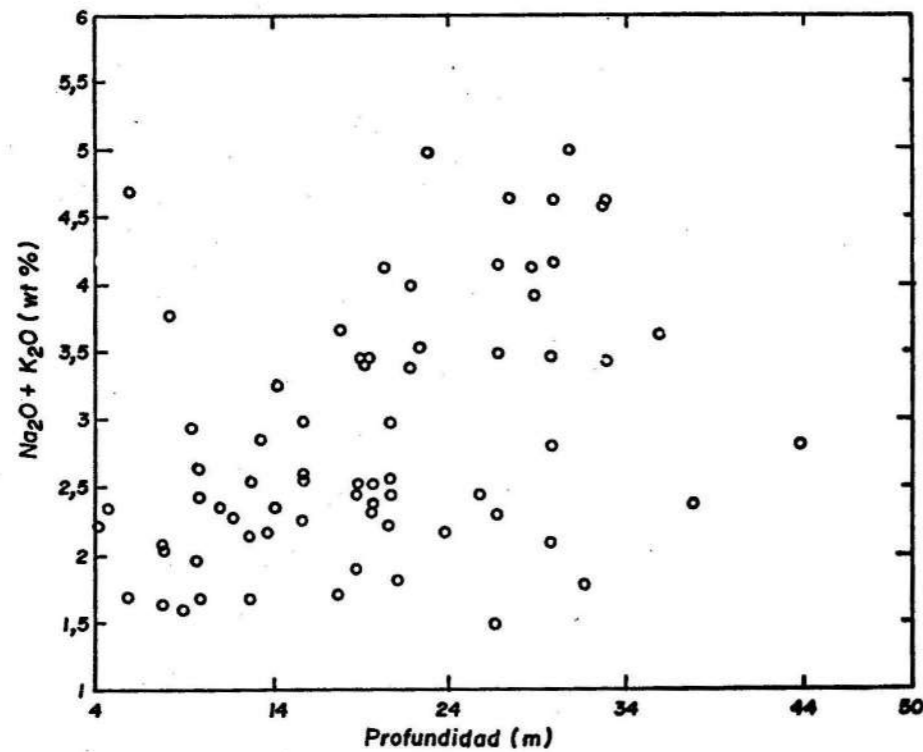


FIGURA 6. Diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  vs Profundidad.

Las rocas zeolitizadas del yacimiento Caímanes son principalmente cálcicas (Figura 7). Resultados semejantes se han obtenido para otros yacimientos de la zona oriental de Cuba. Asimismo se pudo establecer,

empleando el NEWPET, el carácter calcoalcalino (Figura 8) y la tendencia subalcalina de la secuencia de rocas aquí estudiadas (Figura 9).

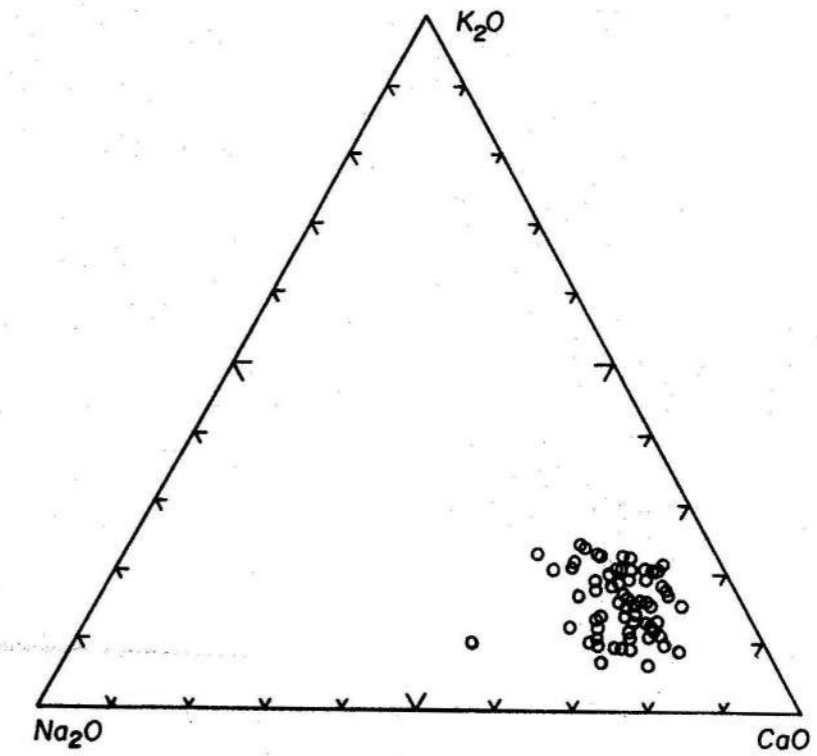


FIGURA 7. Diagrama ternario  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ .

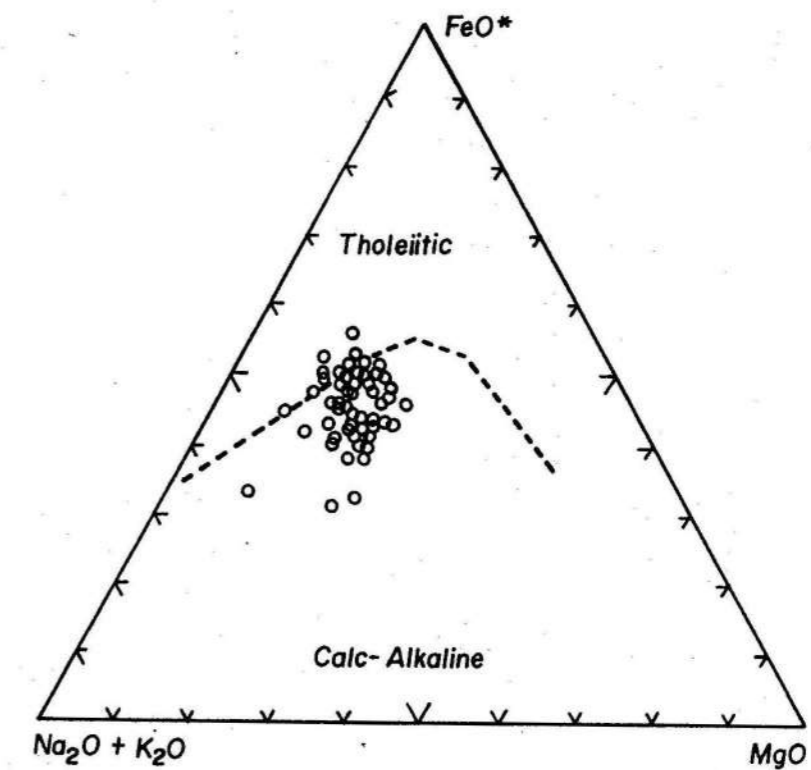


FIGURA 8. Diagrama ternario  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{MgO}$  (según Irvine & Baragar).

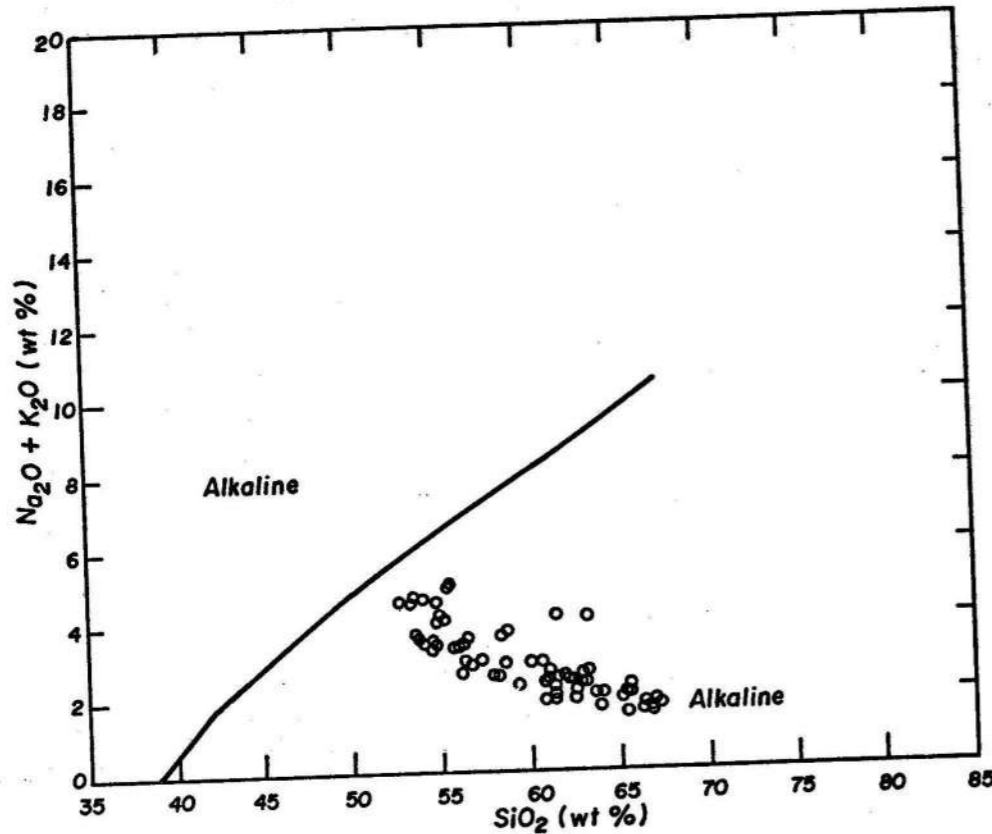


FIGURA 9. Diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  (según Irvine & Baragar, 1971).

#### Análisis de intercambio catiónico y Delta T

Estos análisis se realizaron con el fin de evaluar, junto con las determinaciones cuantitativas de rayos X, la pertenencia de las tobas zeolitizadas a un tipo específico de mena. En la Tabla 2 aparecen algunos resultados de las determinaciones realizadas a muestras del pozo PB1, muy cercano al pozo 30. El tipo tecnológico I, equivalente a un contenido de zeolitas entre 70 y 90 %, predomina en los primeros 8 m. Entre los 8 y los 17 m de profundidad hay un decremento del contenido de zeolitas, prevalecen los valores característicos del tipo tecnológico II (50 - 70 % de zeolitas) y finalmente, por debajo de los 17 m, aparece el tipo tecnológico III (30 - 50 % de zeolitas). Más abajo, el contenido de zeolita de las rocas es inferior al 30 % que equivale a valores de capacidad de intercambio catiónico total (CICT) menores de 55 meq/100 g. Los datos de la Tabla 2 corroboran lo establecido para otros métodos de análisis en cuanto a la disminución gradual del contenido de zeolitas con la profundidad, y al predominio del tipo tecnológico II para el yacimiento Caimanes, ya que el pozo PB1 es representativo del área estudiada.

TABLA 2. Resultados del Intercambio catiónico total (CICT) y ensayos de delta T a muestras del pozo PBI

Tipo tecnológico	Muestra	Profundidad (m)	Delta T (°C)	CICT (meq/100g)
I	1	0-2	14,5	122,9
II	2	2-4	12,5	104,5
II	3	4-6	15	116,9
I	4	6-8	15,7	121
II	5	8-10	9,7	113
II	6	10-12	11,5	118,8
II	7	12-14	12,5	108,3
II	8	14-15	12,5	102,9
II	9	15-17	9,5	90,5
III	10	17-19	9,5	78,9
III	11	19-21	8,5	68,2
III	12	21-23	9,7	66,7
III	13	23-25	7,5	73,8
III	14	25-27	6,5	56,3

## CONCLUSIONES

1. En el sector estudiado del yacimiento Caimanes existe una variación gradual del contenido de zeolitas en las rocas con la profundidad, predominando los mayores contenidos en la parte superior del corte donde aparecen las tobas vitroclásticas.
2. La fase principal detectada es la clinoptilolita de tipo cálcica, la cual se forma por la transformación del vidrio volcánico. Durante este proceso hay un aumento de la sílice y una disminución de los álcalis y óxidos de hierro. Como fase zeolítica subordinada aparece la mordenita, la cual se presenta en dos tipos genéticos, uno sustituye a la clinoptilolita y otro rellena grietas debido a una actividad hidrotermal de baja temperatura posterior con control tectónico.
3. Las rocas se formaron en condiciones marinas, el mecanismo de formación parece influir en el proceso de migración de los elementos químicos.
4. El material inicial depositado en la cuenca tenía un quimismo predominantemente andesítico con un marcado carácter calcoalcalino.
5. Este tipo genético de depósito de zeolitas está vinculado con la transformación del vidrio volcánico en condiciones marinas en un ambiente geológico de arcos de islas como el descrito por Utada para el Green Tuff en Japón.

6. En el yacimiento Caimanes predominan las tobas zeolitizadas del tipo tecnológico II con contenidos de zeolitas variables entre 50 y 70 %.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer profundamente la colaboración para la realización de este trabajo de los ingenieros Elizabeth Crespo, Jesús Blanco y Andrés Salazar por la interpretación de las secciones delgadas, la realización de los análisis de difracción de rayos X y la colaboración en los trabajos de campo, así como la ayuda brindada por el colega Rolando Rizo al facilitar los resultados de los análisis químicos y de Delta T, realizados en la Empresa Geólogo-Minera de Oriente.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO MORALES, DARGE: *Análisis estratigráfico del yacimiento Caimanes*, Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1990.
- INFORME DE LA EXPLORACIÓN DETALLADA DEL YACIMIENTO CAIMANES, PROVINCIA DE HOLGUÍN. Fondo geológico, EGMO, Santiago de Cuba.
- RABAZA M., GLADYS: *Análisis de la composición mineralógica del yacimiento Caimanes*, Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1989.
- SCHMINCKE, H.J. y R.V. FISHER: *Pyroclastic rocks*. Stuttgart: Springer Verlag, 420 pp., 1984.
- UTADA, M.: "Zeolitization in the Neogene formations of Japan", *Episodes*, 14 (3) :242-245, 1991.

# FACULTAD DE METALURGÍA

Se forman ingenieros metalúrgicos de perfil amplio que abarca desde la preparación y beneficio de la materia prima, hasta la obtención y tratamiento de metales y aleaciones.

La política científica de los profesores de la carrera está dirigida al aprovechamiento total de los recursos minerales, y en especial al diseño de variantes tecnológicas para el tratamiento integral de las lateritas. Paralelamente se trabaja en el perfeccionamiento de las tecnologías existentes, desarrollándose posgrados y doctorados en:

- Procesos gravitacionales, preparación mecánica, flotación, separación magnética y eléctrica.
- Metalurgia extractiva (níquel, cobalto, cobre, zinc, plomo, aluminio, manganeso, metales nobles y raros).
- Automatización de procesos metalúrgicos.
- Transporte de materiales.
- Producción de aceros y aleaciones.

Se trabaja en grupos multidisciplinarios que agrupan geólogos, mineros, automatizadores, matemáticos, físicos, químicos, electroenergéticos y metalúrgicos.

El claustro lo integran profesores titulares, auxiliares, asistentes e instructores.