



**Trabajo de Diploma para Optar por el Título  
de Ingeniero Geólogo**

**Título: Análisis de similitudes geoquímicas de  
manifestaciones de arcillas caoliníticas en  
Cuba Oriental relacionadas genéticamente con  
la Formación Caobilla.**

**Autor: Harol Alejandro González Jiménez**

**Tutores: Prof. Ing. Luis Alberto Pérez García**

**Prof. Ing. Angel Eduardo Espinosa Borges**

**Universidad de Moa, 2022**

## *Pensamiento*

*La geología tiene una tristeza apabullante que nunca podrá sacarse de encima. Esta tristeza proviene de la idea de que el tiempo trabaja en su contra.*

*Salvador Dalí*

## *Dedicatoria*

*A mi Padre, a mi madre, a mis tíos, abuelos, a mi familia y amigos, A todos aquellos que luchan en cualquier parte del mundo por sus sueños y su superación. A la juventud, a lo bello, al amor, a la vida.....*

*Gracias ciencia*

## **Agradecimientos**

A mi madre por ser mi todo en la vida, haberme traído al mundo, ser mi otro yo, mi cordura, sensatez, paño de lágrimas, la mejor madre del mundo; sin su dedicación, sacrificio y amor no me hubiese convertido en lo que soy.

A mi papa por enseñarme que no todo en la vida es como parece, por guiarme, advertirme; poner su mano en el yunque antes que me hubiese atrevido yo, gracias por tu carácter, aunque aún no lo comprendamos, soy un pedazo de ti.

A mi China por ser parte de mi vida, mi doctora, mi media naranja, mi cómplice, fuente de soporte en los días difíciles; sin ti no hubiesen sido lo mismo estos cinco años.

A Yosva y Yali, sin ustedes la geología no existiese para mí.

A mi tutor Luis Alberto por haberme involucrado en sus aventuras desde años tempranos de la carrera; por haberme vinculado a la investigación científica; por haberme permitido ser parte de esta maravillosa experiencia que se llama ciencia.

A mi otro tutor Angel Eduardo quien me ha guiado y se ha mantenido junto a mí en estos momentos tan cruciales, como la preparación de mi tesis y la defensa de ella.

A mi grupo de investigación Geotecnología de los Materiales, por haberme ayudado a recorrer este arduo camino que es la preparación de una tesis.

Al claustro de profesores de mi carrera por haberme enseñado el valor de la disciplina y los conocimientos necesarios para convertirme hoy en un buen Ingeniero Geólogo.

A Enma y Góngora, por ser mis padres adoptivos en Moa y enseñarme que el trabajo ennoblece.

A todos aquellos que de alguna u otra forma arrimaron el hombro a este joven estudiante y formaron parte de su vida y su conversión en ingeniero.

## **Resumen**

La mayoría de los depósitos de arcilla caolinítica del territorio centro oriental, están relacionados genéticamente con la Formación Caobilla. Corresponden con alteraciones de origen hidrotermal de baja sulfuración que se manifiestan fundamentalmente en afloramientos aislados de caolinita de alta pureza. El presente trabajo, caracteriza y establece vínculos genéticos entre dos manifestaciones de arcilla del extremo más oriental de la zona central, los depósitos Dumañuecos en Las Tunas y Mir en Holguín. Las muestras involucradas en este estudio se caracterizaron mediante fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y análisis térmicos diferenciales. Se logran establecer similitudes y diferencias entre las manifestaciones seleccionadas, estableciéndose en ambos casos una paragénesis relacionada con la fase argílica avanzada, en sistemas hidrotermales de baja sulfuración. Se establecen transiciones en los álcalis de acuerdo a la cercanía del foco magmático y finalmente se concluyen que ambas estructuras están relacionadas con domos riolíticos subvolcánicos.

**Abstract**

Most of the kaolinitic clay deposits in the eastern central territory are genetically related to the Caobilla Formation. They correspond to alterations of low sulphidation hydrothermal origin that are manifested mainly in isolated outcrops of high purity kaolinite. The present work characterizes and establishes genetic links between two clay manifestations from the easternmost end of the central zone, the Dumañuecos deposits in Las Tunas and the Mir deposits in Holguín. The samples involved in this study were characterized by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, and differential thermal analyses. It is possible to establish similarities and differences between the selected manifestations, establishing in both cases a paragenesis related to the advanced argillic phase, in low sulphidation hydrothermal systems. Alkali transitions are established according to the proximity of the magmatic focus and finally it is concluded that both structures are related to subvolcanic rhyolitic domes.

**Keywords:** mineralogical, petrological, geochemical, kaolinitic clays, chemical analysis, alumina, alkalis, hydrothermal fluids.

## Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO .....	5
1.1 Yacimiento Dumañuecos .....	5
1.1.1 Situación Geográfica .....	5
1.1.2 Relieve.....	6
1.1.3 Clima.....	7
1.1.4 Red hidrográfica.....	8
1.1.5 Vegetación .....	9
1.1.6 Geología del yacimiento .....	9
1.2 Manifestación Mir .....	11
1.2.1 Situación geográfica.....	11
1.2.2 Relieve.....	12
1.2.3. Clima .....	13
1.2.3 Red hidrográfica.....	14
1.2.4 Vegetación .....	14
1.2.5 Geología del área de la manifestación .....	14
CAPÍTULO 2: MATERIALES, MÉTODOS Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS .....	17
2.1. Introducción .....	17
2.2. Trabajos de campo y muestreos.....	18
2.2.1. Yacimiento Dumañuecos. ....	18
2.2.2. Manifestación Mir .....	25
2.3. Preparación de las muestras y realización de los ensayos .....	26
2.3.1. Preparación de las muestras.....	26
2.3.2. Preparación para Difracción de Rayos X y Rayos X Diferenciales .....	27
2.4. Métodos de análisis .....	30
2.4.1. Difracción de Rayos X y Rayos X Diferenciales.....	30
2.4.2. Fluorescencia de Rayos X .....	30
2.4.3. Análisis Térmico Diferencial .....	31
2.4.4. Preparación de las muestras para petrografía .....	31

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	32
3.1. Introducción .....	32
3.2. Características mineralógicas de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir .....	32
Yacimiento Dumañuecos .....	35
Manifestación Mir .....	36
3.3. Características químicas de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir .....	37
Yacimiento Dumañuecos .....	37
Manifestación Mir .....	39
3.4. Resultados del análisis térmico diferencial de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir .....	41
Yacimiento Dumañuecos .....	41
Manifestación Mir .....	42
3.5. Análisis petrográfico de las rocas del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir .....	42
Yacimiento Dumañuecos .....	43
Manifestación Mir .....	45
3.6. Relaciones geológicas y genéticas del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir .....	49
Yacimiento Dumañuecos .....	49
Manifestación Mir .....	50
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES .....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55



## Introducción

El término caolín es originario de China y ha sido utilizado por más de tres mil años en la fabricación de cerámicas finas. Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Los minerales arcillosos del caolín son silicatos hidratados de aluminio de composición aproximada  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . siendo la caolinita el mineral principal que caracteriza a la mayor parte de los caolines, pero tanto la caolinita como otros minerales del Grupo pueden presentarse en mayor o en menor grado dentro de los caolines (Ariosa Iznaga 1984)..

Las rocas de la asociación vulcano-plutónica calcoalcalina de arco de islas, de edad Albiense-Campaniense medio, afloran extensamente en Cuba (Iturralde-Vinent 1994; Iturralde-Vinent 1998). La actividad volcánica de la región Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas representa el desarrollo de una secuencia alcalino sódica-potásica (Talavera Coronel, F; Echevarria, B; Tchounev, D; Ianev, S; Tzankov 1986). La parte inferior está vinculada con la etapa inicial de desarrollo del arco y se caracteriza por la efusión de lavas básicas y medio-básicas con tendencia subalcalina (Echevarria y Talavera Coronel, F; Tchounev, D; Ianev, S; Tzankov 1986).

En la región Centro Oriental de Cuba se desarrollan las rocas de la asociación vulcano-plutónica calcoalcalina de arco de islas, de edad Albiense-Campaniense medio (Iturralde-Vinent 1994; Iturralde-Vinent 1998). De acuerdo con Pecerrillo y Taylor, 1976, la formación Caobilla presenta características referidas a las series Calcoalcalina y Toleítica. También considerando las relaciones  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  vs  $\text{SiO}_2$  en el diagrama de Miyashiro 1974, se observa que la formación es esencialmente calcoalcalina con cierto carácter toleítico. En la región no hay otras formaciones con carácter toleítico.

La formación Caobilla (Iturralde 1981) se distribuye como una franja discontinua y alargada a través de las provincias Ciego-Camagüey-Las Tunas en Cuba Central.

Se le ha determinado edad Campaniano por fauna de los carbonatos asociados (Rojas 1999). Está constituida por una secuencia vulcanógeno-sedimentaria donde predominan las variedades ácidas (dacita, riocacita y riolita) calcoalcalinas, las variedades medias incluyen andesitas (Batista 2011; De Huelbes 2013).

Las rocas de esta unidad varían desde andesíticas hasta riolíticas con pocos representantes más básicos y predominio de las dacitas (Milian et al. 2001). Presenta intensa alteración hidrotermal-metasomática, sinvolcánica y vinculada al contacto del intrusivo (Iturralde-Vinent 1996). A pesar de que las rocas de la formación Caobilla han sufrido alteraciones metasomáticas, mantienen las características geoquímicas fundamentales de la serie calcoalcalina como, los bajos contenidos de Mg, Ti, Ni, Zr y la relación del Ba con la sílice. El incremento de la información acerca de esta formación tiene interés científico y práctico, debido a que esta participa de un conjunto de secuencias cuya zonación respecto a la alcalinidad es contradictoria. Además, en esta formación se encuentran los sectores mineralizados Gaspar y El Pilar.

A los efectos de la presente investigación se seleccionaron dos depósitos ubicados en la parte Oriental de la República de Cuba, la cual cuenta con menos estudios realizados desde el punto de vista de la Formación Caobilla. Se hace fundamental establecer las regularidades geoquímicas y mineralógicas presentes en las arcillas caoliníticas de Dumañuecos y Mir relacionadas con la formación Caobilla para explicar las peculiaridades que presentan atendiendo a su génesis.

Las rocas del yacimiento Dumañuecos pertenecen a las series inferiores y superiores del arco volcánico del Aptiano-Campaniano, las cuales están representadas por el complejo de las rocas efusivas de composición intermedia y básica (Hevia Delgado y ONRM 1983) relacionadas a la formación Caobilla. Una característica típica de esta región es la presencia de intrusiones ácidas de granitos (Martín Cortés, Guillermo Ruperto; Theodoro Hennies, Wildor; Valenzuela Díaz et al. 2005). En los alrededores de las rocas intrusivas se observan formaciones sedimentarias y vulcanógeno-sedimentarias del Mioceno (Brace et al. 1996).

En el depósito Mir las rocas están relacionadas al arco volcánico albiense-campaniense con tendencia ácida representadas por riolitas parcialmente alteradas y componentes vulcanógeno-sedimentarios compuestos por tobas (Hidalgo Suárez et al. 2022). En estas rocas se han desarrollado procesos hidrotermales posteriores que propiciaron la formación de sulfuros representados por calcopirita y bornita (Hidalgo Suárez et al. 2022). Las principales alteraciones desarrolladas en el depósito están representadas por procesos de caolinitización muy intenso en algunos sectores y en menor medida oxidación (Hidalgo Suárez et al. 2022).

La geología del yacimiento Dumañuecos ha sido estudiada por varios geólogos en el pasado (ONRM 1965; 1969; 1983; 1984; 1989), en cambio el depósito Mir está muy poco estudiado. En los últimos años, ha cobrado auge el estudio de estas arcillas por las nuevas perspectivas que representa la producción de materiales cementicios suplementarios en el territorio (Espinosa Borges et al. 2019; Espinosa-Borges et al. 2022; Hidalgo Suárez et al. 2022). Aun compartiendo rasgos genéticos importantes se han reportado peculiaridades considerables en estas arcillas.

**Problema:** ¿Cómo se relacionan las características mineralógicas, petrológicas y geoquímicas de los depósitos arcillosos Dumañuecos y Mir a partir de su relación genética con la formación Caobilla?

**Objetivo:** Establecer relaciones mineralógicas, petrológicas y geoquímicas entre las manifestaciones de arcillas caoliníticas Dumañuecos y Mir a partir de su relación genética con la formación Caobilla.

**Hipótesis:** Si se logran establecer las relaciones mineralógicas, petrológicas y geoquímicas entre las manifestaciones de arcillas caoliníticas Dumañuecos y Mir se podrá particularizar su relación genética con la formación Caobilla.

**Objetivos específicos:**

- Establecer un estado del arte actualizado acerca del grado de estudio y la profundidad de los estudios de la formación Caobilla y de las manifestaciones de arcillas caolinitas relacionadas a ella.
- Realizar un levantamiento y muestreo que permita establecer relaciones genéticas entre los depósitos.
- Caracterizar química, mineralógica y petrológicamente las muestras.
- Establecer relaciones útiles entre las paragénesis, la geoquímica y los datos genéticos que se tienen entre las diferentes manifestaciones.

**Objeto:**

Las manifestaciones de arcillas caoliníticas de Dumañuecos y Mir.

**Campo de acción:**

Características mineralógicas, geoquímicas y petrográficas de las manifestaciones.

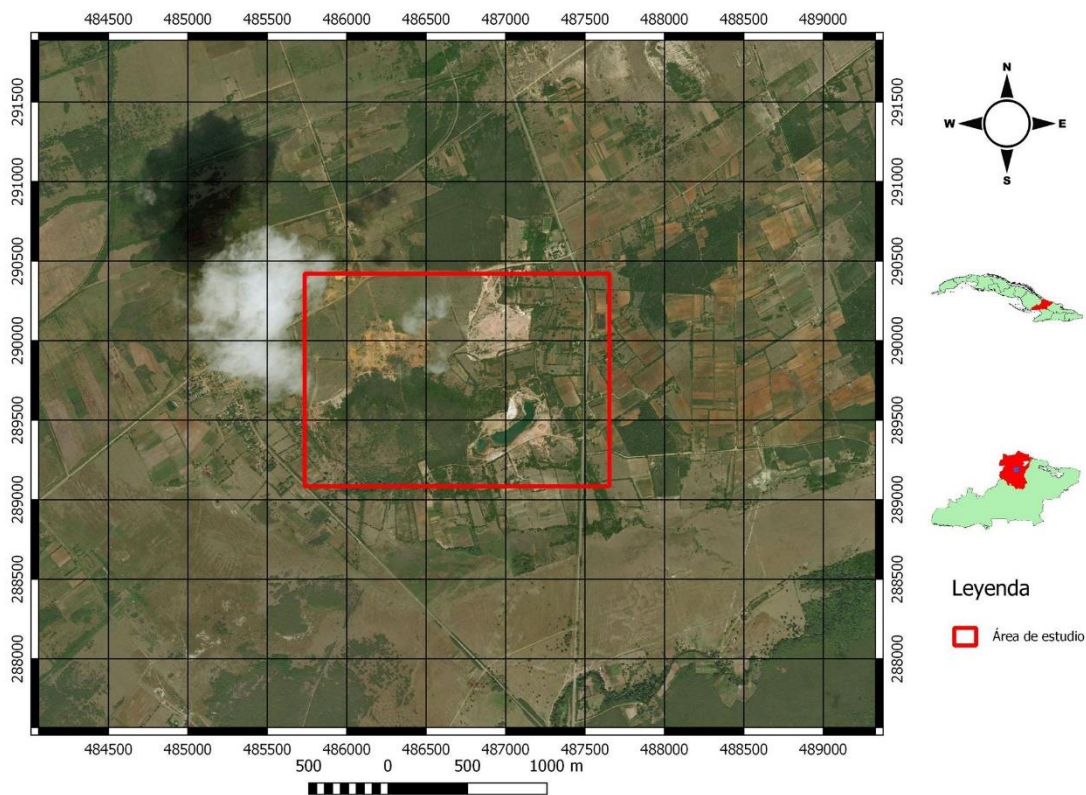
## **CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO**

A los efectos de la presente investigación se seleccionaron dos áreas de estudio, ambas relacionadas genéticamente con la formación Caobilla. Ambos depósitos fueron sometidos a la acción de fluidos hidrotermales, que propiciaron el desarrollo de procesos de baja sulfuración. En el caso del Depósito Dumañuecos se trata de un yacimiento relativamente bien estudiado, que formó parte de una antigua explotación de caolín para porcelana de alta pureza. En el caso de la manifestación Mir apenas existe información geológica siendo el artículo: " Evaluación de las arcillas caoliníticas de la manifestación Mir como material cementicio suplementario", publicado en el año 2022 por Alfredo Enrique Hidalgo Suárez, una de las pocas referencias que existen de dicha manifestación. A continuación, se describen las características físico-geográficas y geológicas de ambos depósitos.

### **1.1 Yacimiento Dumañuecos**

#### **1.1.1 Situación Geográfica**

El yacimiento de caolín Dumañuecos está ubicado en las cercanías del poblado homónimo, del municipio de Manatí, en la parte septentrional de la provincia Las Tunas. Limita al Este con el municipio de Puerto Padre, al Oeste con la provincia de Camagüey, al Sur con el municipio Las Tunas y al Norte con el Océano Atlántico (Figura 1).



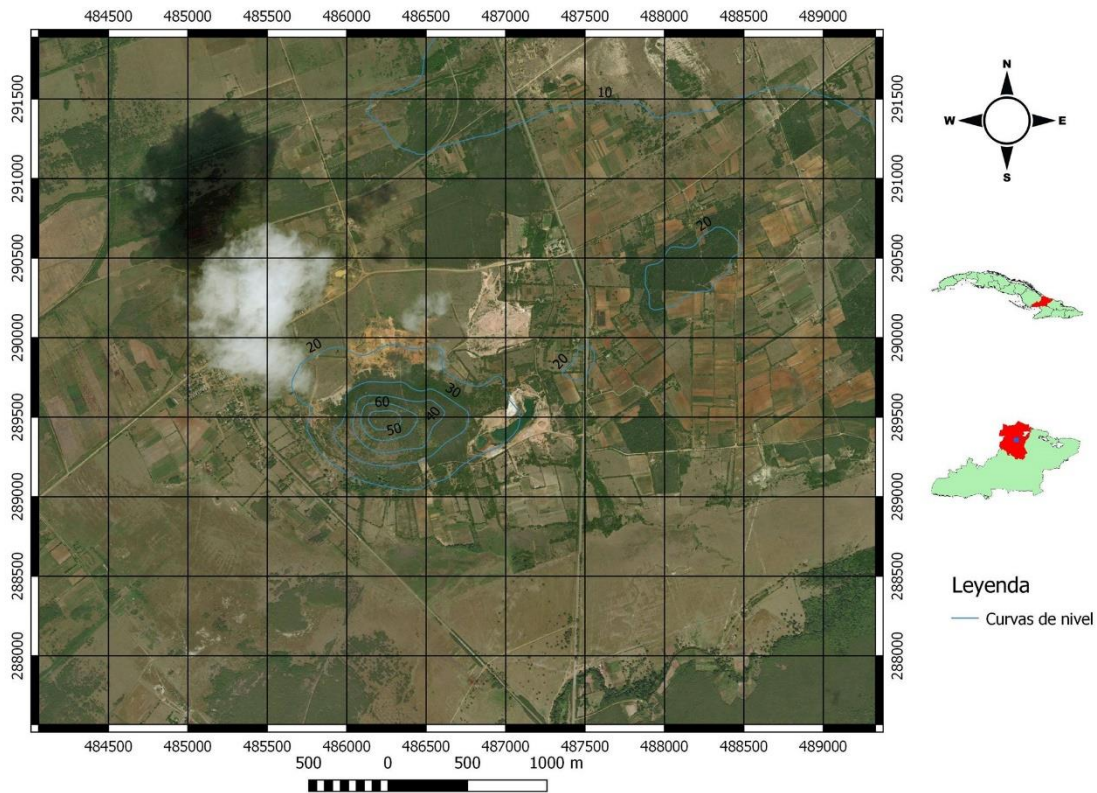
**Figura 1:** Imagen satelital y esquema de ubicación del Yacimiento Dumañuecos

El Yacimiento fue objeto de explotaciones en el pasado como fuente de arcillas de alta pureza para la cerámica. Actualmente el yacimiento se encuentra cerrado y la cantera principal se ha inundado (Espinosa-Borges et al. 2022). Así mismo una tesis de grado desarrollada en el año 2019, como parte de un trabajo doctoral, demostró las potencialidades del Yacimiento para la producción de cemento bajo en carbono (Espinosa Borges 2019).

### 1.1.2 Relieve

En la región el relieve se presenta en forma de llanura abrasiva, ligeramente diseccionada con cotas que oscilan entre 10 y 40m, ya en el área costera que bordea la bahía la llanura es laguno-palustre con cotas entre 5 y 10m. En la parte periférica exterior de la zona la llanura es abrasiva denudativa, diseccionada con cotas entre 20 y 40 msnm. Al sur esta llanura está limitada por el peniplano Florida-Camagüey-Tunas (Valdés, G. C. 1987).

El depósito se ha desarrollado a expensas de la alteración hidrotermal en el cerro Dumañuecos, con cota de 60 msnm, siendo el propio yacimiento el punto más alto en 20 km a la redonda. El área circundante es plana con cotas de entre 10 y 20 msnm que corresponden al relieve de toda la región (Figura 2).



**Figura 2:** Esquema de curvas de nivel del depósito Dumañuecos. Las curvas han sido generadas sobre el modelo digital del terreno sobre la propia imagen satelital.

### 1.1.3 Clima

El clima que predomina en Las Tunas es tropical de sabana. Las temperaturas máximas promedio registradas son 27,4°C y las mínimas promedio de 23,4°C, las que se ajustan a lo expresado en el nuevo Atlas Nacional de Cuba en cuanto al régimen anual de 24°C en las llanuras. El promedio anual de la evaporación potencial oscila entre 2379 y más de 2780 mm, el que se ubica entre los más altos del país. La humedad relativa alcanza valores mensuales que oscilan entre 74 % en marzo y abril y el 83 % de septiembre a noviembre. Predominan los vientos del tipo

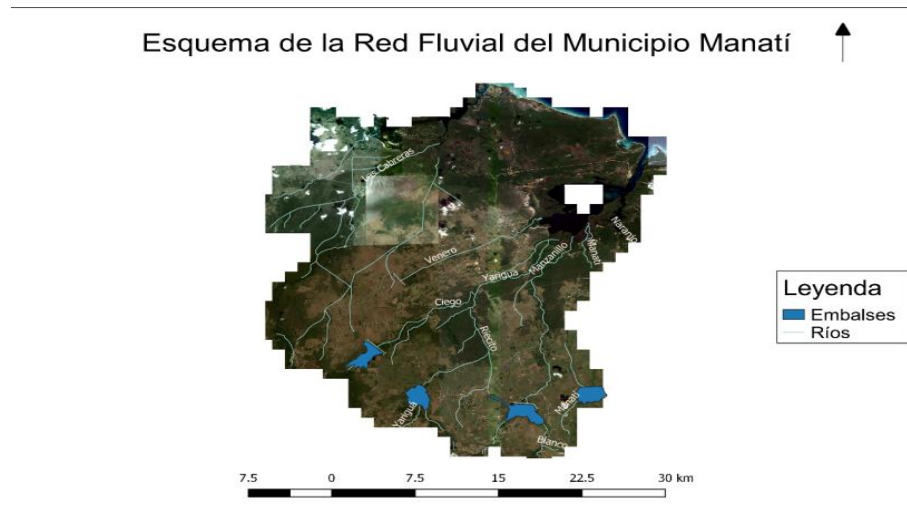
Palmarito del Cauto, con alisios y calmas, con promedios de velocidades que oscilan entre 7,7 y 13,7 Km/h (Feria Avila 2004; Espinosa Borges 2019).

Las precipitaciones atmosféricas experimentan grandes cambios en el tiempo y el espacio, debido a la influencia de la circulación atmosférica, el carácter de la superficie terrestre y las aguas marinas. El promedio mensual expresa una marcada diferencia entre los períodos lluvioso y seco. Los valores máximos se observan en mayo con 180mm y mínimos en junio con 100mm. Los meses más secos son diciembre y enero, que no superan los 20mm. La humedad relativa promedio de la región es de un 60 %, con un promedio anual de temperaturas entre 25-26°C y con oscilaciones entre 10-34°C. La temperatura máxima absoluta del aire es de 37-38°C, la temperatura mínima absoluta del aire es de 10°C, la temperatura media mensual del aire a partir de julio en los meses de verano es de 27-28°C y la temperatura media mensual del aire a partir de enero en los meses de invierno es de 23-24°C (Espinosa Borges 2019).

#### **1.1.4 Red hidrográfica**

La red hidrográfica de la región es poco densa y su importancia es muy limitada, está compuesta por los ríos Yarigua, Gramal y Manatí que son de poco caudal y que desembocan en la bahía de Manatí; además del río Cabrerías y los arroyos Venero y Brazo Gramal que corren entre el N y el N-NE (Valdés, 1987) (Figura 3). Las rocas son poco porosas y por lo general, las aguas subterráneas proceden de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas que ocurren en la región.





**Figura 3:** Esquema de la red hidrográfica de Manatí

La Cuenca subterránea Tunas Norte está formada por sedimentos del Cuaternario y rocas del Neógeno que yacen concordantemente sobre las de edad Cretácico. Los principales acuíferos se desarrollan en la formación Vázquez, que almacenan considerables volúmenes de agua subterránea (cuenca La Cana). La dirección del flujo es desde el Sur Sudoeste hacia el Norte (Zamora 2008).

### 1.1.5 Vegetación

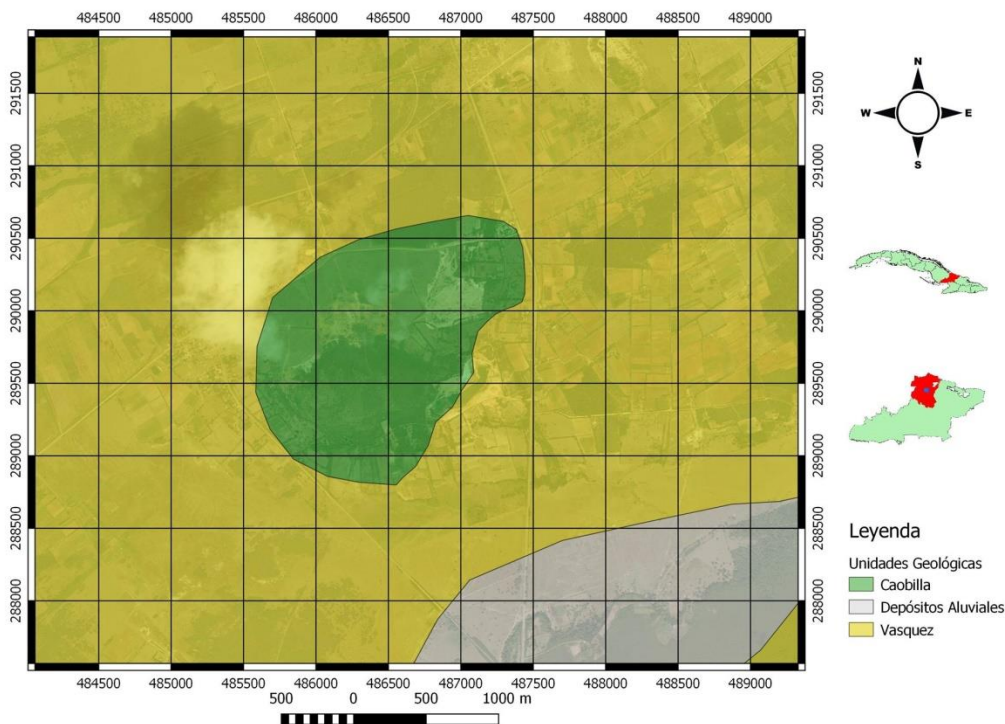
La vegetación del Municipio de Manatí es típica de sabana, aunque de forma local aparecen parches de intensa y frondosa vegetación, con árboles de gran tamaño, conjugándose a veces con un intenso desarrollo de marabú que en general es relativamente abundante, pero de poca altura, en las áreas bajas que bordean la bahía predominan los manglares, bosques sub-litorales y herbazales salinos costeros, más hacia el sur, a medida que aumenta la cota aparecen herbazales y matorrales sub-arbustivos de la costa arenosa y rocosa. En los valles de los ríos existen herbazales con aislados arbustos secundarios, mezclados con cultivos de caña de azúcar que predominan en toda el área (Espinosa Borges 2019).

### 1.1.6 Geología del yacimiento

Según consulta hecha al informe del levantamiento geológico a escala 1:250 000 de la antigua Provincia de Oriente (realizado por la Academia de Ciencias de Cuba) el área perspectiva está enmarcada en la zona estructuro facial Auras y Tunas en

menor grado, ambas por la cuenca superpuesta de la margen norte. El límite entre estas dos zonas está determinado por fracturas de carácter regional. En el área a investigar están presentes en general litologías de origen vulcanógeno-sedimentario, sedimentario o ígneo. En la región las rocas ígneas están representadas por intrusivos ácidos, granodioritas y dioritas de tipo abisales.

Las rocas del yacimiento Dumañuecos pertenecen a las series inferiores y superiores del arco volcánico del Aptiano-Campaniano, las cuales están representadas por el complejo de las rocas efusivas de composición intermedia y básica (Hevia Delgado y ONRM 1983). Una característica típica de esta región es la presencia de intrusiones ácidas de granitos (Martín Cortés, Theodoro Hennies y Valenzuela Diaz 2005). En los alrededores de las rocas intrusivas se observan formaciones sedimentarias y vulcanógeno-sedimentarias del Mioceno. En esta área se desarrolla la formación Caobilla (Figura 4), que está constituida por una secuencia vulcanógeno-sedimentaria donde predominan las variedades ácidas (dacita, riodacita y riolita) calcoalcalinas, las variedades medias incluyen andesitas (IGP 2013). Las rocas de esta unidad varían desde andesíticas hasta riolíticas con pocos representantes más básicos y predominio de las dacitas (Milian, I et al. 2001). Como regla, presenta intensa alteración hidrotermal metasomática, sinvolcánica y vinculada al contacto del intrusivo. Durante los años de explotación se demostró que se trata de una faja de riolitas alteradas por soluciones hidrotermales (Espinosa-Borges et al. 2022).

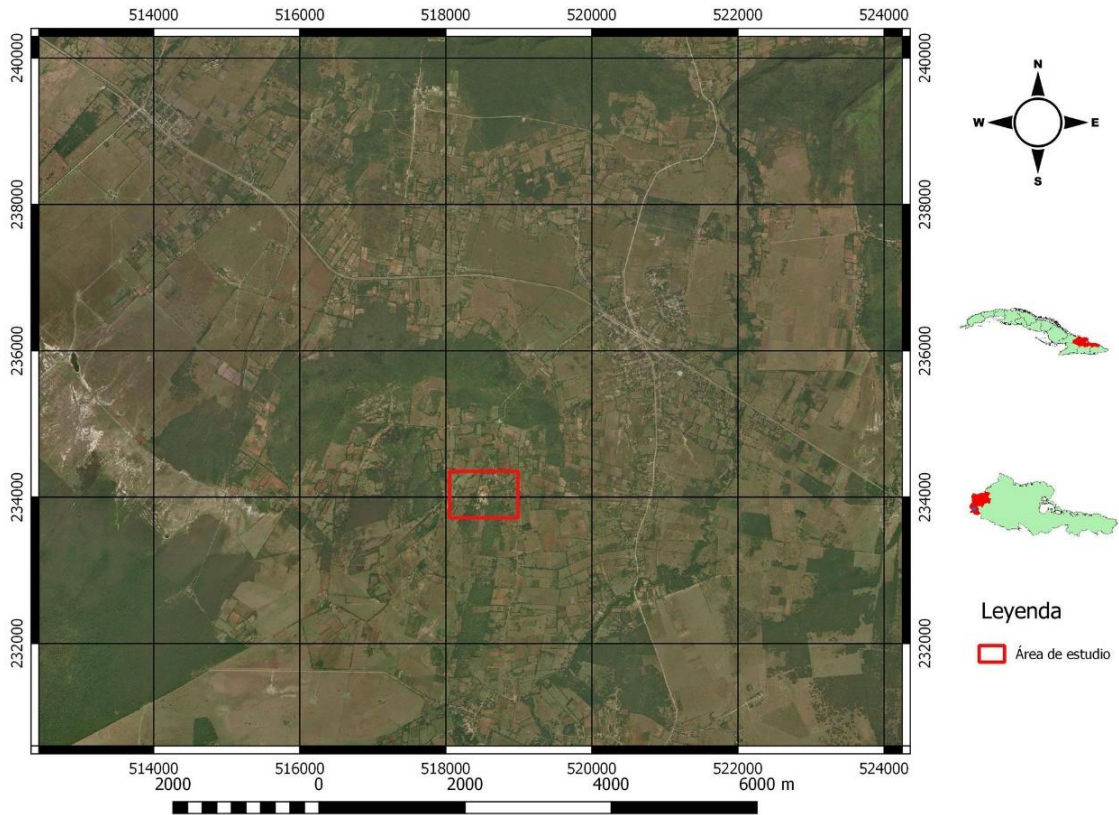


**Figura 4.** Esquema geológico del Yacimiento Dumañuecos a escala 1: 500. Generado con transparencia sobre imagen satelital.

## 1.2 Manifestación Mir

### 1.2.1 Situación geográfica

El área de estudio se encuentra en el poblado Mir, consejo popular del municipio Calixto García, provincia Holguín. Se trata de una cantera de préstamo ubicada a 3 km al suroeste del poblado de Mir, en el municipio de Calixto García (Figura 5). Se accede a la cantera por un terraplén en buen estado. La cantera actualmente se encuentra abandonada, aunque esta reportada en el inventario del Servicio Geológico como una manifestación de caolín y punto de mineralización de oro epitermal. Al tratarse de una manifestación, los datos publicados acerca de la constitución del área y específicamente de la manifestación en sí, es muy pobre.



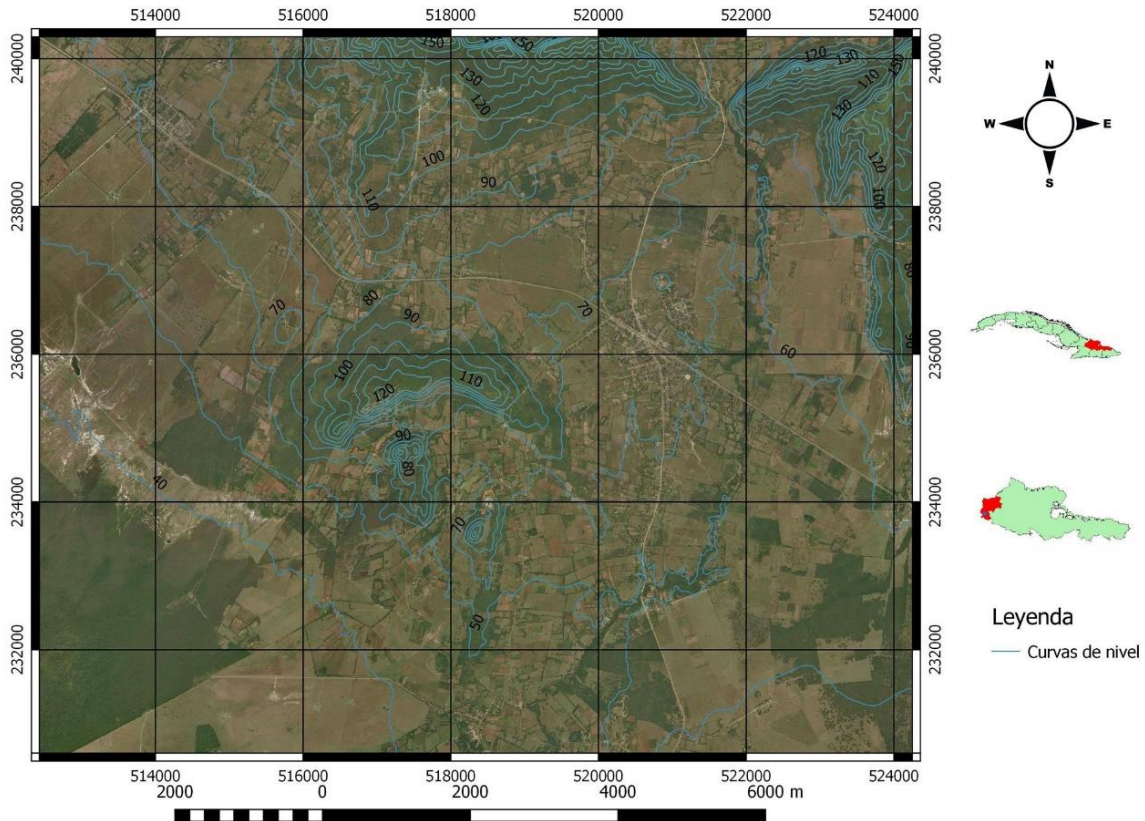
**Figura 5:** Imagen satelital y esquema de ubicación de la manifestación Mir

### 1.2.2 Relieve

Esta región producto a fenómenos geológicos, quedó expuesta durante el levantamiento tectónico, entrando en acción los agentes erosivos, quedando solo algunas alturas aisladas, formadas por rocas más resistentes a estos procesos erosivos.

La zona de estudio la vamos a encontrar enmarcada dentro del Peniplano Florida-Camagüey-Tunas, el relieve de esta región es suave, siendo llano para la parte sur, con cotas que varían entre 60 y 70msnm, en la parte norte encontramos elevaciones cuyas cotas varían entre 170 y 190msnm (Hidalgo Suárez et al. 2022).

En la zona veremos que las elevaciones son de ejes alargados, orientados de Noroeste a Suroeste y en su parte más elevada son aplanados (Figura 6).



**Figura 6:** Esquema de curvas de nivel de la manifestación Mir. Las curvas han sido generadas sobre el modelo digital del terreno sobre la propia imagen satelital.

### 1.2.3. Clima

Podemos afirmar que el clima es uno de los componentes del complejo natural, que ejerce mayor influencia sobre los demás, ya que actúa sobre el relieve, las aguas, las plantas, los animales y el hombre. El clima es un agente modificador de las características del relieve y uno de los factores más importantes en la formación de los suelos, determinando en gran medida el régimen de los ríos, lagos y aguas subterráneas, además de la vegetación, el tipo de vida animal y el hombre se van a desarrollar de acuerdo a las condiciones climáticas existentes. Las características climáticas de una región determinada surgen como resultado de las variaciones meteorológicas que actúan en la atmosfera en íntima relación con los factores climáticos.

En los estudios hidrogeológicos es un factor de mucha importancia, producto de que sus principales elementos como los son: temperatura, evaporación, vientos y precipitaciones, tienen una gran influencia en el comportamiento de las aguas subterráneas. En la zona de estudio el clima es tropical de sabana con un verano caluroso y húmedo y un invierno templado y seco sobre el cual va a tener influencia el relieve que se presenta en forma de extensas llanuras con pequeñas y escasas elevaciones (Velazquez Claro 1986).

### **1.2.3 Red hidrográfica**

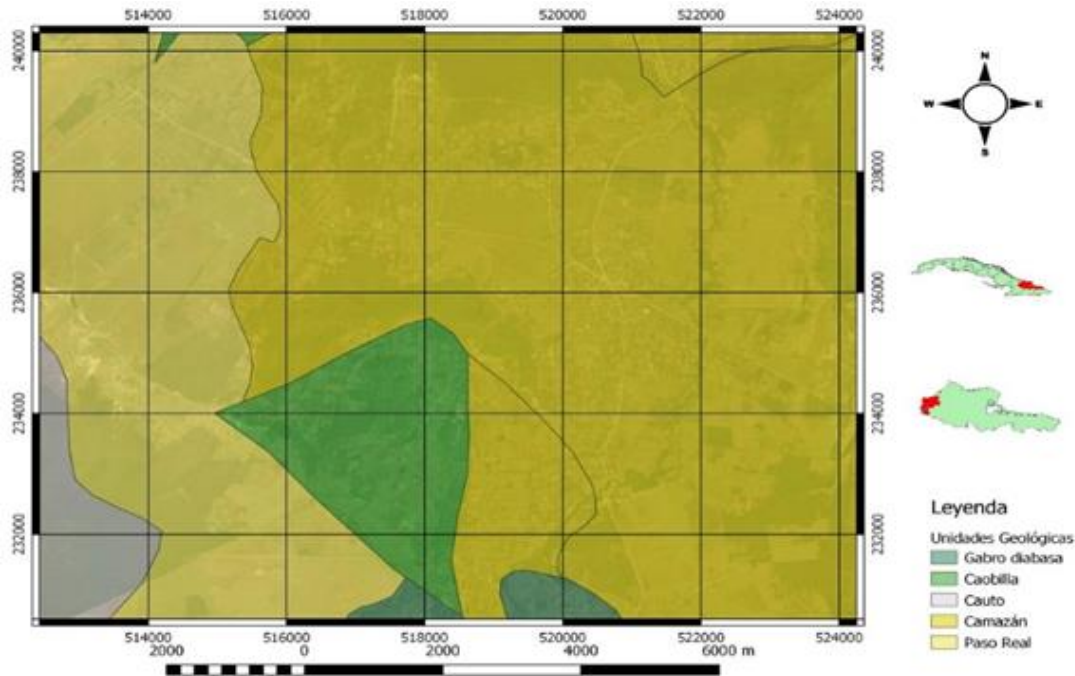
El desarrollo de la red hidrográfica se encuentra en función particularmente de la naturaleza de los terrenos, esta es tanto más desarrollada y compleja cuanto más impermeables son los suelos y el subsuelo. En la región en general existen pocos cursos fluviales, los cuales corren en dirección Norte-Sur, influencia de la topografía regional, la mayor unidad hidráulica de la zona es el Río Colorado, el cual es la vía principal de drenaje teniendo a su vez un número reducido de afluentes, tales como el arroyo Calabaza y otros arroyuelos sin nombre. Específicamente en la zona de estudio no hay evidencias de que exista ningún curso fluvial (Velazquez Claro 1986).

### **1.2.4 Vegetación**

En el área de estudio la vegetación es escasa, existiendo algunos bosques aislados, predominando en su mayoría las plantaciones de caña de azúcar, el resto del área se encuentra cubierta por vegetación de sabana y algunas zonas de pastos, así como algunas parcelas cultivadas de frutos menores.

### **1.2.5 Geología del área de la manifestación**

La geología del área de estudio está representada por las formaciones Caobilla, Cauto, Camazán y Paso Real. La columna geocronológica de las rocas representadas por estas formaciones va desde el cretácico superior al cuaternario. La geología de área se presenta compleja como se puede observar en el esquema de la (Figura 7). Coexisten diferentes unidades de naturaleza sedimentaria en contacto con intrusiones básicas (complejos de gabros diabasas).



**Figura 7.** Esquema geológico de la manifestación Mir escala 1: 2000. Generado con transparencia sobre imagen satelital.

**Formación Caobilla:** Secuencia vulcanógena donde predominan las variedades ácidas (dacitas, riodacitas y las ultramafitas) calcoalcalinas, con cierta tendencia a la alcalinidad sódica. Ocasionalmente entre las dacitas se encuentran traquidacitas. Las variedades medias incluyen andesitas de amplia difusión lateral y vertical, pero son poco significativas con respecto al volumen de la unidad. Además, el corte presenta tobas aglomeráticas de composición andesito-dacítica y calizas de granos de talla media.

**Formación Cauto:** Arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados polimícticos, con estratificación horizontal y cruzada, predominando la horizontal. Coloración gris, gris pardusca y amarillo grisáceo. Las arenas son de grano fino hasta grano grueso. Generalmente están las seleccionadas y casi siempre contienen arcillas. El porcentaje de arcillas es variable y puede alcanzar hasta un 80%-90%. Estas arenas forman capas que casi siempre contienen gránulos, cuyo diámetro puede variar entre 0.5cm hasta 2-3cm. Su material es vulcanógeno y, menos frecuente, de calizas y jesperoides.

**Formación Camazán:** Calizas coralino-algáceas (biolititas), calizas biodetríticas, a veces arcillosas, formando capas de 15 a 30 cm de espesor, con macroforaminíferos, apreciables a simple vista; calcarenitas, calciruditas, limolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas. Coloración variable, amarillo, crema, marrón y gris.

**Formación Paso real:** Son característicos en ella los cambios litológicos abruptos, tanto vertical como lateralmente. Predominan las calizas y margas, que se alternan. Las calizas arcillosas, biodetríticas arcillosas y, mas subordinadamente, calizas biohémicas, calizas dolomitizadas, dolomitas y calcarenitas. Por desegregación, las calizas arcillosas originan pseudoconglomerados calcáreos de matriz margoso-arenácea. En general, son masivas. Las margas, al igual que las calizas, son fosilíferas. Aparecen intercalaciones de areniscas y limolitas calcáreas y arcillas (principalmente esmectita) que en algunos horizontes contienen pirita, yeso, halita y lignito. En el área tipo se observa, en la base, un conglomerado polimíctico de matriz margosa, fosilífera. La estratificación está enmarcada en los cambios litológicos y es frecuentemente lenticular. Predominan los colores crema, blancuzco y grisáceo en los horizontes carbonáticos y grisáceos, así como verdoso y terrígeno.



## **CAPÍTULO 2: MATERIALES, MÉTODOS Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS**

### **2.1. Introducción**

En el presente capítulo se hace un recuento de los materiales y métodos utilizados para la realización de este trabajo investigativo, el cual estuvo dividido en cuatro partes o etapas fundamentales (Figura 8). En la primera fase de los trabajos se realizó una revisión bibliográfica de todos los materiales recopilados existentes hasta el momento que guardan relación con la investigación en que nos encontramos envueltos. La segunda fase se dedica a la documentación y la selección de muestras para analizar. En la tercera parte se seleccionaron y prepararon las muestras a las que posteriormente realizaríamos los ensayos de laboratorio para la obtención de la data geoquímica, mineralógica y petrográfica. En el laboratorio se realizó Análisis Térmico Diferencial, Difracción de Rayos X, Rayos X Diferenciales, Fluorescencia de Rayos X con el objetivo de llegar a comprender la variabilidad en el quimismo y las reacciones ocurridas en cada una de las muestras y así culminar con una interpretación mediante el análisis y los resultados, con las semejanzas y diferencias entre nuestros casos de estudio pertenecientes a la misma formación.



**Figura 8.** Etapas de la investigación

## **2.2. Trabajos de campo y muestreos**

La revisión bibliográfica previa permitió establecer que existen arcillas caoliníticas formadas por alteración hidrotermal de distintos niveles de rocas ácidas. Esta revisión permitió diseñar los recorridos divididos en 2 marcha rutas o salidas al campo, uno en el depósito de Mir y otro en el yacimiento Dumañuecos permitiendo recorrer de esta manera el área en que se desarrollan los trabajos. En ambos casos se procedió a la toma de muestras mediante surcos, elaborándose finalmente de muestras compósito bajo la técnica de homogeneización y cuarteo, para garantizar la representatividad de las muestras tomadas. Es importante aclarar que en Dumañuecos se realizó el muestreo en la zona baja o la zona de la mineralización principal por tanto el material muestreado procede de una veta principal y en Mir solo se logró muestrear la parte apical.

### **2.2.1. Yacimiento Dumañuecos.**

El depósito Dumañuecos es conocido por haber tenido en su momento las reservas de mayor calidad de caolín del país. La particularidad de este yacimiento es que la reserva de caolín primario está agotada, sin embargo, existen inmensas

acumulaciones que poseen reservas de arcillas caoliníticas considerables. Se conoce que actualmente se extraen pequeños volúmenes para la producción de ladrillos por parte de la Empresa de Materiales de Construcción de las Tunas y los pobladores de la zona usan también estas arcillas para la producción de ladrillos de forma artesanal.

El criterio de muestreo no se rige por regularidades geológicas dado la naturaleza antrópica de las arcillas en el lugar. Se realizaron siete compositos de diferentes acumulaciones de material arcilloso, previendo el desarrollo local futuro que pudieran generar.

Las acumulaciones de arcillas se dividen en dos grupos:

Las ubicadas en la parte norte del depósito se caracterizan por presentar materiales arcillosos de elevada plasticidad, con una coloración gris pudiendo llegar a ser blancas, intercaladas con rocas del proceso de extracción y explotación minera en la zona.

Las acumulaciones de la parte sur se caracterizan por estar compuestas por arcillas caoliníticas que no se llegaron a explotar para cerámica fina, pero de una gran pureza en general. Se hace necesario acotar que para el muestreo y descripción se siguió el mismo procedimiento que para los depósitos naturales.

Está reportado en la literatura que se explotaron los cuerpos de caolín 1 y 2 del yacimiento quedando el cuerpo 3 sin destapar. No se prevé la explotación de este cuerpo, debido a los grandes volúmenes de destape que hay que extraer para iniciar su explotación, por lo que hasta el momento se considera no factible desde el punto de vista económico.

Se desarrolla en toda la zona una capa de suelo que posee baja plasticidad.

Dumañecos en décadas pasadas fue una cantera de caolín de alta pureza; en la actualidad los cortes in situ de arcilla son muy poco desarrollados en superficie. En el área se encuentran abundantes residuos de destape. La roca madre presenta una oxidación intensa. Las rocas poseen un marcado olor a azufre. Se encuentran

pequeñas drusas con cristales de alto peso específico que parecen estar compuestas por sulfatos (celestina o barita).



**Figura 9.** Vista panorámica del yacimiento actual Dumañuecos

La antigua mina está inundada por casi 30 metros de agua.

Estas poseen una coloración azul verdosa y los pobladores de la zona refieren que el baño fue prohibido por contener las mismas concentraciones de metales pesados, entre ellos cobre (Figura 9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

#### **Punto 1:**

#### **Coordenadas:**

Latitud: 21° 16' 7,389''

Longitud: -76° 57' 28,4064''

#### **Descripción:**

Se identificó un material arcilloso de una coloración blanca, granulometría fina y muy deleznable, con bajo grado de compactación y una gran plasticidad al entrar en contacto con agua, este pertenecía al rechazo de la cantera de explotación. Sobre este depósito se observan fragmentos de la roca madre que presentan un alto grado

de oxidación. En el área cercana se observaron rocas oxidadas, con sulfuros visibles (pirita, calcopirita) y existe un sombrero de hierro bien desarrollado en las áreas adyacentes (Figura 10).



**Figura 10.** Arcillas caoliníticas blancas rodeadas por rocas ácidas oxidadas superficialmente

**Punto 2:**

**Coordenadas:**

Latitud: 21° 16´ 5,2386´´

Longitud: -76° 57´ 26,84731´´

**Descripción**

Se identificó un material de residual arcilloso con una coloración gris parda, que tiene abundantes fragmentos de roca de coloración rojiza, con dimensiones entre 1 a 5 cm de diámetro y fragmentos de roca de coloración blanca con dimensiones entre 1 a 7 cm de diámetro. Este material se comporta plástico al entrar en contacto con agua, es muy deleznable y muestra una granulometría fina característica de los materiales arcillosos. Son cortes de hasta 10 m de altura que demuestran un acarreamiento acentuado originado por la exposición a los agentes climáticos y en la parte superior se desarrolla un suelo incipiente con un pobre desarrollo de la vegetación (Figura 11).



**Figura 11.** Detalle del surco de muestreo en escombrera

**Punto 3:**

Coordenadas:

Latitud: 21° 16' 1,96538''

Longitud: -76° 57' 27,06186''

En este punto se tomó la tercera muestra compósito, en él se identificó un material arcilloso de una de las depósitos arcillosos del yacimiento Dumañuecos con una

coloración pardusca rojiza probablemente por la presencia de un alto contenido de hierro. Se encontró un gran número de fragmentos de roca de coloración predominantemente oscura y con dimensiones muy variables. Este material se comporta plástico al entrar en contacto con agua, es muy deleznable y muestra una granulometría fina, encajando esto con las características más comunes de los minerales del grupo de las arcillas. Se encuentran cortes de hasta 8 m de altura, que exhiben un acaravamiento acentuado originado por la exposición a los agentes atmosféricos y producto de la cual en la parte superior se ha desarrollado una capa de suelo de unos 15 cm de espesor propiciando el crecimiento de una capa vegetal poco madura (Figura 12).



**Figura 12.** Escombrera

En cuanto a Mir, cantera ubicada a 3 km al suroeste del poblado del mismo nombre, consultando los trabajos realizados por Hidalgo Suarez 2022 donde se realizaron muestreos para la selección del material arcilloso mediante el método de surco, para la posterior elaboración de muestras compósito garantizando una mayor homogeneidad del material estudiado.

Actualmente se encuentra abandonada, aunque esta reportada en el inventario del Servicio Geológico como una manifestación de caolín y punto de mineralización de oro epitermal.

**Pozo 1:**

**Coordenadas:**

Latitud: 21° 16´ 0,05546´´

Longitud: -76° 57´ 37,26216´´

**Descripción:**

Se intentaron realizar 4 perforaciones manuales (Figura 13), en todos los casos la roca de basamento apareció antes de los 40 cm. El suelo de es de color pardo gris claro. Encima se desarrolla una capa de gramíneas, cuyas raíces apenas profundizan los 5 cm. La plasticidad es pobre comparada con el material de las escombreras y como se ha indicado es de poca potencia. Solo aflora en el área de escombreras norte. En todo caso se documentó y muestreó este material y se elaboró un compósito con todas las muestras de las perforaciones.

Se tomó la muestra compósito 4 conformado por los pozos 1, 2, 3 y 4.



**Figura 13:** Perforación pozo 1



### 2.2.2. Manifestación Mir

Se realizó una marcha ruta en la cual se determinaron dos puntos principales a los cuales se les realizó la toma de muestras. En el punto 1 (Figura 14) se documentaron fragmentos de rocas volcánicas alteradas y caolinitizadas en algunos sectores. De elevado peso específico no se observan cristales, su textura es criptocristalina. Las rocas son de coloración blanca grisácea hasta rojas de oxidación. Se observaron ocasionalmente sulfuros de brillo metálico de coloración dorada a manera de drusas botroidales, probablemente calcopirita y una pátina coloreada de diversas tonalidades, probablemente bornita.



**Figura 14.** Rocas volcánicas alteradas y caolinitizadas

En el punto 2 (Figura 15) se encontraron rocas ácidas (riolitas) alteradas de una manera tan acentuada que prácticamente la caolinitización ha sido total, pero manteniéndose la pseudoforma de la roca original. La alteración es consistente con caolinita, de alta pureza, de color blanca intensa, con tacto sedoso, plástica al contacto con el agua y muy soluble. El corte no tiene más de cuatro metros cuadrados. de superficie aflorable y resalta a manera de alteración dentro de la roca no alterada.



**Figura 15.** Rocas caolitizadas en Mir. A) Detalle del afloramiento, B) Afloramiento filoneano.

## 2.3. Preparación de las muestras y realización de los ensayos

### 2.3.1. Preparación de las muestras

Las muestras fueron preparadas en el laboratorio físico del Instituto de Tecnología de Karlsruhe (Figura 16). Una vez desempacados fueron depositados en bandejas plásticas y secados a temperatura ambiente.



**Figura 16.** Paquete de Muestras

### 2.3.2. Preparación para Difracción de Rayos X y Rayos X Diferenciales

Las muestras para Difracción de Rayos X se dividieron en dos grupos (Figura 17), las primeras fueron secadas a 40°C durante doce horas, luego fueron molidas en un molino de anillos en húmedo (Figura 18), usando 15mL de isopropanol y la segunda serie fue tratada a 105°C, para lograr un mejor secado de las muestras sin llegar a comprometer la composición mineralógica.



**Figura 17.** Cuarteo en bandejas



**Figura 18.** Molino de anillos

Las muestras tratadas a 105°C, fueron molidas a mano en un mortero de ágata durante 15 minutos aproximadamente. Se usaron 15mL de isopropanol para la

molienda en húmedo, agregando 5mL cada 5 minutos. El resultado fue una pasta que luego se secó a 40°C por 12 horas (Figura 19).



**Figura 19.** Mufla con ventilación interna y mortero de ágata

Al tratarse de arcillas se decidió hacer preparaciones texturales especiales para análisis de la fracción arcillosa (DRXD). En este caso las muestras ya molidas y previamente secadas fueron colocadas en tubo de ensayo (4-5 g) donde se les agregó una mezcla de agua con amoníaco al 10 %. Luego fueron introducidas en una máquina de ultrasonido por 15 minutos. Pasado ese tiempo, se dejaron en reposo durante una hora para luego volver a ser sometidas a 15 minutos de ultrasonido (Figura 20). Luego de este procedimiento, la fracción limo arcillosa, permanece en suspensión y la fracción no arcillosa va al fondo. La reacción con el azufre provocó que la fracción limo arcillosa fuera al fondo muy rápidamente, así que las muestras fueron pipeteadas a los dos minutos y no se les dejó una hora de reposo.



**Figura 20.** Máquina de ultrasonido y muestras en disolución con rápido asentamiento de la fracción no arcillosa



**Figura 21.** Diferentes series texturales

Se prepararon tres series para análisis textural (Figura 21), la primera se colocó en placas de vidrio y se le permitió reposar durante 12 horas sin tratamiento alguno. Se nombró a esta serie T. La segunda fue tratada a 60°C en atmósfera de glicol por 24 horas (serie Q) y la tercera fue sometida a una temperatura de 550 °C durante 24 horas (serie B). El análisis de la combinación de estas tres series de tratamientos permite la identificación y cuantificación de los minerales arcillosos presentes en las diferentes muestras.

## 2.4. Métodos de análisis

### 2.4.1. Difracción de Rayos X y Rayos X Diferenciales

Las diferentes series para análisis de la fracción arcillosa, así como las series originales en un equipo Bruker con las siguientes condiciones: radiación  $\text{CuK}\alpha$  y una rejilla de divergencia de  $0,5^\circ$ . Las muestras fueron analizadas entre los  $0$  y los  $80^\circ$  ( $2\theta$ ), a un paso angular de  $0,008^\circ$  y un tiempo por paso de 30 segundos (Figura 22).



**Figura 22.** Muestras para la Difracción de Rayos X

Se utilizó el software HighScore Plus, con base de datos de 2015 y PD2 complementaria, utilizando primero, subrutinas programadas y luego información obtenida del Manual de Difracción de Rayos X del Servicio Geológico de los Estados Unidos, así como fichas disponibles en la base de datos [www.mindat.org](http://www.mindat.org).

### 2.4.2. Fluorescencia de Rayos X

Las muestras para FRX se secaron a  $40^\circ\text{C}$ , luego se pulverizaron en el molino de anillos. Se tomaron 2 g de muestra previamente homogenizada y cuarteada, y se calcinaron durante 2 horas a una temperatura de  $950^\circ\text{C}$ . La ceniza resultante, fue colocada para su enfriamiento en una desecadora de vidrio. El método usado fue el de la perla fundida.

Las muestras para Carbono-Azufre fueron secadas a  $40^\circ\text{C}$  y posteriormente molidas en el molino de anillos. Hay que destacar que en cada de una de las preparaciones, se garantizó el adecuado cuarteo y homogenización de las muestras para garantizar en el marco permitido la representatividad de los análisis.

### **2.4.3. Análisis Térmico Diferencial**

Las muestras previamente molidas y secadas a 105°C fueron analizadas en un equipo NETZ 5CH para Análisis térmico simultáneo, modelo STA 409. El intervalo de temperatura ambiente hasta 1000°C, a razón de 10°C/min. Se utilizó atmosfera sintética de oxígeno.

### **2.4.4. Preparación de las muestras para petrografía**

Las secciones delgadas se acondicionaron en el Laboratorio de laminaciones del Instituto de Geología de la UNAM. Para el análisis petrográfico de las muestras se empleó un microscopio Primotech, de la marca Karl Zeiss, con cuatro aumentos (5x, 10x, 50x y 60x). Se observaron con luz polarizada. Para la interpretación de las secciones delgadas se utilizaron los rasgos texturales de las rocas.

## **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

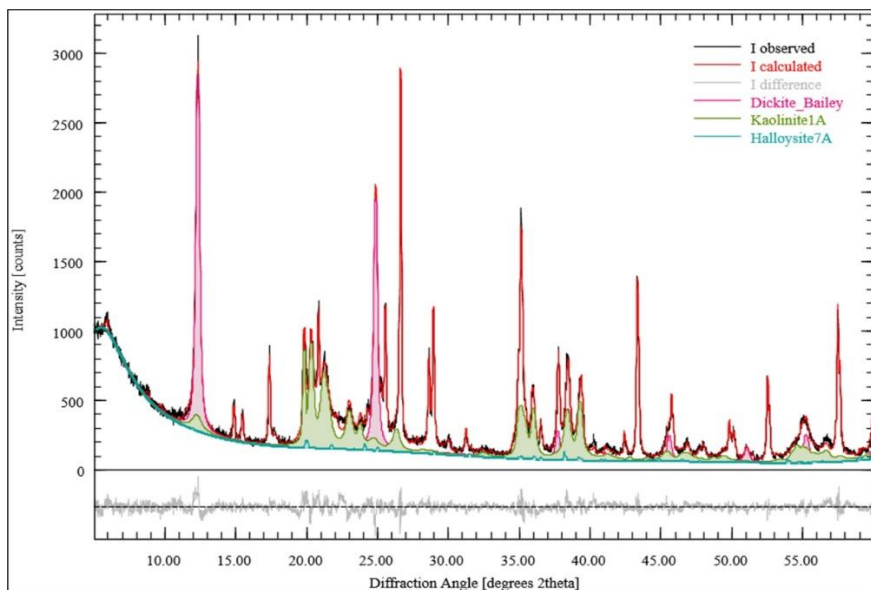
### **3.1. Introducción**

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos durante la investigación. La caracterización de estos depósitos está fundamentada en las características geoquímicas, mineralógicas y petrológicas identificadas en el laboratorio. Se establecen las relaciones geológicas presentes entre ambos depósitos teniendo en cuenta su génesis común.

### **3.2. Características mineralógicas de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir**

Desde el punto de vista mineralógico se subdividieron los minerales por clases (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), observándose que los minerales del grupo de la caolinita son menores en Dumañuecos que en Mir y eso explicaría las cantidades minerales portadores de alúmina existentes en Mir y en Dumañuecos. En Dumañuecos hay presencia de otros minerales arcillosos, como son el caso del Grupo de las Illitas y el grupo de la montmorillonitas que no aparecen en Mir y también existen otros aluminosilicatos como las micas que en caso de Mir son cantidades considerables. Dumañuecos cuenta con una mayor presencia de sulfatos relacionados con la presencia de jarosita y alunita en lo fundamental, mientras que en Mir no ocurre así y solo aparece la natroalunita y yeso. En Dumañuecos aparecen carbonatos y en Mir aparecen fases metaestables de la calcita justificados con la presencia de vaterita que significa que ha ocurrido un ambiente con exceso de sulfato, estamos hablando de un ambiente de sulfuración baja cercano a la superficie.

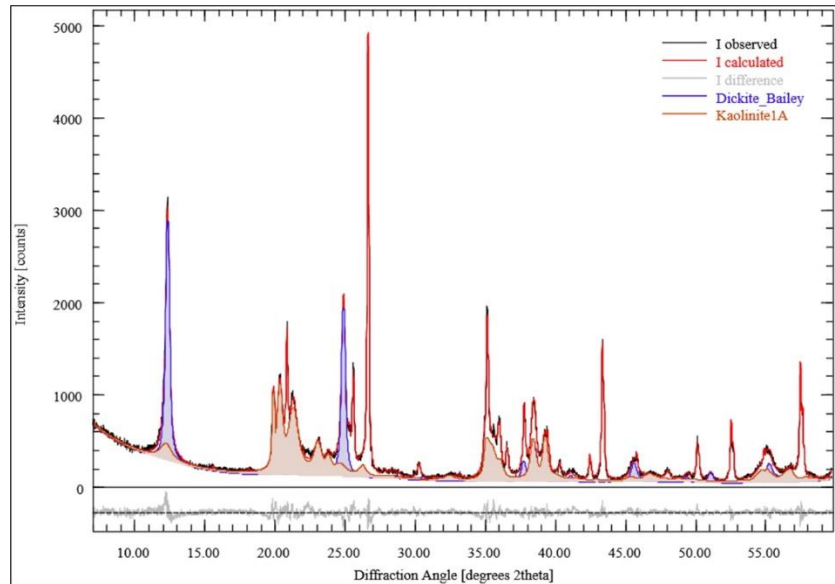




**Figura 23.** Fases minerales identificadas en el Yacimiento Dumañuecos

Fases Minerales	Valor (% en peso)	Desviación estándar
Anatasa	0.9	0.1
Cristobalita	0.7	0.1
Dickita	20.1	2.7
Hematita	0.3	0.0
Jarosita	8.5	0.2
Illita	6.4	0.5
Caolinita	41.4	1.5
Montmorillonita	1.5	0.3
Cuarzo	8.1	0.3
Sanidina	0.8	0.2
Pirofilita	1.7	0.4
Halloysita	0.7	0.2
Yeso	0.6	0.2
Amorfo	8.7	2.9
Total	100.3	

**Tabla 1.** Fases minerales y desviación estándar del Yacimiento Dumañuecos



**Figura 24.** Fases minerrales identificadas en el Depósito Mir

Fases Minerales	Valor (% en peso)	Desviación estándar
Albita	0.7	0.1
Anatasa	1.3	0.1
Cristobalita	1.5	0.2
Dickita	18.2	1.1
Hematita	0.4	0.1
Caolinita	46.0	1.5
Moscovita	1.2	0.2
Natroalunita	2.2	0.1
Quarzo	15.4	0.4
Zeolita	2.0	0.2
Vaterita	0.2	0.1
Amorfo	11.0	1.9
Total	100.0	

**Tabla 2.** Fasees minerales y desviacion estandar en el Depósito Mir

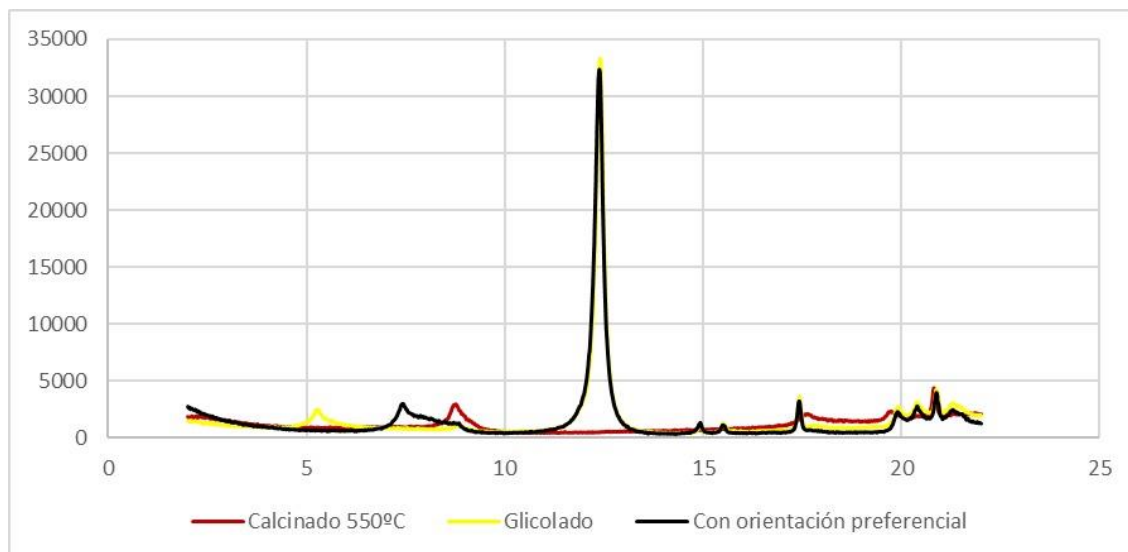
Se prestó especial atención a la composición mineralógica de las fases arcillosas, para lo cual se realizaron preparaciones con orientación preferencial de cristales,

calentamiento en atmosfera de glicol y calcinación a 550°C, esto último para hacer colapsar los picos de los minerales del grupo caolinita. La combinación de estas preparaciones permite hacer presiones en las paragénesis de la fase arcillosa. Los datos que tenemos en cuenta son valores difractométricos.

### **Yacimiento Dumañuecos**

El análisis de la fracción arcillosa permitió establecer la presencia de fases minerales del grupo caolinita, con reflejos fuertes entre los 7,11 y 7,19 Å, se determinaron picos específicos para caolinita a los 4,13 y 3,58 Å y 4,36 y 4,13 para la nacrita (Figura 25). Todos estos reflejos colapsan a 550°C. Las illitas dan reflejos típicos en la zona de los 10 Å que persisten luego del tratamiento térmico, y son apenas apreciables con el tratamiento con glicol. Se identificó además un reflejo intenso a los 3,35 típico del grupo de la illita. Los picos a 10,07 y 4,49 permiten hacer una diferenciación dentro del grupo de las micas para la moscovita.

Por otro lado, se observan reflejos alrededor de los 11 Å, que se mueven a los 16,78 bajo los efectos de la atmosfera de glicol, atribuibles a la montmorillonita. Fue posible encontrar reflejos cercanos a los principales de la montmorillonita a 5,08, 2,73 y 3,07 Å, se asume una estructura desordenada. La cuantificación arrojó como resultados caolinita (52 %), nacrita (30 %) illita (5 %), moscovita (10 %) y montmorillonita (3 %). Los valores referidos constan como valores difractométricos.



**Figura 25.** Resultados del análisis DRX de Dumañecos

### Manifestación Mir

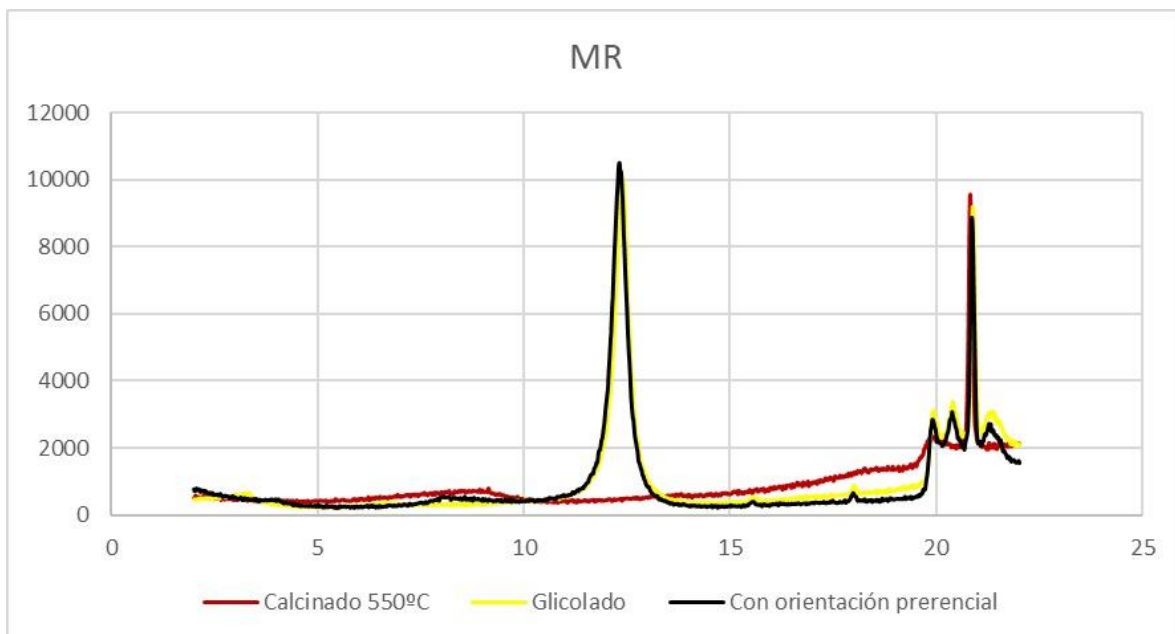
El análisis por difracción de Rayos X permitió establecer la presencia de caolinita y dickita, predominando la primera. Con un ruido de fondo bajo y picos estrechos se puede asumir una buena cristalinidad en las muestras de arcilla. La Figura 26 muestra el difractograma de la muestra compósito analizada con representación de fases arcillosas. Se realizó la caracterización mineralógica de las arcillas caoliníticas del depósito Mir, permitiendo establecer la paragénesis constituida por caolinita, dickita y cuarzo como minerales fundamentales y albita, hematita y moscovita como minerales secundarios.

En Mir el rasgo más evidente, es el colapso del grupo caolinita una vez calcinada la muestra alrededor de los  $7.28 \text{ \AA}$ . Así mismo ocurren una serie de picos alrededor de los  $4.28 \text{ \AA}$  relacionados con la presencia de micas, probablemente varios polimorfos.

Se trata de arcillas de origen hidrotermal, en condiciones de mineralización epitermal de baja sulfuración perteneciente a la fase argílica avanzada. El muestreo de Mir, se basó en el acceso limitado a los cuerpos de caolinita, por lo que solo se tomaron muestras de las zonas apicales, expuestas a los agentes de intemperismo.

Los colores abigarrados se deben a la presencia de anatasa y hematita. El feldespatos predominante es la albita.

Las soluciones hidrotermales propiciaron la sustitución de potasio por sodio dando como resultado la formación de natroalunita. La variación de pH y el decrecimiento de temperaturas propicia la aparición de la vaterita que aparece como fase metaestable y polimorfa de la calcita, que se estabiliza en presencia de sulfatos en el sistema. La formación de zeolita puede estar relacionada por el reemplazo hidrotermal del vidrio volcánico. Se pudo determinar la presencia de moscovita, al parecer aun sin fenómenos de ilitización.



**Figura 26.** Resultados del análisis DRX de Mir

### **3.3. Características químicas de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir**

#### **Yacimiento Dumañuecos**

El análisis de los resultados químicos permitió establecer que la tendencia a la pérdida de masa por deshidroxilación es alta en las arcillas del yacimiento Dumañuecos, por los altos contenidos de minerales del grupo de la caolinita concentrados en estas. El contenido de óxido de calcio no se pudo determinar, por

estar por debajo del límite de detección del equipo, estas arcillas se originaron por la alteración de rocas ácidas e intermedias (Hevia Delgado y ONRM 1983; Espinosa-Borges et al. 2022).

Los valores de óxido de hierro son bajos y el potasio es elevado en comparación a los valores de sodio que son bajos, esto se debe a la presencia de feldespatos potásicos provenientes de las riolitas a partir de las que se formaron las arcillas originales (Espinosa-Borges et al. 2022; Hevia Delgado y ONRM 1983). Se determinaron valores relativamente altos de titanio y bajos contenidos de magnesio y manganeso que son característicos de las rocas ácidas e intermedias.

Los valores de sílice son altos, están influenciados con la presencia de tobas y andesitas que se desarrollan en el área y fueron afectadas por los procesos hidrotermales teniendo una pequeña contribución en la generación de dichas arcillas (Hevia Delgado y ONRM 1983; Haslar 1971; Martín Cortés, Guillermo Ruperto; Theodoro Hennies, Wildor; Valenzuela Díaz et al. 2005). El contenido de alúmina es alto, esto está explicado por la abundancia de fases arcillosas caoliníticas y la presencia de micas, este contenido de aluminio es característico en rocas peraluminicas.

Durante la determinación de los contenidos de  $SO_3$  son relativamente altas y se asocian, según el reporte mineralógico, con la presencia de jarosita relacionada con el desarrollo de procesos supergénicos en el depósito.

Por los contenidos químicos identificados se puede decir que las rocas a partir de las cuales se formaron las arcillas del Yacimiento Dumañuecos pertenecen a la serie calcoalcalina (Iturralde-Vinent 1998; Iturralde Vinent 1996; Milian, Inés et al. 2001; Colectivo de Autores 2013), donde son muy frecuentes las riolitas y andesitas (Espinosa-Borges et al. 2022; Batista 2011) y que sufrieron procesos de alteración hidrotermal (Haslar 1971; Brace et al. 1996; Hevia Delgado y ONRM 1983; Martín Cortés et al. 2004) (Ver Tabla 3)

**Tabla 3.** Composición química promedio del Yacimiento Dumañuecos.

Composición	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	LOI
DM	45,78	1,13	27,83	4,30	0,36	0,01	0,05	1,19	ND	3,60	15,71

### **Manifestación Mir**

En el caso de la manifestación Mir se pudo evidenciar una tendencia a la pérdida de masa por deshidroxilación en menor grado que la manifestada en el Yacimiento Dumañuecos esto puede estar relacionado con la menor exposición a los agentes de intemperismo que pueden llegar a oxidar en menor parte o con menor grado el paquete rocoso, esto justifica que ocurra reacciones de este tipo de forma más moderada aunque el grado de deshidroxilación alcanzado puede tener su justificación en las altas concentraciones de minerales del grupo de la caolinita que encontramos en la roca. Los contenidos de óxido de calcio son ínfimos dado que estamos hablando de rocas originadas por alteración de rocas ácidas e intermedias (Hevia Delgado y ONRM 1983; Espinosa-Borges et al. 2022) y que están relacionadas con la presencia de ciertos feldespatos calcoalcalinos.

Los contenidos de hierro son lo suficientemente bajos en comparación con los manifestados en el Yacimiento Dumañuecos como para seguir corroborando y justificando la hipótesis de que estas rocas se formaron en un ambiente más reductor y mucho más alejado de la superficie. Los contenidos de potasio son relativamente bajos con respecto a los contenidos de sodio, esto estaría indicándonos la tendencia a la alcalinidad sódica y por consecuencia a feldespatos más sódicos que potásicos de las arcillas de la manifestación, la relación de los álcalis presenta un predominio del sodio sobre el potasio determinando su influenciada por el predominio de la albita sobre los feldespatos potásicos. Las soluciones hidrotermales propiciaron además la sustitución de potasio por sodio dando como resultado la formación de natroalunita.

Dejando claro que lo se logrado muestrear en Mir pertenece a la parte apical, con respecto al foco magmático donde ocurre una transición sódica de tipo argílica avanzada por estar un poco más alejado del mismo.

Se determinaron valores comparativamente altos de titanio y bajos contenidos de magnesio, el manganeso con contenidos ínfimos siendo indetectables por el equipo utilizado en el análisis que son característicos de las rocas ácidas e intermedias.

Los valores de sílice son lo suficientemente altos, como para inferir que están influenciados por la presencia de tobas y andesitas que fueron afectadas por los procesos hidrotermales contribuyendo en la generación de arcillas caoliníticas. La alúmina contenida en las muestras es alta, lo que justifica la abundancia de fases arcillosas caoliníticas con la presencia de micas, este contenido de aluminio es característico en rocas peralumínicas.

La presencia de calcio está relacionada con ciertos feldespatos calcoalcalinos. Los contenidos de  $SO_3$  son bajos y están asociados a la baja sulfuración, relacionados con la presencia de la natroalunita. (Ver Tabla 4).

Por los contenidos químicos identificados podemos decir que la composición determinada, es consistente con lo referido en la geología del área. Se trata de arcillas de origen hidrotermal, en condiciones de mineralización epitermal de baja sulfuración perteneciente a la fase argílica avanzada (Hidalgo Suárez et al. 2022).

La tendencia dentro de la alteración caolinítica en el depósito Mir es a una mayor concentración del sodio con respecto al potasio, por la transición de los feldespatos a un mayor contenido de sodio típica de la generación de una alteración argílica avanzada en sistemas hidrotermales propiciada por una mayor lejanía al foco magmático. En cambio en Dumañuecos la relación del potasio es mayor que la del sodio por el desarrollo de una alteración propilítica, lo que denota una mayor cercanía al foco magmático en sistemas hidrotermales. Esto está condicionado por el proceso de muestreo donde en Mir solo se pudo acceder a las zonas apicales en cambio en Dumañuecos se muestreo en el cuerpo primario de caolín.

En Dumañuecos hay menor tendencia a la sílice que en Mir, por tanto la manifestación Mir es más ácida que Dumañuecos, en cuanto a alúmina aunque en Dumañuecos hay mayor composición de arcillas hay menos alúmina, mientras que Mir tiende a ser un poco más alto en contenidos de alúmina, quedando justificado



porque en Mir hay más arcillas son puramente caoliníticas y en Dumañuecos junto con las arcillas coexisten grandes cantidades de facies y no todas aportan aluminio.

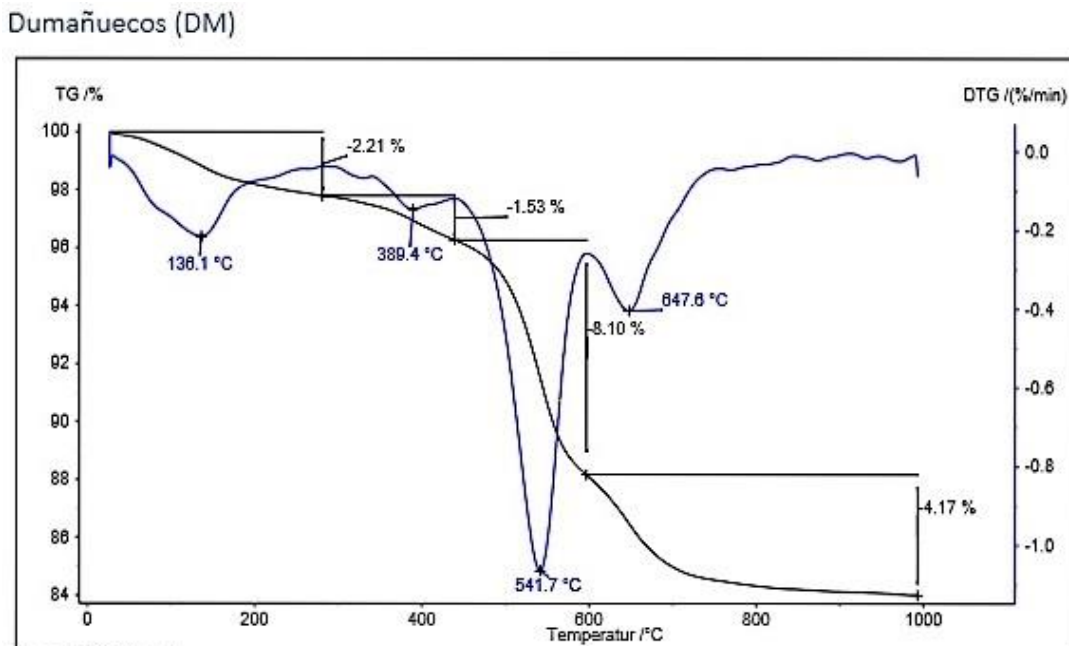
**Tabla 4.** Composición química promedio del depósito Mir.

Composición	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	LOI
MR	53,62	1.12	29,36	0,38	0,31	0,00	0,94	0,27	0,16	0.47	11,39

### 3.4. Resultados del análisis térmico diferencial de la alteración caolinítica del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir

#### Yacimiento Dumañuecos

En la muestra de arcillas caoliníticas del yacimiento Dumañuecos la pérdida de masa esta segmentada en cuatro intervalos fundamentales. Hasta los 200°C se pierde el agua estructural de los minerales arcillosos y micáceos. Entre los 250 y 400°C se observa una ligera pérdida de masa asociada a la descomposición de la jarosita, que se intensifica entre los 450 a 750°C producto de la descomposición conjunta del grupo caolinita e illita. El pico 541°C probablemente este asociado a la descomposición de la caolinita y el pico 647 a la montmorillonita (Figura 27).

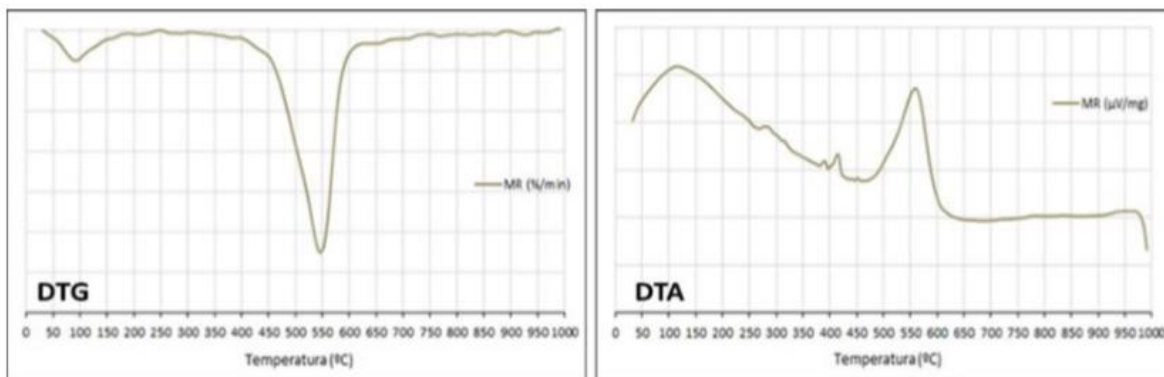


**Figura 27.** Resultado del Análisis Térmico Diferencial

## Manifestación Mir

Los análisis termogravimétricos (DTG) permiten establecer que alrededor de los 100 °C existe un valor de pérdida de masa correspondiente a la pérdida del agua no estructural. El segundo pico ubicado alrededor de los 550 °C se debe a la deshidroxilación de la caolinita y su paso a meta-caolinita amorfa.

En la curva de análisis térmico diferencial (DTA) se observa un pico a partir de los 50 °C que alcanza un máximo alrededor de los 100 °C y se extiende aproximadamente hasta los 250 °C, este se relaciona con la pérdida del agua no estructural. El pico a 400 °C representa la descomposición de las impurezas como los óxidos de hierro, en este caso la hematita. El pico a 550 °C se debe a la transformación de la caolinita en meta-caolinita amorfa y su completa deshidroxilación (Figura 28).



**Figura 28.** Curvas DTG y DTA mostrando las principales reacciones.

### 3.5. Análisis petrográfico de las rocas del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir

En los sistemas hidrotermales (sistemas primarios) hay que hacer dos diferenciaciones consecuentes con los dos subtipos genéticos. Para las rocas analizadas procedentes de Dumañuecos (DM) y Mir (MR) se pudo observar que tratan de rocas volcánicas, con similitud a las riolitas descritas en la literatura, pero evidentemente sometidas a importantes procesos de alteración hidrotermal.

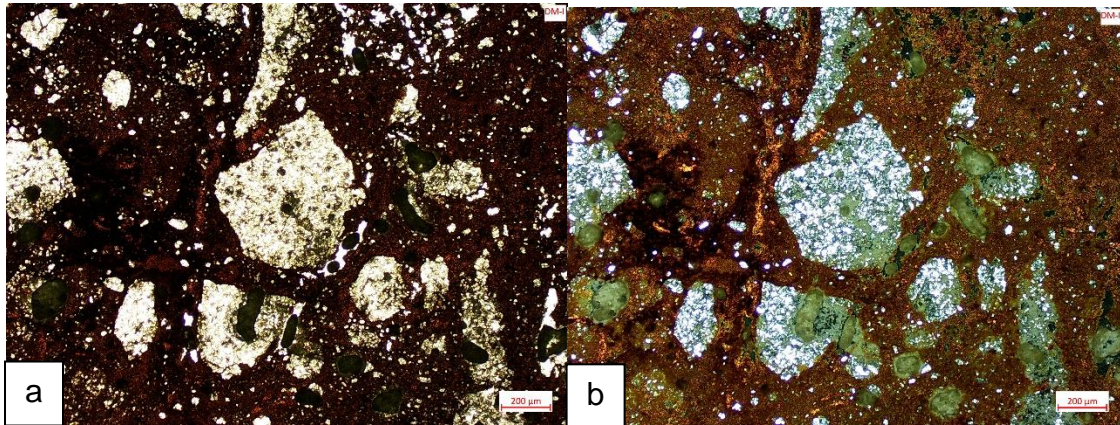
## **Yacimiento Dumañuecos**

### Muestra DM-1

La muestra DM-1 microscópicamente presenta una coloración rojiza predominantemente, por la intensa oxidación a la que han estado sometidas por el contacto de la roca primaria con los agentes de intemperismo y afectadas por la meteorización, probablemente hematita. Seguidamente predominan coloraciones claras en la gama del gris llegando al blanco, relacionados con una gran abundancia de minerales félsicos. Subordinadamente aparecen minerales de coloraciones oscuras con tonalidades marrones llegando al negro relacionados con la presencia de menas metálicas.

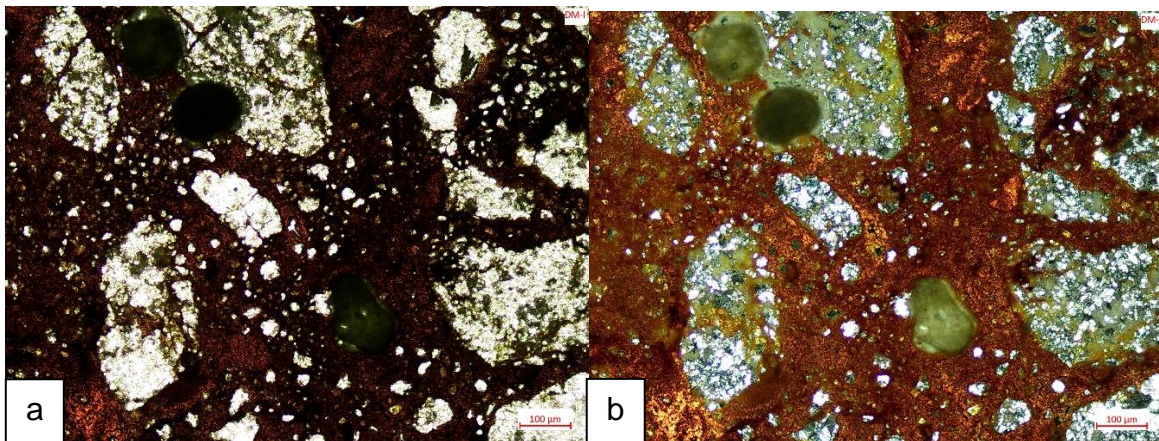
La roca se encuentra muy fracturada probablemente por la acción tectónica en el área, lo que propició la cataclastización de la roca original. Esto se ve reflejado en la alta angulosidad los porfidoclastos, generados con diferentes dimensiones, llegando a presentar formas de subangulares a angulares. Las grietas posibilitaron el ascenso de los fluidos calientes desde el intrusivo que alteraron a la roca original y se encuentran rellenas de material criptocristalino de coloración oscura (Figura 29).

La textura de esta roca es cataclástica, lo que es propio de rocas que han sufrido dinamometamorfismo. Los cristales presentes en la muestra tienen tamaños variados llegando a ser criptocristalinos y no están foliados. Estos están representados principalmente por cristales de cuarzo subhédricos, con cara identificables y bordes redondeados por la acción de los fluidos hidrotermales. Estos cristales proceden de la roca original, que por la abundancia de este mineral fue una roca volcánica de composición ácida, riolita. Predominan los cristales cuarzo policristalino y dentro de estos se han desarrollado numerosas inclusiones de feldespatos.



**Figura 29:** Fotografía de la sección delgada de la muestra DM-I, a) sin polarizador se observan los fenocristales de feldespato potásico formando una brecha. b) con polarizador se observan las maclas del feldespato ortosa. Aumento de 10x

La matriz representa más del 50% de la muestra y está representada principalmente por óxidos de hierro y en menor medida cristales criptocristalinos de minerales félsicos. Aparecen algunos cristales de feldespatos (ortosa) dentro de una matriz muy fina y aparecen fenocristales tabulares relecticos zonados de colación gris oscura (combinación de texturas afanítica y porfídica de la roca original). Es abundante el cuarzo secundario, de grano fino, distribuido en la pasta. En esta roca hay una gran cantidad de menas metálicas con variados grados de oxidación, que por su ambiente de formación debe de estar relacionada con sulfuros metálicos (Figura 30).



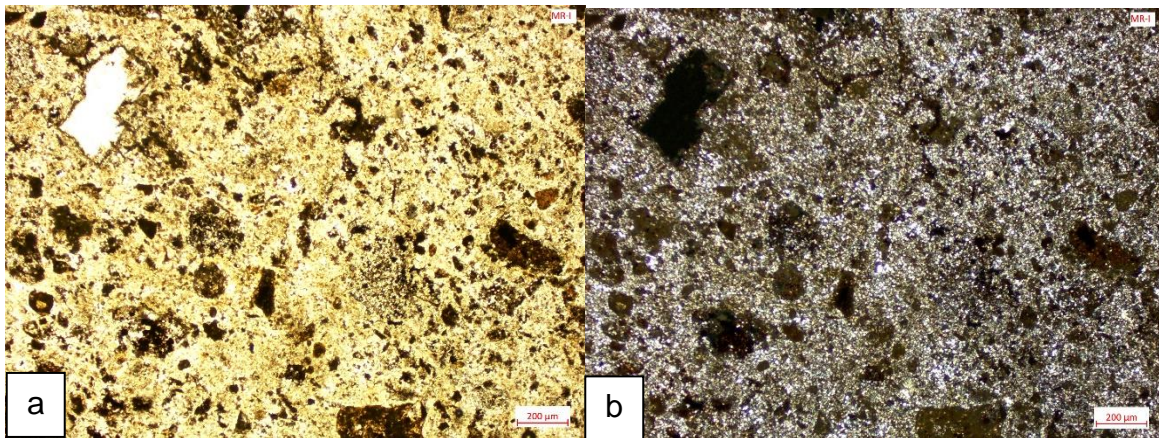
**Figura 30:** Fotografía de la sección delgada de la muestra DM-I, a) sin polarizador se observan fragmentos de cuarzo policristalino en una matriz muy oxidada. b) con polarizador se observan inclusiones de feldespatos. Aumento de 5x

Por las características texturales identificadas la roca es una cataclasita, con un protolito muy ácido probablemente una lava riolítica que fue afectada posteriormente por la acción de fluidos hidrotermales. Por la morfología del yacimiento, aparentemente, este se puede clasificar como un domo subvolcánico riolítico.

## Manifestación Mir

### Muestra MR-1

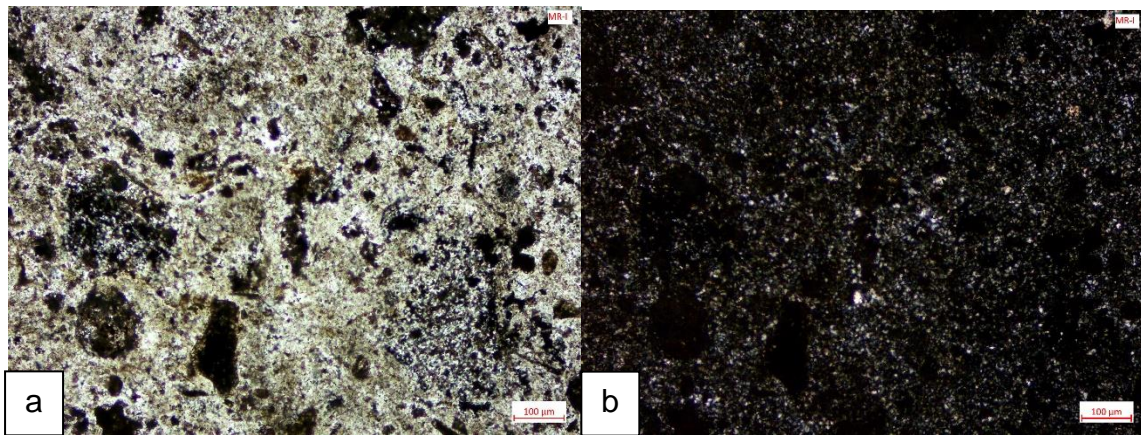
En el caso de MR se procesaron muestras de la roca madre con cierto grado de caolinitización, por el desarrollo de transformaciones metasomáticas de la roca primaria al entrar en contacto con los fluidos calientes que ascendieron por las fracturas de las rocas.



**Figura 31:** Fotografía de la sección delgada de la muestra MR-I. a) Sin polarizador se observa la combinación de estructura afanítica con porfídica, caótica, con abundancia de vidrio volcánico. b) Con polarizador se observan los colores de interferencia bajos y las maclas de la ortosa. Aumento de 10x.

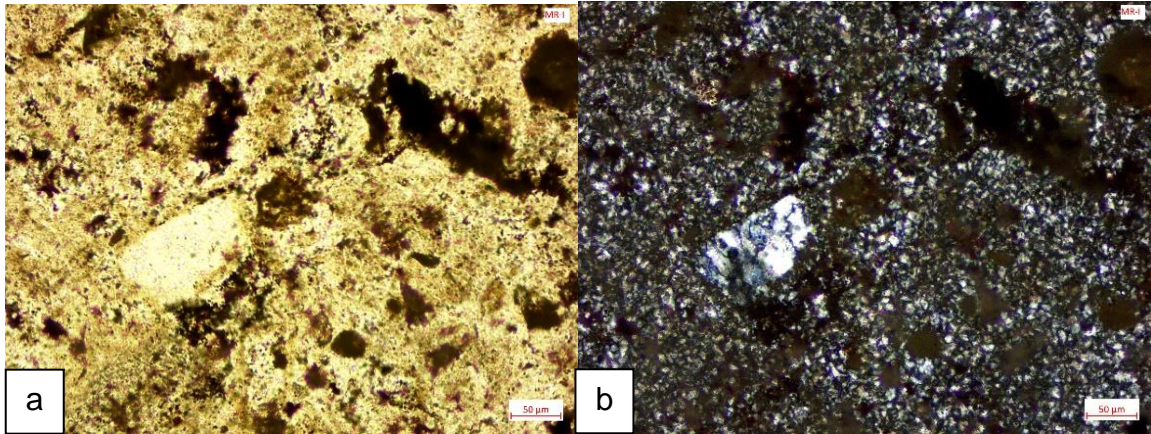
En la muestra MR-I (Figura 31) se observan fenocristales tabulares de feldespatos en una matriz cristalina, con una pobre definición de los granos, superficies de aspecto sucio y bajos colores de interferencia. Se observan granos subhedrales de

feldespato potásico a manera de fenocristales con los bordes poco definidos y destruidos en algunos casos, relacionados con el grado de intemperismo. Los granos presentan bordes redondeados, como evidencia de los procesos de disolución a los que fueron sometido al entrar en contacto con el agua y quedando estructuras esqueléticas (Figura 32).



**Figura 32:** Fotografía de la sección delgada de la muestra MR-I. a) Sin polarizador se observa fenocristales de feldespatos en matriz con abundante vidrio volcánico. b) Con polarizador se observan los colores de interferencia bajos de los fenocristales de feldespatos. Aumento de 5x

Los granos de cuarzo se presentan principalmente dentro de la matriz, con tamaños criptocristalinos, con una superficie más clara, sin relieve y con un tamaño de partícula fino. Aparecen granos relícticos de cuarzo policristalino con caras aun visibles, pero es notoria la presencia de bordes parcialmente disueltos (Figura 33).



**Figura 33:** Fotografía de la sección delgada de la muestra MR-I. a) Sin polarizador se observa un cristal de cuarzo dentro de una matriz de cristales muy finos y alterados. b) Con polarizador se observa cristal de cuarzo policristalino en matriz de cristales de cuarzo de y feldespatos criptocristalinos. Aumento de 50X.

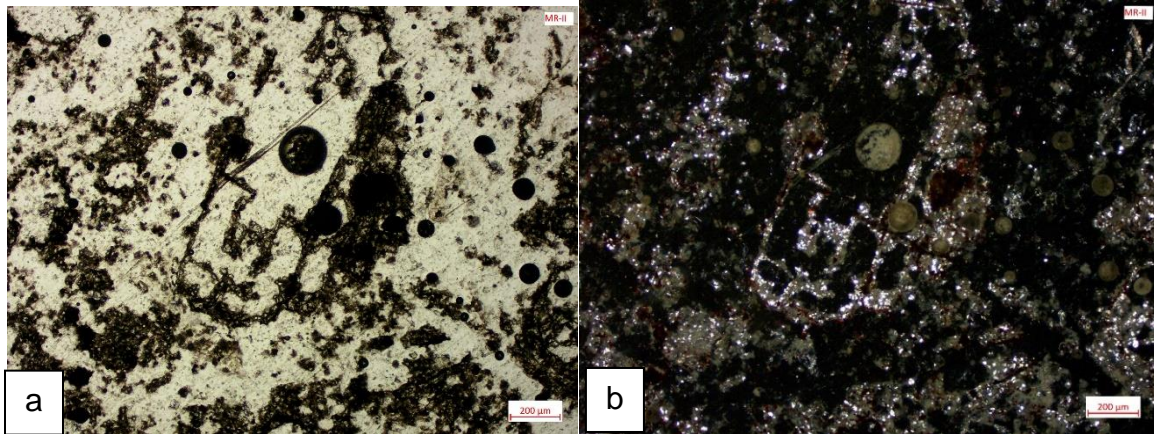
Se observan fragmentos de roca, constituidos por feldespatos potásicos, probablemente ortosa por el maclado que presenta coincidente con las de Carlsbad. La roca presenta un aspecto caótico con presencia de vidrio volcánico y menas metálicas. Aparecen zonas con una marcada coloración rojiza, relacionada con el desarrollo de una oxidación incipiente por el desarrollo de la meteorización.

Por las características que presenta esta roca originalmente se formó por el enfriamiento muy cerca de la superficie de una lava de composición riolítica con abundantes fenocristales de feldespato potásico. El enfriamiento de esta lava fue rápido lo que permitió el desarrollo de material amorfo, representado por vidrio volcánico. Posteriormente estas rocas fueron sometidas a procesos de fracturación, por donde posteriormente se infiltrarían los fluidos que mediante el metasomatismo de los feldespatos produjo alteraciones a caolinita.

### Muestra MR-2

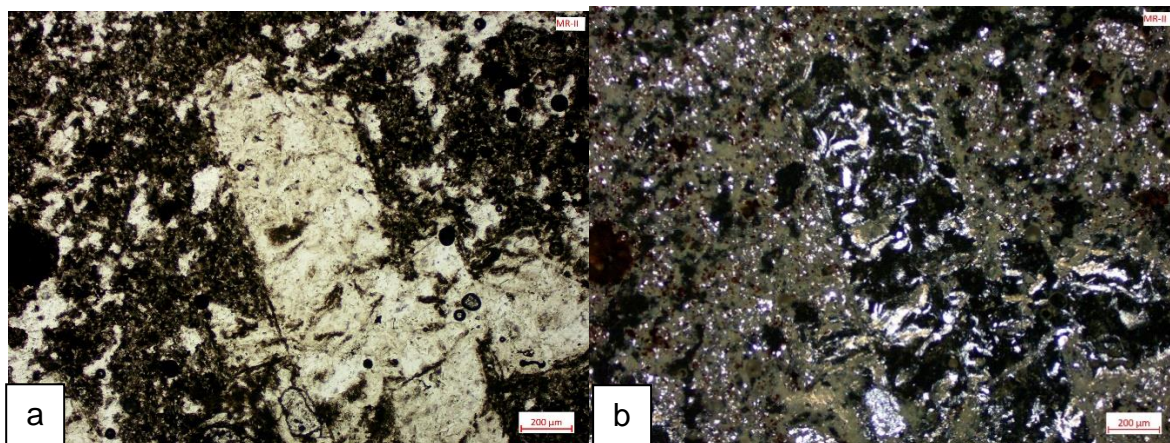
La muestra MR-II se tomó de la zona de enriquecimiento secundario del depósito. En esta predomina una coloración oscura relacionada con un contenido abundante vidrio volcánico y mena metálica. Se aprecian fenocristales subhédricos de feldespatos con bordes redondeados por la disolución y con abundantes micro

fracturas. Dentro de las microfrazas se evidencian procesos de recristalización a partir de los cuales se rellenaron de minerales. Se han desarrollado inclusiones fluidas esféricas (Figura 34).



**Figura 34:** Fotografía de la sección delgada de la muestra MR-II. a) Sin polarizador se observa fenocristal de sanidina fracturado y el desarrollo de inclusiones. b) Con polarizador se observa la oxidación dentro de la muestra. Aumento de 10x

El cuarzo se presenta principalmente en forma de cristales secundarios llegando a ser criptocristalinas y predominan dentro de la matriz. Se encuentran fenocristales de cuarzo que se presentan individualmente.





**Figura 35:** Fotografía de la sección delgada de la muestra MR-II. a) Sin polarizador se observa fenocristal de sanidina. b) Con polarizador se observan los colores de interferencia elevados de la caolinita que aparece a manera de alteración. Aumento de 10x

La muestra MR-II presenta fenocristales de feldespato, probablemente sanidina, aislados con formas tabulares, con una superficie de aspecto sucio, relacionado con una fuerte caolinitización. La caolinitización se presenta en forma fibrosa, con elevados colores de interferencia y siempre asociados a los cristales de sanidina. Esta fuerte alteración de los feldespatos, por la posición en el depósito y las diferencias con la muestra MR-I está relacionada principalmente, con los procesos supergénicos (Figura 35).

### **3.6. Relaciones geológicas y genéticas del Yacimiento Dumañuecos y la manifestación Mir.**

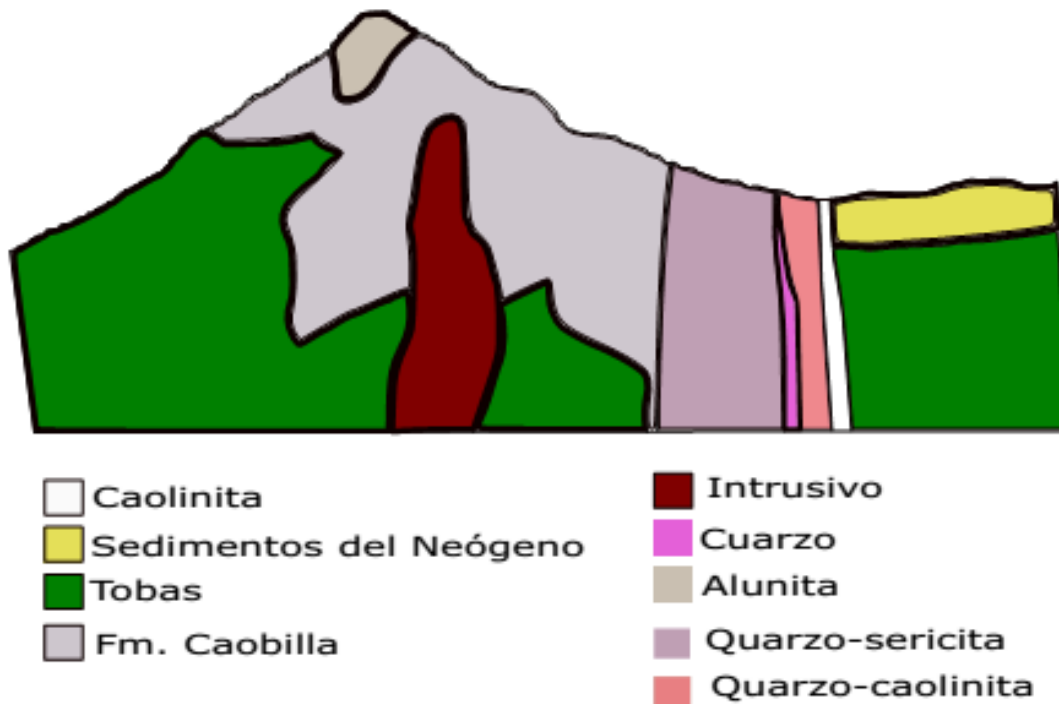
#### **Yacimiento Dumañuecos**

En particular el yacimiento de caolín Dumañuecos se ha formado por transformaciones de riolitas y parcialmente por las transformaciones de rocas tipo andesitas y tobas. La transformación de riolita en caolín fue causada por procesos post-magmáticos. La meteorización ha originado arcillas coloreadas (presencia de hematita y anatasa), pero no ha sido tan intensa como para eliminar de dichas arcillas su contenido de hierro. Por la forma de los cuerpos minerales (Figura 36), se trata de una antigua estructura volcánica con zonas tectónicas anulares, posiblemente una caldera (Escobar Loret de Mola 2018). Sin embargo, por las características de la estructura y la textura porfídica de la roca original, se puede clasificar como un domo subvolcánico riolítico.

En el caso de Dumañuecos la zona muestreada coincide con el frente de explotación, y se logró acceder a unas de las vetas principales de caolín primario constituido en lo fundamental por caolinita, dickita, halloysita y montmorillonita. El proceso hidrotermal favoreció la transición a sanidina, como feldespato predominante dentro de la solución de feldespatos alcalinos, probablemente por reacciones de cambio de base, con variaciones de temperatura y pH que propiciaron

la formación de alunita en primera instancia y jarosita y yeso en las zonas más supergénicas, con una importante cantidad de agua que favoreció la formación de pirofilita.

La ilitización acompaña a la formación de las arcillas atribuible a la meteorización de los feldespatos primarios o a la propia alteración térmica de estos. El cuarzo es resistente a la alteración hidrotermal y no es afectado hasta temperaturas de 300°C, pero hay evidencias de recristalización del cuarzo a mayores temperaturas, en este caso coexisten cuarzos de bajas temperaturas con cristobalita. Es un yacimiento primario, específicamente del tipo epitermal de baja sulfuración (Figura 36).



**Figura 36.** Perfil esquemático del Yacimiento Dumañuecos

### Manifestación Mir

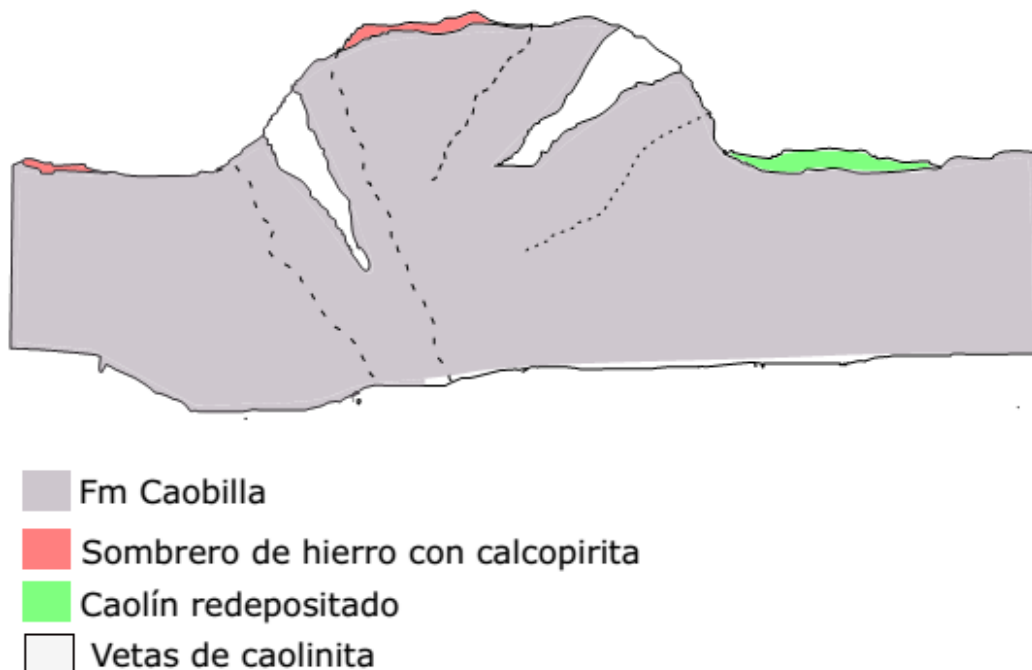
En el caso de Mir, solo se logró muestrear las zonas apicales de las vetas de caolín, expuestas a los agentes de intemperismo. Con base a esto se realizó un perfil esquemático que se muestra en la

Figura 37. Se trata de arcillas abigarradas (presencia de anatasa y hematita), con un mecanismo de formación similar al de Dumañuecos, en este caso el feldespato

predominante es albita, lo que sugiere que las temperaturas involucradas en estas vetas apicales fueron elevadas.

De esto se deduce que la cercanía al cuerpo magmático genera una transición dentro de la serie albita-sanidina. Los cuerpos de arcillas están compuestos en lo fundamental por caolinita y dickita. Las soluciones hidrotermales propiciaron la sustitución de potasio por sodio dando como resultado la formación de natroalunita. Una vez más la variación de pH y el decrecimiento de temperaturas propicia la aparición de la vaterita que aparece como fase metaestable y polimorfa de la calcita, que se estabiliza en presencia de sulfatos en el sistema. La formación de zeolita podría estar relacionada por el reemplazo hidrotermal del vidrio volcánico. Se pudo determinar la presencia de moscovita, al parecer aun sin fenómenos de ilitización.

Desde el punto de vista genético, se puede decir que la manifestación pertenece al ambiente primario de caolinitización específicamente epitermal de baja sulfuración (Figura 37).



**Figura 37.** Perfil esquemático de la manifestación Mir

Mientras que el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se correlaciona bien con el contenido de minerales arcillosos del grupo de las caolinitas, el resto de los macros y micro elementos tienen un comportamiento más heterogéneo, pero en general están de acuerdo con la composición mineralógica global.

Un factor distintivo de estos yacimientos arcillosos de origen hidrotermal es la presencia de minerales del tipo APS (Sulfatos y Fosfatos de Aluminio), especialmente en Dumañuecos.

## CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista geoquímico, la relación Si/Al es muy semejante en ambos depósitos, tratándose de alteraciones acidas, a partir de rocas de composición riolítica, con diferencias apreciables en el comportamiento de los álcalis, con transiciones de Na-Ca-K con respecto al foco magmático.
- La paragénesis identificadas en ambos depósitos corresponden a alteraciones relacionadas con procesos hidrotermales de baja sulfuración, en la fase argílica avanzada y está compuesta en lo fundamental por: caolinita, montmorillonita, nacrita, como fases principales y como fases acompañantes: illita, mica moscovita, halloysita, jarosita, alunita, hematita, cuarzo, y ortosa en el caso del Yacimiento Dumañuecos. Y en el caso Mir: caolinita, dickita, como fases principales y cuarzo, hematita, mica moscovita, vaterita, zeolita, natroalunita, yeso, anatasa, albita, sanidina.
- Existe similitud en cuanto a las rocas madres en Dumañuecos y Mir, relacionadas con lavas acidas de composición riolítica y texturas porfíricas. Es posible diferenciar que en Dumañuecos las rocas hidrotermales alteradas se mantienen relativamente frescas, mientras que en Mir la alteración supergénica ha sido importante. En ambos casos, las características de las muestras de rocas, corresponden con domos subvolcánicos riolíticos.

## **RECOMENDACIONES**

Profundizar en el las características genéticas y estructurales de la Manifestación Mir y del Yacimiento Dumañuecos.

Realizar trabajos de reconocimiento geológico para establecer los volúmenes de arcillas caoliníticas en el Deposito Mir.

Establecer las potencialidades para la industria de la cerámica blanca y la producción de cemento de bajo carbono de otras pequeñas manifestaciones de la formación Caobilla en la Región Centro Oriental de Cuba.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMENARES REYES, R.S., ALUJAS DÍAZ, A., BETANCOURT RODRÍGUEZ, S., LEYVA RODRÍGUEZ, C.A. y MARTIRENA HERNÁNDEZ, J.F., 2017. *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. S.I.: UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS.

ARIOSIA IZNAGA, J.D., 1984. *Curso de Yacimientos Minerales No Metálicos*. S.I.: s.n.

BATISTA, R., 2011. *Rocas y minerales industriales de la República de Cuba*. S.I.: s.n.

BRACE, T., BENHAM, W., PIMENTEL, H. y MOREL, R., 1996. Report of work on the Dumañuecos property, Camagüey area, East-Central Cuba. . S.I.:

BROCARD RIVERA, Y., 2011. *Evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica*. S.I.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez".

COLECTIVO DE AUTORES, 2013. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. 2013. S.I.: s.n.

CRUZ RAMÍREZ, Y., PÉREZ GARCÍA, L.A., ALMENARES REYES, R.S., POLANCO ALMAGUER, P.L. y ALUJAS DÍAZ, A., 2019. *Evaluación de las arcillas caoliníticas del depósito Cayo Guam para la producción de cemento de bajo carbono*. S.I.: UNIVERSIDAD DE MOA Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ.

DANA, [sin fecha]. *Manual de Mineralogía de Dana*. Tercera Ed. S.I.: s.n.

DÍAZ CÁRDENAS, YOSVANY; BETANCOURT, DANIA ; MARTIRENA, J.F., 2011. *Evaluación del uso del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos de cerámica roja*. S.I.: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

DUVERGER ESCOBAR, K., ALUJAS-DÍAZ, A. y PÉREZ GARCÍA, L.A., 2018. *REACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE LOS PRODUCTOS DE CALCINACIÓN DE*

*LAS ARCILLAS DEL DEPÓSITO YAGUAJAY*. S.I.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

ECHEVARRIA, B. y TALAVERA CORONEL, F; TCHOUNEV, D; IANEV, S; TZANKOV, T., 1986. Petrografía y geoquímica de las vulcanitas de la región Guáimaro-Las Tunas. *Ciencias de la Tierra y del Espacio* 11/86, vol. 11, pp. 5.

ESCOBAR LORET DE MOLA, E., 2018. Características comunes de la mineralización aurífera en las provincias de Ciego de Avila, Camaguey y Las Tunas. *Anuario de la Sociedad Cubana de Geología*, no. 2310-0060, pp. 3-28.

ESPINOSA-BORGES, A.E., PÉREZ-GARCÍA, L.A., LEYVA-RODRÍGUEZ, C.A., CRUZ-RAMÍREZ, Y., COBAS-TORRES, R.Y., TORRES-LA ROSA, M. y AGUIRRE-GUILLOT, G., 2022. Análisis petrográfico y mineralógico de las rocas del yacimiento de arcillas caoliníticas Dumañuecos. *Minería y Geología*, vol. 38, no. 1993 8012, pp. 53-69.

ESPINOSA BORGES, A.E., 2019. *Evaluación de las arcillas caoliníticas de las escombreras del yacimiento Dumañuecos para la producción de cemento de bajo carbono*. S.I.: Universidad de Moa.

ESPINOSA BORGES, A.E., PÉREZ GARCÍA, L.A., LEYVA RODRÍGUEZ, C.A., ALMENARES REYES, R.S. y ALUJAS DÍAZ, A., 2019. *Evaluación de las arcillas caoliníticas de las escombreras del yacimiento Dumañuecos para la producción de cemento de bajo carbono*. S.I.: Universidad de Moa Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ.

FADEL, M., 2005. *Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

FERIA AVILA, H., 2004. Estudio de las variables climáticas de la provincia de Las Tunas. . Las Tunas:

HASLAR, O., 1971. Informe del viaje oficial Oriente en los días del 12 al 16 de mayo



de 1971. . S.I.:

HERRERA DEL SOL, D., 2018. *Evaluación de los tipos tecnológicos de arcillas del yacimiento Yaguajay, para la producción de cemento de bajo carbono LC3*. S.I.: Universidad Central Marta AbreuLas Villas.

HERRERA DEL SOL, D., ALUJAS DÍAZ, A. y PÉREZ GARCÍA, L.A., 2018. *Evaluación de los tipos tecnológicos de arcillas del yacimiento Yaguajay, para la producción de cemento de bajo carbono LC3*. S.I.: Universidad Central Marta AbreuLas Villas.

HEVIA DELGADO, L.F.L.F. y ONRM, 1983. Informe final de Exploración Complementaria en el yacimiento de caolín Dumañuecos. Prov. Las Tunas. . Las Tunas:

HIDALGO SUÁREZ, A., SÁNCHEZ, HERRERA, C.G., SERRANO ROMERO, A., CRUZ RAMÍREZ, Y., ESPINOSA BORGES, A.E., GARCÍA OBREGÓN, L., PEREIRA BÁEZ, M.J. y PÉREZ GARCÍA, L.A., 2019. Caracterización de procesos geológicos en el depósito de arcillas de Cayo Guam y su relación con la producción de cemento de bajo carbono. *Ciencia & Futuro*, vol. 9, no. N 2306-823X, pp. 19-31. ISSN 2306-823X.

HIDALGO SUÁREZ, A.E., PÉREZ GARCÍA, L.A., ESPINOSA BORGES, A.E., GARCÍA OBREGÓN, L. y HERRERA SÁNCHEZ, C.G., 2022. Evaluación de las arcillas caoliníticas de la manifestación Mir como material cementicio suplementario. *Ciencia & Futuro*, vol. 12, no. 2306-823X, pp. 1-16.

IGP, 2013. Léxico Estratigráfico de Cuba. En: SERVICIO GEOLÓGICO DE CUBA (ed.). Tercera Ed. La Habana: Servicio Geológico de Cuba.

ITURRALDE-VINENT, M.A., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta geológica hispánica*, vol. 33, no. 1, pp. 9-56.

ITURRALDE VINENT, M., 1996. *Ofiolitas y arcos Volcanicos de Cuba*. Miami: s.n. ISBN 9788578110796.

MARTÍN CORTÉS, GUILLERMO RUPERTO; THEODORO HENNIES, WILDOR; VALENZUELA DÍAZ, F.R., MARTÍN CORTÉS, G.R., THEODORO HENNIES, W. y VALENZUELA DIAZ, F.R., 2005. CONTRIBUTION TO A TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF KAOLINS FROM CUBA AND BRAZIL. *PTECH-2005 FIFTH INTERNATIONAL LATIN - AMERICAN CONFERENCE ON POWDER TECHNOLOGY OCTOBER 26 – 29 SALVADOR - BRAZIL*,

MARTÍN CORTÉS, G.R., KOZIEVITCH, V.F.J., XAVIER, ; C, HENNIES, ; W T, VALENZUELA DIAZ, ; F R y INSTITUIÇÕES, ), 2004. PROPRIEDADES CERÂMICAS DE CAULINS DA REPÚBLICA DE CUBA. PARTE III. CAULIM DUMAÑUECOS. *Congresso Brasileiro de Cerâmica*,

MARTÍN CORTÉS, G.R., THEODORO HENNIES, W. y VALENZUELA DIAZ, F.R., 2005. CONTRIBUTION TO A TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF KAOLINS FROM CUBA AND BRAZIL. ,

MILIAN, I., DÍAZ DE VILLALVILLA, L., PALACIOS, B., PÉREZ, M., MILIA, I., DE VILLALVILLA, L.D., PALACIOS, B. y PÉREZ, M., 2001. Características geológicas y mineralógicas de las rocas de la formación Caobilla. *IV Congreso de Geología y Minería*. S.l.: s.n., pp. 19-23. ISBN 959711710X.

MILIAN, I., DÍAZ DE VILLALVILLA, L.B., PÉREZ, M. y PALACIOS. BIENVENIDO, 2001. Características geoquímicas y minerológicas de las rocas de la Formación Caobilla. *IV CONGRESO DE GEOLOGIA Y MINERIA MINERALOGÍA, PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA MIPEGQ*, pp. 19-23.

NJILA, T. y DÍAZ-MARTÍNEZ, R., 2016. Estudio químico-mineralógico de los perfiles lateríticos ferrosialíticos en los sectores Téneme, Farallones y Cayo Guam en el noreste de Cuba. *Revista Geológica de América Central*, vol. 54, pp. 67-83. ISSN 0256-7024. DOI 10.15517/rgac.v54i0.21149.

OROZCO, G., 1995. *Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico*. ISMM. S.l.: Instituto Superior Minero Metalurgico de Mos.

- PONS, J.A. & LEYVA, C., 1996. Empleo de las arcillas ferrocaoliníticas – gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición. *Minería y Geología*, vol. 13, no. 3, pp. 93-97.
- ROMERO RAMÍREZ, Y., ALMENARES REYES, R.S. y LEYVA RODRÍGUEZ, C.A., 2014. *Caracterización de la actividad puzolánica de arcillas de la región de Cayo Guam para su utilización como material cementicio suplementario*. S.I.: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- TALAVERA CORONEL, F; ECHEVARRIA, B; TCHOUNEV, D; IANEV, S; TZANKOV, T., 1986. Características generales del vulcanismo en la región Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas( Cuba). *Ciencias de la Tierra y del Espacio* 11/86, pp. 25.
- VALDÉS, G.C., 1987. Proyecto de búsqueda detallada, exploración orientativa y detallada de caliza. Manatí, Provincia Las Tunas. . Moa:
- VALDÉS, G.C., 1987. *Proyecto de búsqueda detallada, exploración orientativa y detallada de caliza. Manatí, Provincia Las Tunas*. S.I.: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
- VELAZQUEZ CLARO, S., 1986. *Estudio hidrogeológico para abasto a la arenera y poblado de Buenaventura*. S.I.: Universidad de Moa.
- VERA LAZCANO, M.A., 2018. *Evaluación de la actividad puzolánica y comportamiento térmico de las arcillas del yacimiento Yaguajay como materia prima para la producción de cemento de bajo carbono*. S.I.: Universidad Central Marta AbreuLas Villas.
- ZAMORA, V.M., 2008. *Geoquímica de las aguas subterráneas de La Provincia de Las Tunas*. S.I.: s.n.