

# **Integración de herramientas SIG y sensores remotos para identificación de zonas con potencial para albergar depósitos de arcilla en Las Tunas**

## **Integrating GIS and remote sensing tools to identifying potential areas to host clay deposits in Las Tunas province**

Ariesky Martínez-Figueroa<sup>1\*</sup>, Petr Alexéyevich Ignátov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad Estatal Rusa de Prospección Geológica, Moscú, Rusia

\*Autor para la correspondencia: [arieski.mf@gmail.com](mailto:arieski.mf@gmail.com)

### **Resumen**

Se identificaron las áreas con potencial para albergar depósitos de arcillas en la provincia cubana de las Tunas, mediante la combinación de datos obtenidos por teledetección e información geológica integrada en el Sistema de Información Geográfica (SIG). Se utilizaron técnicas de mapeo geológico, de teledetección y modelado geoespacial. Los hallazgos revelaron una distribución heterogénea de zonas con moderadas, altas y muy altas potencialidades para albergar depósitos de arcillas en toda la región, con concentraciones significativas en los municipios Manatí, Tunas, Jobabo, Colombia y Amancio. La integración de datos obtenidos por teledetección y fuentes geológicas en un entorno SIG ha demostrado ser eficaz y viable para este tipo de análisis.

**Palabra clave:** análisis espacial, información geológica, potencial de arcillas, teledetección

### **Abstract**

Areas with potential to host clay deposits in Las Tunas province were identified by combining remote sensing data and geological information integrated in the Geographic Information System (GIS). Geological mapping, remote sensing and geospatial modeling techniques were used. The findings reveal a heterogeneous distribution of areas with moderate, high and very high potential to host clay deposits throughout the region, with significant concentrations in Manatí, Tunas, Jobabo, Colombia and Amancio municipalities. The integration of remotely sensed data and geological

sources in a GIS environment are effective and feasible for this type of analysis.

**Keywords:** spatial analysis, geological information, clay potential, remote sensing

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Las arcillas son un grupo de minerales de gran importancia en la vida cotidiana, utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, debido a sus propiedades físicas y químicas.

En Cuba, se han realizado diversas investigaciones para evaluar las características físicas, químicas y mineralógicas de las arcillas y su uso, principalmente en la producción de materiales de construcción (Fonseca *et al.*, 2012; Girbert, 2015; Romero-Lara, 2024), en cambio no se reportan suficientes investigaciones para determinar el potencial geológico de las arcillas. Mayet-Hechavarria (2005) destaca que las formaciones Guane y Guevara son muy importantes debido a las buenas características que presenta esta materia prima en la industria de la cerámica roja y la cerámica refractaria y semi refractaria, además de sus propiedades en la industria del cemento, entre otros usos. Por otro lado, se identificaron formaciones con perspectivas limitadas o no claras debido a su poco espesor, alta plasticidad y otros factores geológicos.

Cortés *et al.* (2004) comparan el caolín cubano más representativo de la región Centro-Oriental de Cuba, determinando que las muestras estudiadas de caolín Dumañuecos presentan elevado potencial de uso para refractarios. Después del beneficio adecuado el producto debe satisfacer las necesidades de la industria de refractarios de mayor exigencia.

Leyva-Osorio & Leyva-Rodríguez (2019) analizan el impacto de la minería artesanal de rocas y minerales industriales en el desarrollo local sostenible en Cuba, con énfasis en las dimensiones económico, social y ambiental. Proponen indicadores cualitativos de sostenibilidad para la industria extractiva artesanal, que permiten valorar las alternativas de explotación. Se muestran los resultados en la aplicación de los indicadores a un caso de estudio relacionado con la extracción de arcillas para la fabricación de ladrillos en el municipio de Moa.

Por otro lado, Batista-González *et al.* (2011) destacan que el contexto geológico en la provincia de Las Tunas es favorable para la presencia de arcillas, la disponibilidad y las potencialidades son altas principalmente hacia la parte central del territorio; concluye entre otras cosas que las arcillas

tienen una amplia perspectiva de distribución a nivel nacional y de explotación masiva.

La provincia de Las Tunas enfrenta el desafío de promover su desarrollo económico basado en los recursos minerales disponibles. Sin embargo, no cuenta con un grado de estudio geológico detallado. Hasta el año 2016 solo el 46 % de su superficie había sido estudiada (Martínez-Figueroa, 2016) y la mayoría de las investigaciones han estado enfocadas hacia recursos minerales metálicos, como oro y plata.

Según Batista-González et al. (2011) en la provincia existe gran variedad de recursos minerales no metálicos, y el contexto geológico es favorable, además la disponibilidad y las potencialidades de arcillas son altas. A pesar de la historia milenaria del uso de la arcilla para diversas aplicaciones, escasea la información geológica sobre los depósitos de esta materia prima. Especialmente la provincia de Las Tunas tiene una alta demanda de objetos de cerámica, ladrillos y pigmentos naturales, entre otros productos obtenidos de las arcillas.

Lo anterior plantea la necesidad de identificar y evaluar reservas subutilizadas con potencial de abastecer con variedad de productos requeridos y ayudar a satisfacer las necesidades locales, además de promover el desarrollo económico local, creando empleos y oportunidades de inversión.

La búsqueda de cualquier recurso mineral implica gasto de tiempo, personal y recursos de diversos tipos, por lo que con el fin de aprovechar todos los recursos disponibles e ir discriminando áreas se hace una combinación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso el software QGIS en su versión 3.34.4-Prizren.

Las herramientas de los sistemas de información geográfica, combinadas con información geológica, imágenes de satélite e imágenes aéreas, permiten un mapeo rápido y preciso de yacimientos de arcilla. Detectan rasgos que indican la presencia de arcilla y proporcionan información sobre sus características. A su vez, facilitan el análisis espacial considerando factores como la accesibilidad y proximidad a infraestructuras, cruciales para determinar la viabilidad económica.

Aunque los métodos tradicionales son fundamentales, el uso conjunto de sensores remotos y SIG modernos provee una visión integral del recurso que optimiza las decisiones sobre su explotación sostenible, brindando nuevas oportunidades productivas a partir de este valioso insumo natural.

Este estudio propone la identificación de zonas con potencialidades de albergar depósitos de arcilla mediante técnicas de teledetección, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis geológico detallado, en la provincia de Las Tunas, Cuba.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la combinación de datos obtenidos por teledetección e información geológica integrada en el Sistema de Información Geográfica (SIG), se ha aplicado un análisis especial; se utilizaron técnicas de mapeo geológico, técnicas de teledetección y modelado geoespacial. El estudio se estructuró en tres etapas (Figura 1) que permiten un análisis detallado y sistemático.

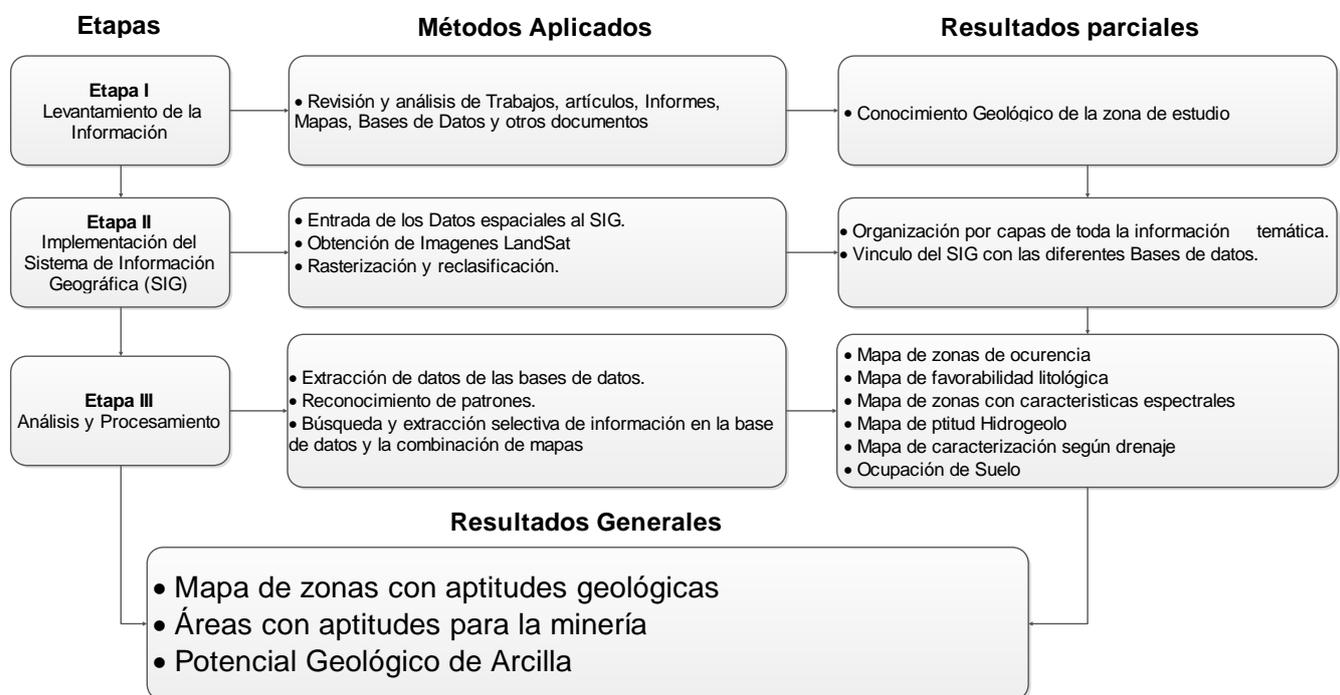


Figura 1. Metodología de los trabajos.

El diseño metodológico se estructura sobre la premisa de emplear un enfoque integral que aproveche las capacidades complementarias de los SIG y los sensores remotos. Esta combinación permitirá no solo la identificación de áreas potenciales de depósitos de arcilla, sino también la caracterización detallada de su distribución espacial y extensión, elementos esenciales para su futura explotación y gestión eficiente.

### 2.1. Descripción de las etapas

#### Primera etapa: Levantamiento de la información

En esta etapa se llevó a cabo una búsqueda, selección, revisión y recopilación bibliográfica de toda la información disponible en los archivos del Servicio

Geológico Nacional (IGP), del Ministerio de la Construcción (MICONS), la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) y Poder Popular. Se realizó una revisión del Modelo Digital del Terreno (MDT), del Léxico Estratigráfico de Cuba y de mapas geológicos y topográficos para determinar las características geológicas del área, además del uso de imágenes satelitales LandSant 8.

Luego de la revisión y análisis de las bases de datos fuentes, se procedió a la creación e implementación del Sistema de Información Geográfico donde se instituyeron las bases de datos espaciales digitales.

### **Segunda etapa: Implementación del SIG**

En esta etapa se realizó la entrada de los datos espaciales al SIG (Figura 2), estos datos fueron adquiridos de la información alfanumérica recuperada a partir de las bases de datos fuentes en formato Access (mdb), Excel (xls), ESRI Shapefile (shp), AutoCAD (dwg y dxf) e imágenes satelitales multiespectrales. Con un GIS se trabaja con una parte de la realidad elegida de acuerdo a las necesidades. Esto lleva a modelizar dicha realidad de dos formas principalmente: Vectorial y Raster.

Las principales fuentes de datos espaciales utilizados lo constituyen los mapas temáticos en formato vectorial (polígonos y puntos), así como algunas en formato raster como las imágenes satelitales multiespectrales Landsat, y el MDT de la provincia de Las Tunas.

En el Sistema de Información Geográfica se representó por capas (Figura 2) toda la información espacial y de las diferentes bases de datos fuentes para obtener los mapas temáticos, la escala adoptada es 1:100 000. Se utilizó la herramienta Global Mapper 18.0 para la conversión a formato shape de los mapas de la Base Cartográfica, Mapa Geológico, y el QGIS versión 3.34.4-Prizren, como plataforma para la integración y análisis de todas las bases que se implementaron en el SIG.

### **Tercera etapa: Análisis y procesamiento de los datos espaciales**

Durante esta etapa, se analizó la información geoespacial, extrayendo datos relevantes de una base de datos para identificar patrones en un mapa. La combinación de métodos de análisis raster y vectorial en un Sistema de Información Geográfica es fundamental para generar nueva información a partir de datos espaciales y alfanuméricos integrados (Figura 2). En este proceso, los datos vectoriales se transforman a formato raster, compuesto por celdas que almacenan coordenadas y valores temáticos.

Se reorganizaron los mapas basados en criterios geológicos y técnicos mineros para crear grupos coherentes, considerando la convergencia de intereses. Estos nuevos mapas resultantes se emplearon como evidencia clave para evaluar el potencial de arcillas mediante un SIG.

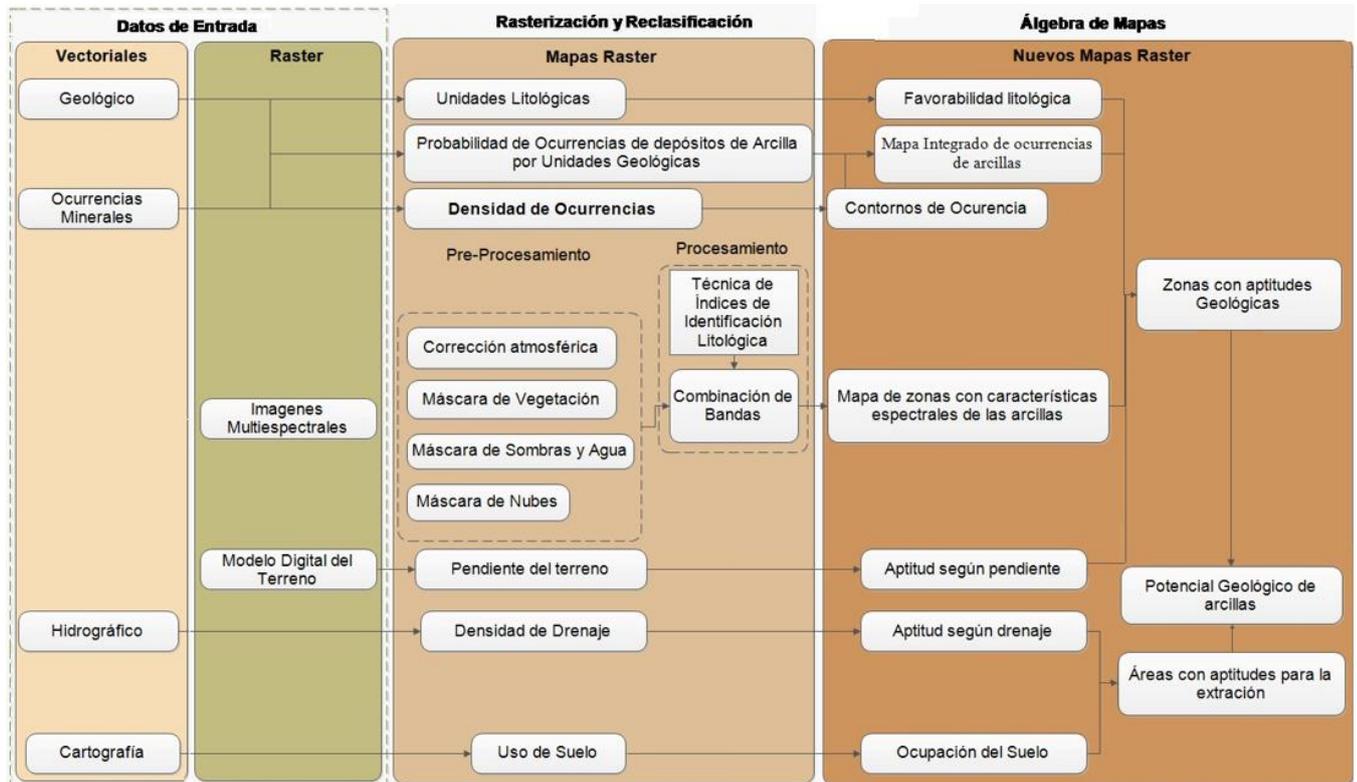


Figura 2. Estructura de capas y procesos en el GIS.

Cada uno de estos mapas, usados como evidencia, se combinó utilizando un Modelo de lógica Booleana. Esta combinación respaldó una hipótesis o proposición al examinar cada área del mapa para determinar si cumplía con los criterios establecidos. Este proceso asignó un valor binario, ya sea 1 (indicando presencia) o 0 (indicando ausencia) para cada localidad evaluada.

### 2.1.1 Relación de mapas base para realizar el análisis

- **Mapa geológico provincial:** Este mapa se obtuvo del Mapa Geológico de la República de Cuba. Este fue utilizado como base general para el análisis teniendo en cuenta las unidades formacionales y litologías de interés para la presencia de depósitos de arcillas.
- **Mapa de ocurrencias minerales:** Integrado por puntos de interés, manifestaciones, yacimientos, prospectos, concesiones y canteras antiguas. Con este mapa de ocurrencias minerales y el mapa geológico se determinó la probabilidad de ocurrencia de depósitos para arcillas dentro de los límites de las formaciones perspectivas.

$$\text{Probabilidad de ocurrencia} = \left( \frac{\text{Cantidad de ocurrencias dentro de la formación}}{\text{Cantidad total de ocurrencias}} \right)$$

- **Mapa de Densidad de ocurrencias:** el mapa muestra la distribución espacial de los sitios con ocurrencia de arcillas dentro del área de estudio. Para la confección de este mapa se usó el método de densidad Kernel o mapa de calor. Este mapa luego fue reclasificado en Mapa de contorno de ocurrencias, el cual muestra el contorno de las áreas donde se concentran las ocurrencias minerales, en este caso de arcilla.
- **Modelo Digital del Terreno (MDT):** Contiene datos de la elevación del terreno en una serie de puntos seleccionados del mismo. La resolución espacial del MDT (Shuttle) original de celdas de 86.4869 x 92.2542 metros fue reajustado a celdas de 100 m x 100 m por el método de Resample (remuestrear) con la técnica del vecino más cercano.
- **Imágenes satelitales multiespectrales:** Se usaron imágenes multiespectrales LandSat 8 nivel 2 Colección 2. Se le aplicó la técnica de índice de proporción de arcilla, lo que generó un mapa de zonas con características espectrales de arcillas.

$$CM = \frac{SWIR1}{SWIR2}$$

Donde *SWIR1* es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano 1 (Banda 6) y *SWIR2* es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano 2 (Banda 7). Este índice es sensible a las características espectrales de las arcillas.

- **Mapa hidrográfico:** representa la distribución y características de las masas de agua del área de estudio. Este fue reclasificado en el mapa de densidad de drenaje.
- **Mapa de uso de suelo:** Este mapa muestra las ciudades, vías y caminos, zonas de uso agrícola, etc. Se reclasifica en mapa de uso de suelos, el cual será reclasificado en el mapa de ocupación de suelo.

## 2.2. Criterios para la evaluación del potencial geológico de arcillas

Se emplearon variables asociadas al componente geológico y minero para evaluar el potencial geológico. Entre las variables consideradas se identifican criterios que tienen un impacto excluyente en la actividad extractiva, así como criterios que actúan como condicionantes para la explotación de los recursos (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios para evaluar potencial geológico de arcillas

	<b>Criterios</b>	<b>Favorable para presencia de depósitos de arcilla</b>	<b>Desfavorable para presencia de depósitos de arcilla</b>
<b>Geológicos</b>	Tipo de litología	Unidades litológicas favorables para la presencia de lutitas, limo o material arcilloso	Ausencia de arcillas
	Ocurrencias minerales	Registros de explotación de arcilla, actuales y antiguas	Ausencia de registros de explotación de arcilla
	Hidrografía	Áreas con alta densidad de drenaje superficial	Áreas con baja densidad de drenaje superficial
	Topografía	Zonas de relieve con pendientes suaves	Zonas de relieve abrupto o montañoso
	Imágenes satelitales multiespectrales	Presencia de picos de absorción en las bandas SWIR1 y SWIR2	Ausencia o atenuación de los picos de absorción en las bandas SWIR1 y SWIR2
<b>Mineros</b>	Acceso	Disponibilidad de vías de acceso y transporte para la extracción y distribución de la arcilla	No disponibilidad de vías de acceso y transporte
	Uso actual del suelo	Áreas con poca urbanización o agricultura intensiva	Zonas urbanizadas o con actividades industriales intensivas

### 2.3. Factor de ponderación

Para determinar el factor de ponderación de cada mapa se utilizó una matriz de comparación pareada, la cual es una herramienta que se utiliza para evaluar y ponderar la importancia relativa de diferentes elementos o criterios (Mendoza *et al.*, 2019).

### 2.4. Determinación del potencial geológico de arcilla

Para obtener el valor del potencial geológico de arcilla, primeramente, se reclasificaron cada uno de los mapas en las categorías correspondientes y luego se normalizaron los datos; posteriormente, se aplicó una expresión que combina las variables geológicas y mineras, se determinaron las zonas con aptitudes geológicas (ZAG) y las áreas con aptitudes para la extracción (AAE). Para cada una de las variables se estableció un coeficiente de ponderación basado en el resultado de la utilización de la matriz de comparación pareada.

## 2.5. Zonas con aptitudes geológicas (ZAG) para la presencia de arcillas

Son áreas del terreno que muestran características geológicas específicas que favorecen la existencia y acumulación de depósitos de arcilla. Estas áreas se identificaron mediante evaluaciones detalladas que consideran factores como:

$$ZAG = Fl * c_{Fl} + Mioa * c_{Mioa} + Ce * c_{Ce} + Pt * c_{Pt}$$

Donde: *Fl*: Mapa de unidades litológicas favorable; *Mioa*: Mapa integrado de ocurrencias de arcillas; *Ce*: Mapa de zonas con características espectrales de las arcillas; *Pt*: Mapa de pendiente del terreno y *Cn*: Coeficiente de ponderación para cada mapa

## 2.6. Áreas con aptitudes para la extracción (AAE)

Son regiones específicas que presentan características favorables de accesibilidad y disponibilidad del terreno para una extracción exitosa de las arcillas. Estas áreas se identificaron mediante evaluaciones detalladas que consideran varios factores en la siguiente formula:

$$AAE = Dd * c_{Dd} + Us * c_{Us}$$

Donde: *Dd*: Mapa de densidad de drenaje; *Us*: Mapa de uso de suelo y *Cn*: Coeficiente de ponderación para cada mapa.

## 2.7. Potencial Geológico de Arcilla (PGA)

Este potencial se evaluó teniendo en cuenta diversos factores geológicos que analizan diversas características y condiciones geológicas que favorecen la presencia y accesibilidad a las arcillas.

$$PGA = ZAG + AAE,$$

Donde: *ZAG* es el mapa de zonas con aptitudes geológicas para la presencia de arcillas y *AAE* es el mapa de áreas con aptitudes para la extracción.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que las zonas con altas aptitudes geológicas para albergar depósitos de arcillas se concentran principalmente en los municipios de Puerto Padre, Tunas, Jesús Menéndez y Amancio; mientras las áreas de muy altas aptitudes se distribuyen entre los municipios de Manatí, Puerto Padre y en el municipio Tunas (Figura 3). Igualmente se reveló que la mayoría del territorio de la provincia tienen terrenos aptos para hacer trabajos de extracción (Figura 4).

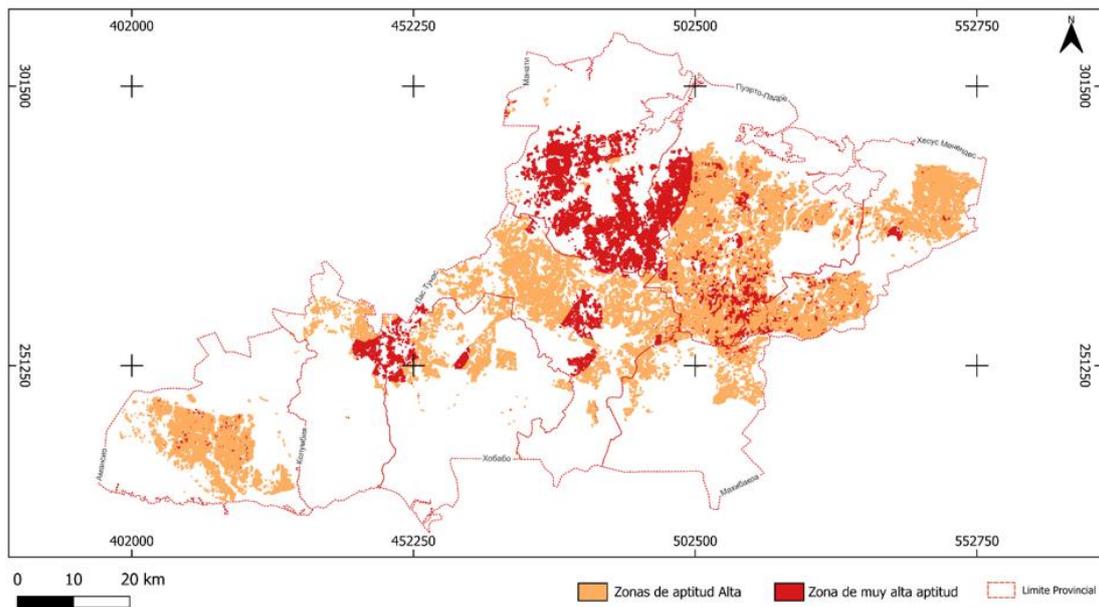


Figura 3. Mapa de zona con altas y muy altas aptitudes geológicas para albergar depósitos de arcilla.

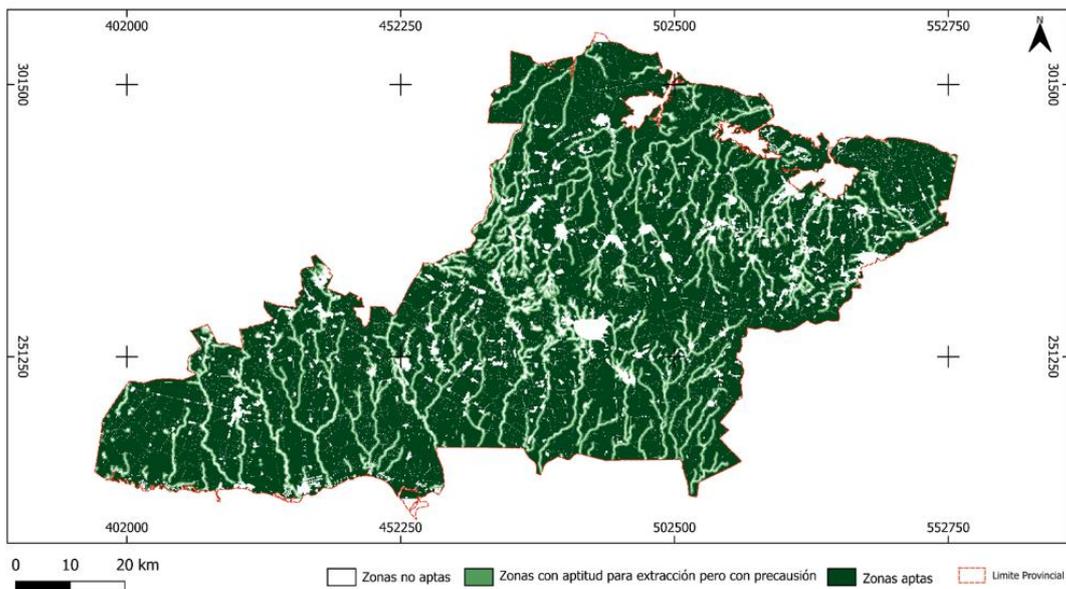


Figura 4. Mapa de zonas con áreas con aptitudes para la extracción.

El mapa de potencial geológico perspectivo de arcilla (Figura 5) exhibe una buena distribución de las áreas con moderado potencial en todos los municipios. Las áreas con alto potencial se distribuyen principalmente en los tres municipios sureños (Amancio, Colombia y Jobabo), aunque también hay zonas de tamaño importante en los demás municipios. Las zonas de muy alto potencial se localizan principalmente en el municipio de Manatí, en las inmediaciones de Dumañuecos, aunque también existen algunas áreas significativas en los municipios Tunas, Amancio, Jobabo, Puerto Padre y Colombia.

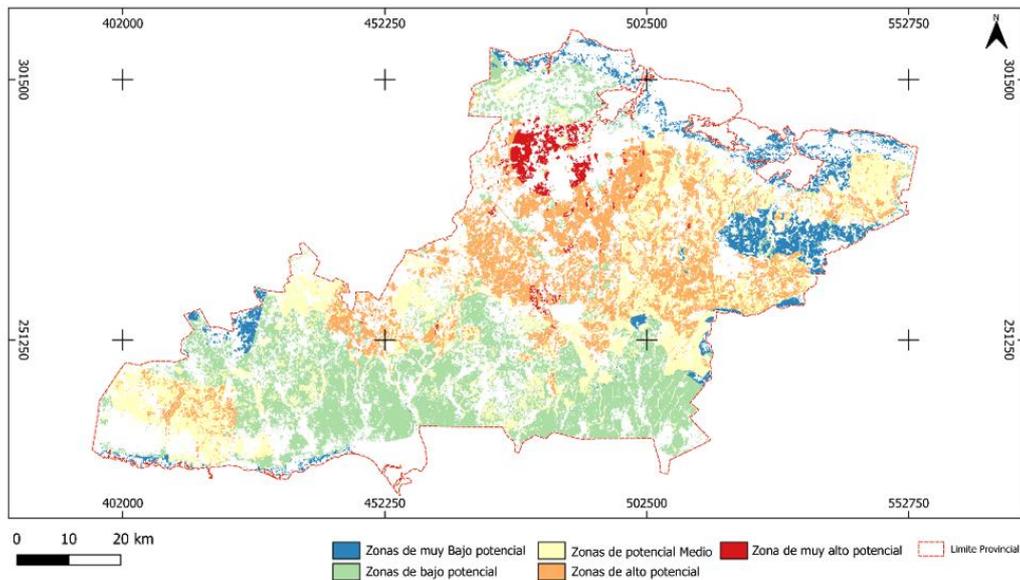


Figura 5. Potencial geológico perspectivo de arcilla, provincia de Las Tunas, Cuba.

Las áreas con muy bajo potencial representan el 0,08 % de la superficie de la provincia, las de bajo potencial, el 3,55 %; el 25,27 % corresponde a las de potencial moderado; las áreas de alto potencial ocupan el 12,99 % y las de muy alto potencial representan el 0,57 % de la provincia.

### 3.1. Áreas de distribución por tipos de arcillas

Según la descripción de los tipos de rocas presentes en las formaciones geológicas en la provincia de Las Tunas, obtenidas del Léxico Estratigráfico de Cuba (IPG, 2013), es posible inferir qué tipo de arcillas podrían predominar en las áreas con alto y muy alto potencias.

Las arcillas más comunes en la provincia serían caolinita, illita y esmectita (Figura 6). La composición exacta y las propiedades de estas arcillas en cada una de las áreas pueden variar dependiendo de los factores locales específicos, como la composición química de los minerales, las condiciones ambientales durante la deposición y la historia geológica del área.

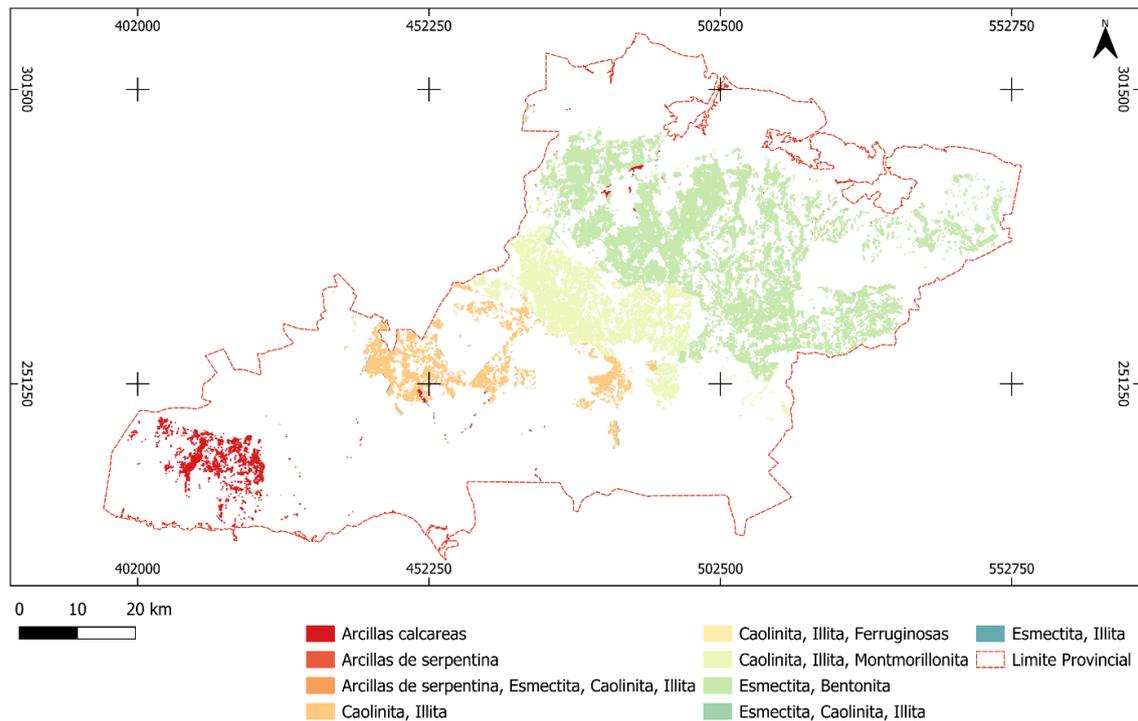


Figura 6. Posibles arcillas más comunes en la provincia, áreas con alto y muy alto potencial.

Los municipios que mayores áreas con depósitos de arcillas son: Puerto Padre, que representa el 26,28 % de las zonas con potencialidades altas y muy altas, Manatí con el 24,95 % y las Tunas con 24,06 %.

Es importante señalar que, si bien la investigación proporcionó evidencia sólida para la confirmación de la hipótesis, también reveló la necesidad de considerar otros factores, como los aspectos ambientales y sociales, en futuros estudios para una evaluación más integral del potencial de arcillas en la región. Además, la identificación de correlaciones entre las zonas identificadas con potencialidades de arcillas y las áreas actualmente en explotación de minerales de arcillas destaca la importancia de seguir explorando la relación entre el potencial geológico y la actividad minera existente en la región.

#### 4. CONCLUSIONES

- Los hallazgos revelan una distribución heterogénea de zonas con moderadas, altas y muy altas potencialidades para albergar depósitos de arcillas en toda la región, con concentraciones significativas identificadas en los municipios Manatí, Tunas, Jobabo, Colombia, y Amancio.
- En relación con la hipótesis planteada al inicio de esta investigación, los resultados proporcionan evidencia que respalda la integración de la

información geológica con datos de sensores remotos y herramientas SIG para identificar áreas de interés con potencial de albergar depósitos de arcilla en la provincia de Las Tunas. El hallazgo de zonas con diferentes niveles de potencialidades para albergar depósitos de arcillas indica que la metodología utilizada fue efectiva para identificar áreas con alto y muy alto potencial geológico.

- Este resultado abre nuevas líneas de investigación y sugiere áreas para futuras estudios que pudieran enriquecer más el conocimiento del potencial geológico de las arcillas en la provincia de Las Tunas y su impacto en el desarrollo económico local.

## 5. REFERENCIAS

- Batista-González, R., Coutín-Correa, D. P., González-Castellanos, D. & Torres-Zafra, J. L. (2011). *Valoración del potencial de las rocas y minerales industriales para el desarrollo municipal en la República de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica.
- Cortés, G. R. M., Kozievitch, V.F., Xavier, C. & Valenzuela, F. R. (2004). *Propiedades cerâmicas de caulins da República de Cuba*. Parte III. Caulim Dumañuecos. <https://repositorio.uso.br/item/001398613>
- Fonseca, D., Barba, F., Callejas, P. & Recio, P. (2012). Aplicaciones de los minerales arcillosos de Cayo Guan, Cuba, como adsorbentes de metales pesados y materia prima cerámica. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51(5), 231-268. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5623773>
- Girbert, Y. (2015). *Evaluación de la expansividad de las arcillas en la ciudad de Pinar del Río*. (Tesis de Maestría, Universidad de Pinar del Río). <https://rc.upr.edu.cu/jspui/handle/DICT/1781>
- Instituto de Geología y Paleontología IGP. (2013). *Léxico estratigráfico de Cuba*. Centro Nacional de Información Geológica. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.igp.minen.cu>
- Leyva-Osorio, L. A., & Leyva-Rodríguez, C. A. (2019). Minería artesanal y desarrollo local sostenible en Cuba. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 5(27). <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/desarrollo-local-cuba.html>
- Martínez-Figueredo, A. (2016). *Potencial Minero de las Tunas* (p. 22). ONRM.

- Mayet-Hechavarria, R. (2005). *Depósitos de arcillas abigarradas en Cuba Occidental*. (Trabajo de diploma, Instituto Superior Minero Metalúrgico). <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1343/TesisMayet.pdf?sequence=1>
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D., García, D., Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D. & García, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(3), 348-360. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>
- Romero-Lara, M., González, L., Rojas, Y. F. & Pérez, S. M. (2024). Potencialidades de la producción de ladrillos de barro cocido en Santiago de Cuba para viviendas de mampostería confinada. *Revista Ciencia y Construcción*, 5(2), 69. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/252>

## Información adicional

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

AMF: Diseño de investigación, redacción del manuscrito, análisis de datos. PAI: Supervisión del proyecto, asesoramiento en el sistema del estudio, revisión crítica del manuscrito.

### ORCID

AMF, <https://orcid.org/0000-0002-6165-3895>

PAI, <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Recibido: 01/07/2024

Aceptado: 02/08/2024