

Análisis De Las Canteras De La Provincia De Matanzas Para La Producción De Cemento (LC3) Mediante El Software QGIS

Analysis Of The Quarries Of The Province Of Matanzas For The Production Of (LC3) Using QGIS Software

Autores

Manuel Pedroso Martínez¹, Leonel Alejandro Acosta Prieto², Luis David Céspedes Domínguez³, Sarah Enriquez Guerra⁴

¹Ingeniero Civil y Doctor en Ciencias. Profesor Auxiliar de la Universidad de Matanzas. Autopista a Varadero km 3½ Matanzas 44740, Cuba. Teléfonos: +53 53696326 o +53 59947059 (corporativo) manuel.pedroso@umcc.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-9379>

²Ingeniero Civil. Trabajador de las FAR. Especialista B

³Ingeniero Civil. Profesor Instructor del Departamento de Construcciones, Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Matanzas. Autopista a Varadero km 3½ Matanzas 44740, Cuba. Teléfono: +53 54122340 luisdavid9407@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8291-6589>

⁴Ingeniero Civil. Profesora Asistente del Departamento de Construcciones, Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad de Matanzas. Autopista a Varadero km 3½ Matanzas 44740, Cuba. Teléfono: +53 52477477 sarahenriquez@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8872-2942>

RESUMEN

El cemento Portland es uno de los materiales de construcción más empleados en la vida moderna, aunque su producción representa un alto consumo de energía, además de emitir grandes volúmenes de CO₂ a la atmósfera. Una solución ambientalista es el empleo de materiales cementicios suplementarios tal es el caso del cemento bajo en carbono (LC3). Actualmente la provincia de Matanzas no cuenta con un sistema de información actualizado que brinde la localización exacta de las canteras y los materiales que en ellas se explotan. El objetivo de la presente investigación es analizar estratégicamente las canteras de la provincia de Matanzas para la producción del LC3 mediante el software QGIS. Se propone un procedimiento que consta de 4 etapas, donde se caracteriza el objeto de estudio, se diseña un mapa para localizar las canteras de la provincia de Matanzas mediante el software QGIS y se realiza un análisis de los materiales existentes en las canteras localizadas para la producción de LC3. Según análisis realizados a las canteras en el territorio matancero se localizaron en un mapa de la provincia de Matanzas desarrollado por el software QGIS un total de 11 canteras con posibles materiales para la producción del LC3, de ellas: Préstamos Laguna, yacimiento abandonado con reserva donde pudiera existir arcilla caolinítica; 9 yacimientos de calizas, donde solo la cantera de Alacranes se encuentra activa y Canasí, yacimiento activo que explota el yeso fuera de los límites de Matanzas.

Palabras claves: canteras, cemento bajo en carbono, software de sistema de información geográfica

ABSTRACT

Portland cement is one of the most widely used construction materials in modern life, although its production represents a high energy consumption, in addition to emitting large volumes of CO₂ into the atmosphere. An environmental solution is the use of supplementary cementitious materials such as low carbon cement (LC3). Currently, the province of Matanzas does not have an updated information system that provides the exact location of the quarries and the materials that are exploited in them. The present investigation responds to the project of Construction Materials for the Matancero Territory, the objective is to strategically analyze the quarries of the province of Matanzas for the production of the LC3 using the QGIS software. A procedure consisting of 4 stages is proposed, where the object of study is characterized, a map is designed to locate the quarries of the province of Matanzas using the QGIS software and an analysis of the existing materials in the quarries located for the LC3 production. According to analyzes carried out on the quarries in the Matanzas territory, a total of 11 quarries with possible materials for the production of LC3 were located on a map of the province of Matanzas developed by the QGIS software, including: Laguna Loans, an abandoned deposit with a reserve where there may be kaolinic clay; 9 limestone deposits, where only the Alacranes quarry is active and Canasí, an active deposit that exploits gypsum outside the limits of Matanzas.

Keywords: quarries, low carbon cement, geographic information system software.

Nota Editorial: Recibido: Mayo 2022 Aceptado: Junio 2022

1. INTRODUCCIÓN

Durante varios años el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas ha desarrollado valiosas investigaciones, donde se han obtenido resultados muy satisfactorios, pues se ha desarrollado un producto, consistente en un tipo de cemento mezclado a partir de la combinación de Clínquer, caliza y arcilla calcinada (cemento de bajo carbono), que se basa en la disminución del consumo energético y las emisiones del CO₂ a la atmósfera, donde se aprovecha la reacción sinérgica entre la alúmina presente en el metacaolín y el carbonato de calcio contenido en la caliza [1].

Las canteras para producir este cemento bajo en carbono (LC3) debe contar con: rocas calizas, arcillas caoliníticas para la obtención del metakolín y yeso. Para su localización se emplea la tecnología de sistemas de información geográfica (SIG) ya que poseen la capacidad para obtener y presentar los resultados de los análisis en mapas temáticos que resulta fundamental en cualquier estudio geográfico.

La provincia de Matanzas no cuenta actualmente con una planta para la producción del LC3 ni con un sistema de información actualizado que brinde la localización exacta de las canteras activas y los materiales que en ellas se explotan a pesar de ser una de las provincias de Cuba que posee un fuerte incremento en los últimos años de la demanda de materiales debido a la expansión de actividades como construcciones para el turismo en el poblado de Varadero, mantenimiento y reconstrucción de patrimonios históricos en el municipio de Matanzas, la necesidad de la reconstrucción del fondo habitacional y la construcción de nuevas viviendas. Esto se debe a los pocos estudios ingeniero-geológico realizados en cada una de las regiones de la provincia, pues se centran en el estudio de las formaciones estratigráficas de Güines y Canimar.

Para dar respuesta a la problemática existente, se plantea como objetivo: Analizar estratégicamente las canteras de la provincia de Matanzas para la producción del LC3 mediante el software QGIS.

2. DESARROLLO



La caracterización ingeniero-geológica de un territorio matancero solo se obtiene mediante la realización de un mapa al día de hoy. Estos mapas se confeccionan a partir de los datos aportados por los levantamientos ingeniero-geológicos, la perforación de calas de investigación de suelos, la aplicación de métodos geofísicos, los resultados de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas y la aplicación de ensayos in situ. Estos mapas resultan indispensables pues tienen como objetivo el ordenamiento territorial que se encuentra estrechamente vinculado con el aprovechamiento de los suelos y rocas. También interviene en el uso para investigaciones ingeniero-geológicas en busca de materiales para la construcción [2].

Los SIG se han utilizado como una herramienta de investigación y aplicación desde la década del 1970. Estos están diseñados para almacenar, recuperar, manipular, analizar datos geográficos y mapas. El almacenamiento de su información se presenta en una geodatabase que proporciona orden, la estructura y la normalización de sus datos. Es considerada como una de las herramientas más poderosas en la recopilación y organización de datos espaciales [3].

Para los autores de la investigación, los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: formatos raster (archivo de imagen) y vectorial (archivo de puntos, líneas y polígonos).

QGIS es un proyecto de SIG de código abierto que se inició en 2002. El objetivo inicial del proyecto era crear un visor de datos espaciales. Hoy en día este software ha alcanzado un punto de evolución que supera a gran parte de los paquetes de software SIG y convirtiéndose en el favorito por muchos usuarios para la visualización de datos espaciales diario, edición, tareas de análisis y en la educación. Además de proporcionar una interfaz de Python programa de aplicación Application Programming Interface (API), que se utiliza para ampliar su funcionalidad. QGIS funciona en la mayoría de las plataformas Linux, BSD, Unix, Windows y Mac OSX y se ha publicado bajo una licencia libre GNU [4, 5]. Desarrollar QGIS bajo esta licencia quiere decir que se puede inspeccionar y modificar el código fuente. Con esto se logra que los usuarios siempre tengan acceso a un programa SIG gratis y que pueda ser libremente modificado.

La localización de las canteras mediante el software QGIS nos permitirá la obtención de un mapa ingeniero-geológico de forma digital libre y gratuita para cualquier entidad estatal que lo necesite y para el avance del Proyecto de Materiales de Construcción para el Territorio Matancero llevado a cabo en la Universidad de Matanzas.

Producción actual del LC3

A partir del 2019 hasta el 2020, Cuba trabaja en la importación de 10 plantas para la producción de LC3 suministradas por la empresa portuguesa IPIACNery, la que ya produce estas fábricas a gran escala para el continente africano y que según el profesor Martirena transferirá los planos de ingeniería de detalle a la Empresa Sidero-Mecánica "Fabric Aguilar Noriega" (Planta Mecánica) de Villa Clara para la producción de estas plantas de cemento dentro del país, además de suministrar los accesorios que sean imposibles de fabricar o conseguir en Cuba [6].

Actualmente se trabaja en la instalación de fábricas de LC3 en 18 países diferentes, entre ellos India, China, Indonesia, Tailandia, Guatemala, México, Ecuador, Colombia, Perú, Costa de Marfil, Camerún y Senegal. El 25 de mayo de 2019 entró en funcionamiento la planta experimental para la producción de LC3 perteneciente a la Universidad de las Villas, con la promesa de lograr hasta siete toneladas diarias del material, destinada a la producción local de materiales de la construcción. La planta es operada por la Empresa Geominera del Centro y presenta todos los equipamientos para producir material de manera óptima, totalmente automatizada, y se apoya, además, en las Industrias Putin de Instalaciones Automáticas para Cerámica (IPIAC) [1].

La puesta en marcha de la fábrica acarrea una inyección directa a la producción local de materiales para la construcción destinados fundamentalmente al Programa de la Vivienda, pues el estado cubano ha destinado recientemente un crédito de alrededor de 6 millones de euros para la adquisición de 20 plantas más que serán instaladas en diferentes zonas del país a muy corto y mediano plazo hasta el mes de abril de 2020 en dependencia de las áreas con disponibilidad de materias primas certificadas por la Empresa Geominera del Centro perteneciente al Ministerio de Energía y Minas [6]). Según [7] las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciego de Ávila, Las Tunas y Santiago de Cuba poseen plantas a mediano plazo para la producción del LC3 y las provincias de Artemisa, Villa Clara, Sancti Spiritus, Camagüey y Holguín a corto plazo.

Tras analizar el procedimiento realizado por [8, 9, 10] para la localización y análisis de las canteras mediante el software QGIS se desarrolla un nuevo procedimiento por etapas que permite de una manera más factible el análisis de las canteras tanto activas como abandonadas y el trabajo conjuntamente con el software QGIS, donde se integra y se ajusta a las condiciones existentes en la presente investigación cada uno de estos métodos elaborados por los autores antes mencionados.



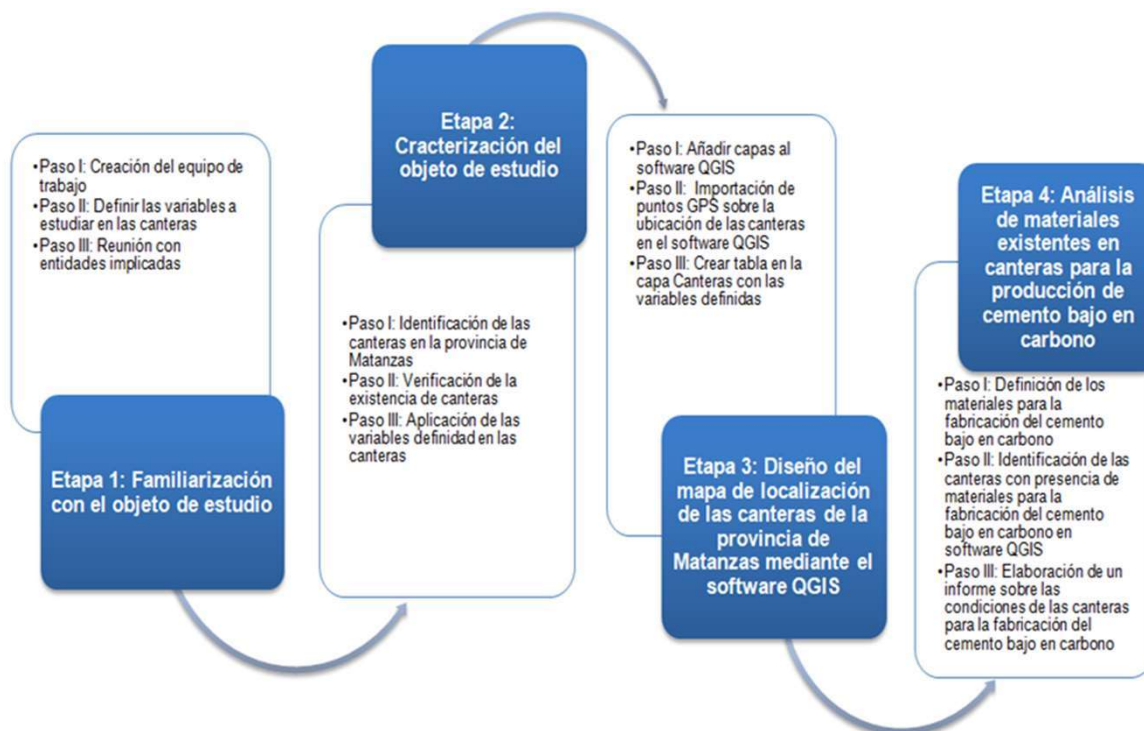


Figura 1: Procedimiento propuesto para analizar las canteras de la provincia de Matanzas para la producción del LC3

Resultado y discusión

Para cumplir con el objetivo propuesto los autores, luego de aplicar procedimiento propuesto para analizar las canteras de la provincia de Matanzas para la producción del LC3, consideran pertinente detallar los resultados obtenidos a partir de la Etapa 4: Análisis de materiales existentes en canteras para la producción de LC3.

- Paso I: Definición de los materiales para la fabricación del LC3

Según [11] en investigaciones realizadas en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas y la Universidad Politécnica de Lausana en Suiza, para la producción del LC3 es necesario materiales cementicios suplementarios como el yeso, la caliza y la arcilla calcinada que permita la sustitución del clinker hasta un 50%. Estos materiales comúnmente se pueden encontrar en explotaciones mineras de materiales para la construcción.

La arcilla calcinada se obtiene a partir del proceso de calcinación de la caolinita. Este mineral arcilloso requiere de la menor temperatura para la deshidroxilación de su estructura lo que trae asociado un menor costo energético [12]. El mineral más abundante y disponible para la producción de cemento es el CaCO_2 en forma de piedra caliza. Estas pueden ser usadas en su estado natural, finamente molida, como adición mineral [13]. El yeso es un mineral natural de pureza y composición variables, que introduce un amplio rango granulométrico [10]. Este se emplea para la producción del LC3 en el proceso de molienda como retardador de fraguado.

- Paso II: Identificación de las canteras con presencia de materiales para la fabricación del LC3 en software QGIS

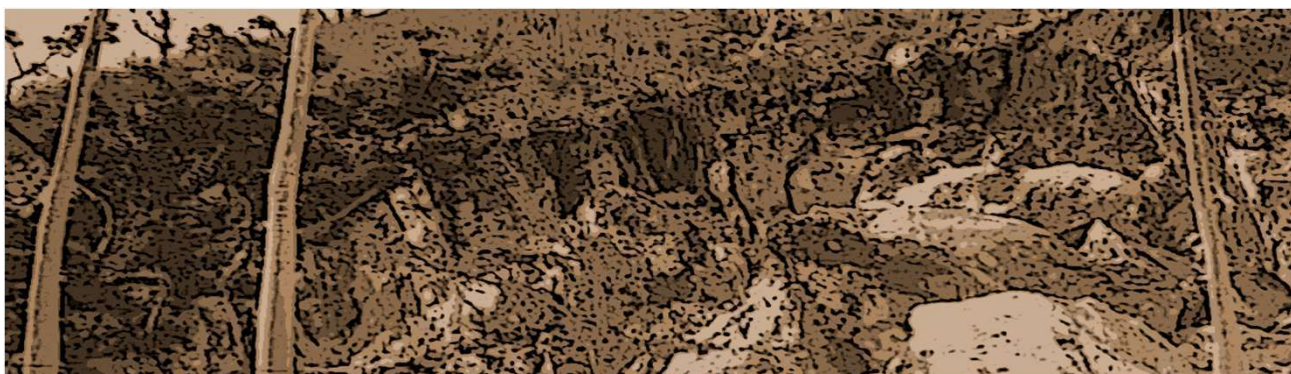
A partir del análisis de los materiales para la producción del LC3 de las canteras de la provincia de Matanzas se obtiene como resultado que de 257 yacimientos investigados en el territorio matancero solo 15 (5.8%) son de arcilla, 9 (3.5%) son de caliza y no existen canteras de yeso.

De las 15 explotaciones mineras de arcillas encontradas ninguna forma parte de yacimientos activos, todos estos se localizaron en canteras abandonadas con reserva, que no necesariamente coincide con el material para el cual fue explotada inicialmente. Es necesario aclarar que para la obtención del cemento ecológico la arcilla debe ser del tipo caolinita, lo cual no es posible definir debido a que se encuentran abandonadas y no existe ningún estudio mineralógico de los mismos, sin embargo según el Léxico Estratigráfico de Cuba publicado por Instituto de geología y paleontología (2013) se puede inferir que en la formación Guevara (gv) y Villarroja (vr) existe la posibilidad de encontrar este tipo de arcilla [14]. A continuación se muestran las formaciones geológicas a partir del mapa elaborado por la Academia de Ciencia (1988) de los 15 yacimientos de arcilla localizados en el territorio matancero [15].

Tabla 1: Formación geológica de las 15 canteras de arcilla localizadas en la provincia de Matanzas

No	Nombre de las canteras	Formación geológica
1	Dolores	Vía Blanca (vb)
2	Préstamos para Alevinaje	Canímar (cnm)
3	Préstamos para Alevinaje Álvaro Reynoso	Canímar (cnm)
4	Camilo II	Güines (gn)
5	Mariate	Güines (gn)
6	Préstamos 1	Güines (gn)
7	Préstamos 2	Güines (gn)
8	Descanso	Güines (gn)
9	Préstamos 3	Güines (gn)
10	Préstamo Presa 19	Tinguaro (tgr)
11	Préstamo EIDE	Canímar (cnm)
12	Jovellanos	Güines (gn)
13	Préstamos Laguna	Villarroja (vr)
14	Préstamos Km 206-209	Arabo (arb)
15	La Paloma 7	Santa Teresa (st)

En la tabla anterior se puede observar que la única cantera que cumple con el tipo de formación geológica propuesta en el Léxico Estratigráfico de Cuba es Préstamos Laguna. Tras una entrevista realizada al M. Sc. Ing. Ovidio Rodríguez Rodríguez se logró obtener algunas de las zonas de formación Villarroja y Guevara donde puede existir la arcilla de tipo caolinita como se muestra en la figura 2, a partir de estudios realizados por él.



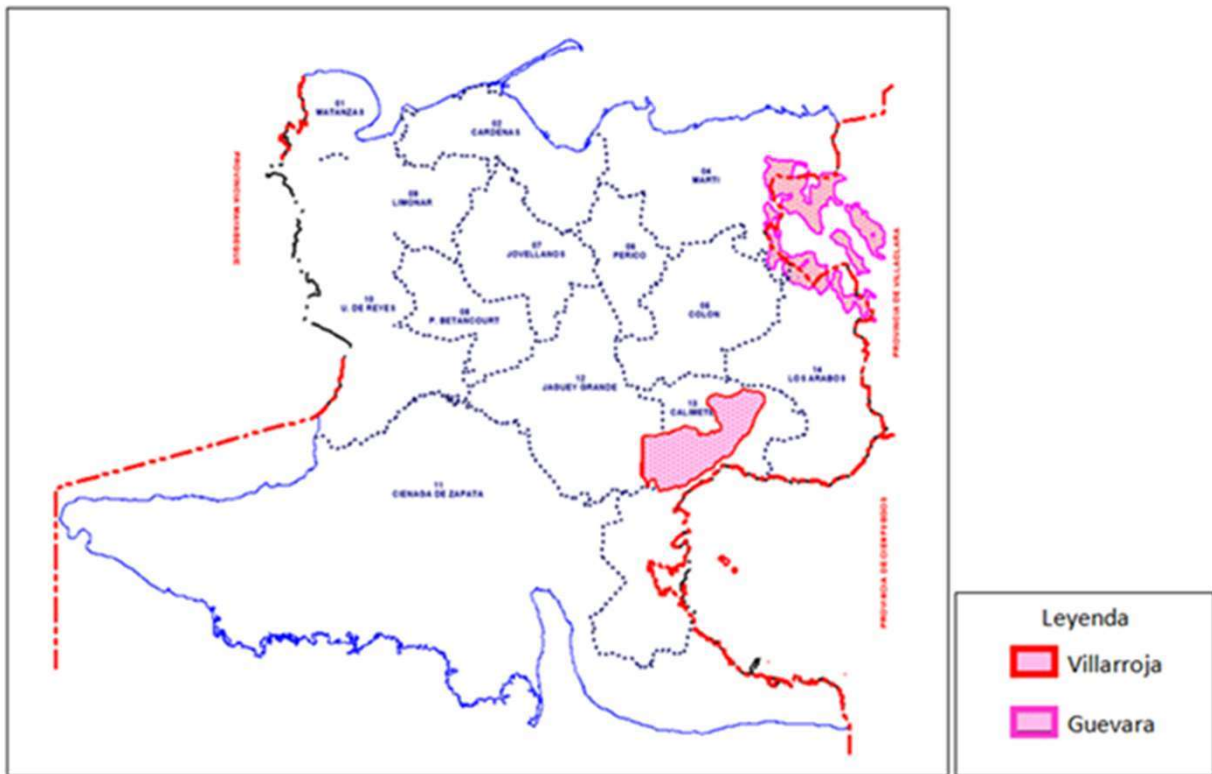


Figura 2: Zonas de formación Guevara y Villarroja donde podría existir arcilla caolinítica



De las 9 canteras de calizas solo la de Alacranes está activa, el resto forma parte de los yacimientos abandonados con reserva, donde se desconoce si aún poseen el mismo material para el que fue explotada inicialmente.

De la explotación minera de yeso que es otro de los materiales necesarios para la fabricación del LC3, se precisa que durante la búsqueda bibliográfica de [6, 16] se obtuvo información sobre la existencia de la cantera Canasí que explota este material, esta se encuentra ubicada a unos 5 Km al noroeste del poblado de Corral Nuevo y aproximadamente a 12 Km de la Ciudad de Matanzas. Administrativamente dicho yacimiento pertenece al municipio de Santa Cruz del Norte aunque se considera parte del territorio matancero.

En la figura 3 se muestra la localización de las canteras con presencia de materiales para la producción del LC3.

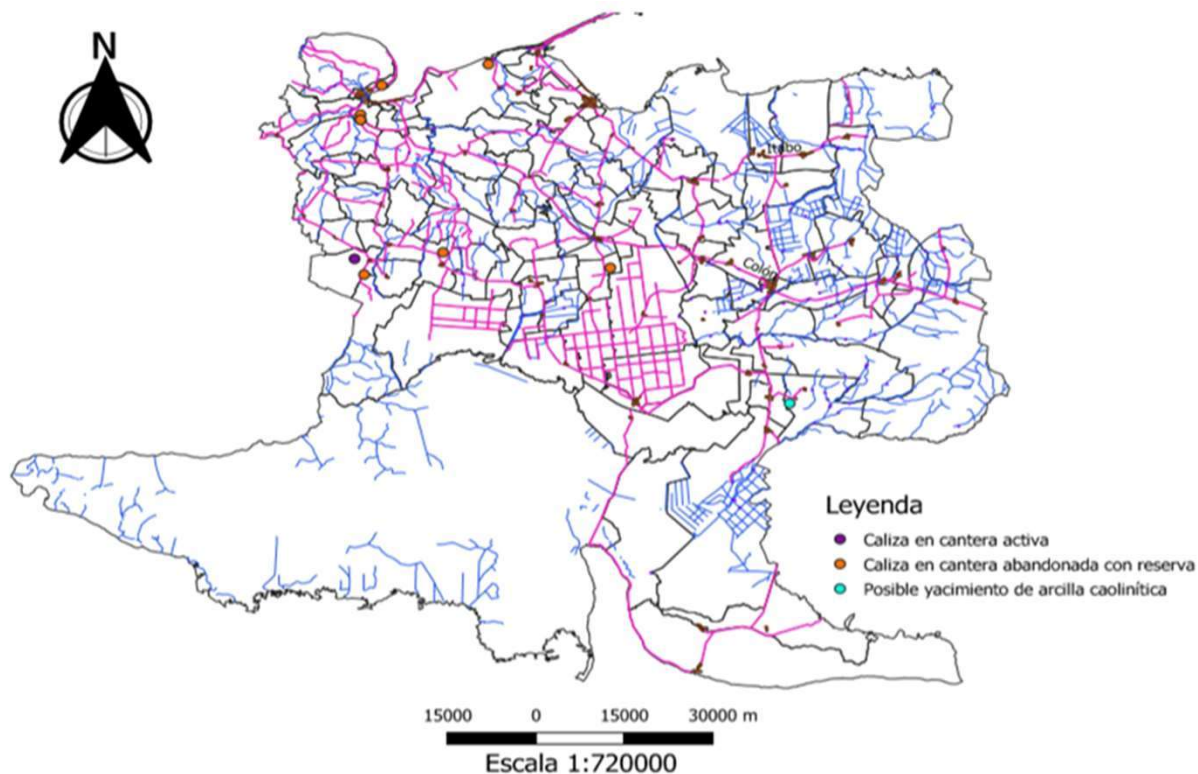


Figura 3: Identificación de las canteras con presencia de posibles materiales para la producción de LC3

- Paso III: Elaboración de un informe sobre las condiciones de las canteras para la fabricación del LC3

Entre las canteras localizadas que pudieran poseer los materiales para la fabricación del LC3 se tiene:

Yacimiento de arcilla caolinítica

Préstamos Laguna: Cantera abandonada con reserva en la que se explotaba inicialmente arcilla, donde existe la posibilidad de poseer arcilla de tipo caolinita debido a que su formación geológica es villarroja. Sus coordenadas son al norte: 299470° y al este: 512860°. Posee una amplitud mediana y su uso actual es como laguna de oxidación.

Yacimientos de caliza

Alacranes: Cantera activa en la que se explota caliza dolomitizada. Sus coordenadas son al norte: 326683° y al este: 438912°. Posee una amplitud grande y su uso actual es la elaboración de áridos para asfalto. La entidad al frente de dicho yacimiento es Canteras Habana.

Valladares: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza para áridos inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 323800° y al este: 440600°. Posee una amplitud mediana y no posee ningún uso actualmente.

Finca Gálvez I: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 328000° y al este: 454000°. Posee una amplitud pequeña y es usada actualmente por la FAR.

Pedagógico: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 354000° y al este: 440000°. Posee una amplitud mediana y no posee ningún uso actualmente.

Carretera San Juan: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 352999° y al este: 440000°. Posee una amplitud mediana y no posee ningún uso actualmente.

Carretera de Cidra: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 353000° y al este: 440000°. Posee una amplitud pequeña y no posee ningún uso actualmente.

UPI Base Supertanq: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 359515° y al este: 443616°. Posee una amplitud pequeña y su uso actualmente es como depósito de basura.

Quintana: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 363511° y al este: 461714°. Posee una amplitud mediana y no posee ningún uso actualmente.

La Rosita: Cantera abandonada con reserva en la que se explota caliza (rocas) inicialmente. Sus coordenadas son al norte: 325070° y al este: 482420°. Posee una amplitud mediana y no posee ningún uso actualmente.

Yacimiento de yeso

Canasí: Cantera activa en la que se explota el yeso blanco y gris. Se encuentra ubicada a unos 5 Km al noroeste del poblado de Corral Nuevo y aproximadamente a 12 Km de la Ciudad de Matanzas. Tiene una reserva en el orden de los 600 Mm³ y una perspectiva de 25 Mm³. La entidad al frente de dicho yacimiento es la Empresa de Materiales de la Construcción Matanzas.

A consideración de los autores la provincia de Matanzas no cuenta en estos momentos con las condiciones necesarias para la producción de LC3 debido a que no posee ningún yacimiento activo de arcilla caolinítica y en el caso de Préstamos Laguna es necesario realizar estudios geológicos para verificar si en ella existe este tipo de material. Además se debe aún realizar los estudios de suelos a las canteras abandonadas de caliza mencionadas anteriormente para comprobar si poseen el mismo material para el que fue explotada inicialmente.

3. CONCLUSIONES



De un total de 267 canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas se pudieron investigar 257 de los cuales, 246 (95.7%) se encuentran abandonadas sin que se hayan realizado en ellas acciones de rehabilitación y 11(4.3%) están activas. Estos yacimientos investigados se localizaron en un mapa de la provincia de Matanzas desarrollado en el software QGIS.

A partir de los análisis realizados a las canteras en el territorio matancero se pudo localizar como posibles materiales para la producción del LC3, 1 yacimiento en el que pudiera existir arcilla caolinítica, 9 yacimientos de calizas y 1 yacimiento de yeso activo fuera de los límites de Matanzas. Las canteras que se encontraban dentro de los límites de la provincia de Matanza fueron localizadas en un mapa desarrollado en el software QGIS.

1. M. Díaz. Primera planta productora de cemento de bajo carbono en marcha desde universidad villaclareña, ACN. Retrieved from www.acn.cu, 2019.
2. Y. Leiva y A. Pérez. Caracterización del yeso procedente de Punta Alegre y de Canasí para evaluar su empleo en las industrias cerámica, constructiva y ortopédica. *Minerales Industriales para la construcción* 2013.
3. M. Ruesca. Análisis de la calidad del yeso del yacimiento Canasí para su uso como material de construcción (Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil), Universidad de Matanzas, 2019.
4. C. Gonzalves. Diagnóstico tecnológico de la cantera de áridos Los Caliches en la provincia de Holguín (Trabajo de Diploma), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2019.
5. Y. Dile, P. Daggupati, C. George, R. Srinivasan y J. Arnold. Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental Modelling and Software*, 2016 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.08.004>
6. B. López. Caracterización de la resistencia a la compresión de las rocas pertenecientes a la formación Jaimanita en Punta Hicacos, Varadero a partir de un análisis Geoestadístico. Matanzas, 2017.
7. J. F. Martirena. Programa de producción local de LC3 en pequeñas unidades productivas, 2019.
8. L. Chacón. Diagnóstico tecnológico de la cantera de materiales para la construcción Yarayabo de la Provincia de Santiago de Cuba. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2016.
9. A. Estopiñales. Proyecto de norma cubana para la utilización de arcillas calcinadas como material cementicio suplementario basadas en la modificación de las NC 527:2013 y NC 528:2013. (Tesis de Diploma), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2016.
10. J. Pérez. Producción de cemento LC3 en Cuba: El camino de la autarquía, CUBA DEBATE. Retrieved from www.cubadebate.cu, 2019
11. A. Cebey. Evaluación de la carbonatación en hormigones elaborados con cemento de bajo carbono LC3. (Trabajo de Diploma), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2016
12. R. Sardiña. Gestión ambiental de canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas, Cuba *Minería y Geología*, 2014.
13. A. Bernal. Formulación y evaluación de cementos de bajo carbona con arcillas calcinadas del yacimiento Neptuno, Artemisa. (Trabajo de diploma), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2017.
14. A. Graser y V. Olaya. Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS, *Geo-Information*, 2015 doi: 10.3390/ijgi4042219
15. Academia de Ciencia (Cartographer). Mapa Geológico de Cuba, 1988.
16. Instituto de geología y paleontología. Lexico estratigráfico de Cuba. Ministerio de energía y minas Cuba, 2013.
17. L. Barreto y M. Rafael. Análisis de peligros y vulnerabilidad para la gestión del riesgo de desastres, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) en la localidad de Acopampa- Carhuaz, Ancash Universidad Nacional "Santiago Antúnez", 2015.
18. A. Castro. Manejo del software QGIS para gestionar datos de redes de distribución de agua en la URB. Miraflores. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil), Universidad de Piura, 2019.
19. E. Toledo. Activación térmica de arcillas, relación entre las condiciones de obtención de los desechos cerámicos y la actividad puzolánica. (Trabajo de Diploma), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2017.
20. G. Villacreses, G. Caona, J. Gómez y D. Jijón. Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.041>
21. L. M. Vizcaíno Andrés. Cemento de bajo carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer – arcilla calcinada – caliza Marta Abreu. Retrieved from torri@mes.edu.cu, 2014