

## PROCEDIMIENTO PARA LA REHABILITACIÓN DE CANTERAS ABANDONADAS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

**REYNALDO IVÁN FUENTES SARDIÑA, ARLENE HERNÁNDEZ ÁLVAREZ**

**Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería de Matanzas (INRH)**

San Vicente Final s/n Pueblo Nuevo, ciudad de Matanzas.

**Correo:** reynaldo@eipi.mtz.hidro.cu

### RESUMEN

La persistencia en el tiempo de las áreas degradadas por la explotación de materiales para la construcción constituye uno de los pilares fundamentales de su incompatibilidad con el entorno. La rehabilitación de estos espacios es un tema débilmente tratado en la bibliografía, tanto a nivel internacional como nacional. Los estudios se concentran fundamentalmente en los yacimientos metálicos.

La estructura y constitución geológica de la provincia de Matanzas ha favorecido la existencia de numerosas canteras de materiales para la construcción. Más del 75 % de las mismas se encuentran en franco abandono. Esto determinó la selección del área para la investigación, en la que, a partir de la identificación y validación de 16 variables y su evaluación *in situ* en 250 canteras, pudo obtenerse una base de datos que refleja las características de cada uno de estos espacios.

La aplicación a los datos obtenidos del análisis de *cluster* (método de Ward) contribuyó a la agrupación de las canteras en cuatro grupos de manejo, claramente distinguibles por sus características físicas y niveles de peligrosidad ambiental. Según la complejidad que significaría su reutilización o minimización del riesgo que implican, a cada uno de estos grupos se les asignó posibles variantes de uso, así como propuestas de objetivos y programas para el manejo, lo cual resultó la base para elaborar un procedimiento objetivo y coherente para la rehabilitación de las canteras abandonadas de materiales para la construcción mediante la confección de planes de manejo. El procedimiento puede ser aplicado en otras regiones del país.

### ABSTRACT

The persistence in time of areas degraded by the exploitation of materials for the construction constitutes one of the fundamental pillars of its incompatibility with the environment. The rehabilitation of these spaces is a topic weakly treated in the bibliography, so much at international level as national. This study is concentrated fundamentally on the metallic locations. The structure and geologic constitution of the province of Matanzas has favored the existence of numerous quarries of materials for construction, more than 75 % of them are currently abandoned. This situation determined the selection of the area for the investigation, in which a database that reflects the characteristics of each space was obtained, starting from the identification and validation of 16 variables, and its evaluation *in situ* in 250 quarries.

The application of the cluster (method of Ward) analysis to the data, clearly contributed to the grouping of the quarries in four handling groups differentiated for its physical characteristics and levels of environmental danger. To each one of these groups, according to the complexity that would mean their reuse or minimization of the risk that imply, were assigned possible variants of use, as well as proposals of objectives and programs for the handling, which was the base to elaborate an objective and coherent procedure for the rehabilitation of the abandoned quarries of materials for the construction with the making of handling plans. This procedure can be applied in other regions of the country.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las infraestructuras sociales requiere de grandes cantidades de materiales de origen geológico. Sobre cada hectárea urbana puede haber miles de metros cúbicos de ladrillos, bloques, cemento, y piedra.

Cuando alguien se acerca a una gran ciudad, antes de ver las edificaciones o el trazado urbano, se percata de su proximidad por la profusión de tajos y cicatrices que dislocan el paisaje, en los pies de montes, en las laderas de los cerros, cerca de los cursos de los ríos. Por todas partes, donde los materiales son adecuados, se han excavado extensas áreas y removido importantes volúmenes de suelos y rocas para la construcción y el aprovechamiento industrial (Fernández, 2004).

Como consecuencia de este tipo de intervención se generan impactos negativos al medio, en ocasiones irreversibles, que llegan a provocar daños ambientales. Una vez que los tajos y canteras dejan de ser utilizados para la minería, suelen permanecer como oquedades baldías que, a menudo, se usan sin licencia como rellenos "sanitarios" o simples basureros, asentamientos de pobladores marginales, cuerpos receptores de residuales líquidos, entre otros usos, que incrementan los efectos negativos.

La persistencia en el tiempo de estos espacios degradados constituye un pilar de su incompatibilidad con el entorno (Vick, 2011). Las minas y canteras explotadas por los romanos y vikingos en Italia y Escandinavia, respectivamente, continúan sin rehabilitación hasta hoy en día.

La inexistencia de normas precisas que regulen el cierre de minas en muchos países y el no reconocimiento de la minería no metálica como fuente generadora de problemas ambientales, debido a la prioridad de los yacimientos metálicos, son elementos que caracterizan el panorama de la rehabilitación minera en el mundo.

En Cuba, como respuesta a esta problemática y con el propósito de minimizar la degradación ambiental, el 23 de enero de 1995 la Asamblea Nacional del Poder Popular aprobó la Ley No. 76, Ley de Minas de la República de Cuba, en armonía con la realidad socioeconómica del país. Dicha ley se implementó en aras de lograr la elevación del conocimiento geológico y la explotación más eficiente y racional de sus recursos minerales, garantizar la protección del medio ambiente, así como reducir el impacto ambiental relacionado con el uso del terreno. Sin embargo, la puesta en vigor de esta ley no ha resuelto la problemática relacionada con la rehabilitación y no ha impedido que los problemas ambientales generados en las canteras de materiales para la construcción sean mínimos.

Durante los años 2005 y 2007, el autor principal de este trabajo desarrolló investigaciones en la provincia de Matanzas, las que le permitieron identificar numerosas canteras abandonadas de materiales para la construcción, que ocasionan diversos problemas ambientales (Fuentes, 2007). Esto, unido a los elementos aportados por la revisión bibliográfica sobre la rehabilitación minera en otras regiones del mundo, condujo

al diseño de la presente investigación, la cual pantea como meta general la elaboración de un procedimiento objetivo y coherente para la rehabilitación de las canteras de materiales para la construcción mediante la confección de planes de manejo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación y propuesta de variables para la caracterización de las canteras

La identificación de variables es una exigencia para la caracterización de las canteras abandonadas de materiales para la construcción.

El procesamiento de la información obtenida a partir de aplicación del método brainstorming (tormenta de ideas) entre los especialistas permitió identificar 19 variables para caracterizar las canteras abandonadas de materiales para la construcción. De estas, ocho estuvieron referidas a sus características físicas, siete a las relaciones que se establecen entre la cantera y el entorno, y cuatro vinculadas a la explotación.

Una vez elaborado el listado de variables, se realizó una consulta a expertos aplicando el método Delphi, dirigido a validar la propuesta, de acuerdo a sus conocimientos, experiencias, investigaciones y estudios bibliográficos. Los cálculos y valores de referencia para los intervalos de clasificación de los coeficientes en la aplicación del método se realizaron a través de las recomendaciones ofrecidas por Legrá y Silva (2012). Fue aceptado un nivel de concordancia (Cc) mayor o igual a 85 %, que permitió la selección de las variables finales (Tabla I).

Tabla I. Variables finales para la caracterización de las canteras.

Grupo	Variable
Referidas a características físicas	1- Formación geológica
	2- Composición litológica del fondo
	3- Material extraído
	4- Tipo de cantera
	5- Profundidad
	6- Amplitud
	7- Disposición
Referidas a la relación entre la cantera y el entorno	8- Afloramiento del nivel de las aguas subterráneas
	9- Erosión
	10- Tipo de vegetación predominante.
	11- Regeneración vegetal
	12- Efecto estético - paisajístico
	13- Existencia de fuentes de abasto aguas abajo
	14- Valor patrimonial
Vinculadas a la explotación	15- Existencia de reservas de materiales para la construcción
	16- Uso actual

**Conceptualización y operacionalización de las variables seleccionadas**

Una vez identificadas las variables, se procedió a su conceptualización y operacionalización.

**VARIABLES REFERIDAS A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CANTERAS**

- Formación geológica  
Variable cualitativa que designa la formación rocosa sobre la cual fue excavada la cantera. La información se refiere al Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000 elaborado por la Academia de Ciencias de Cuba (Colectivo de autores, 1988).
- Composición litológica del fondo  
Variable cualitativa que identifica el tipo de roca existente en el piso de la cantera. Según Lomtadze (1983), se clasifican en dependencia del grado de permeabilidad y atendiendo al tipo litológico (Tabla II).

Tabla II. Clasificación de las rocas según su permeabilidad (Tomado de Lomtadze, 1983).

Tipo de rocas	Coefficiente de filtración (m/día)	Clasificación
Rocas no carsificadas y no agrietadas	Menos de 0,01 hasta 0,1	Impermeables
Rocas semipermeables al agua, débilmente carsificadas y/o agrietadas	0,1 hasta 10,0	Permeables
Rocas permeables, fuertemente carsificadas y/o agrietadas	Más de 10,0	Muy permeables

- Material extraído  
Material (industrial o no metálico) explotado en la cantera antes de ser abandonada.
- Tipo de cantera  
Cantidad de oquedades que componen el área de explotación. Es posible identificar dos tipos:
  - o Aislada: una sola oquedad.
  - o Grupo: dos o más oquedades.
- Profundidad  
Distancia en la vertical, expresada en metros (m), medida desde el punto más bajo del piso de la cantera hasta el nivel de la superficie natural. De acuerdo a la experiencia del autor sobre el área experimental, puede ser evaluada mediante la siguiente escala de valores:
  - o Muy profunda: más de 10 m
  - o Medianamente profunda: de 5 a 10 m
  - o Poco profunda: menos de 5 m.

- Amplitud  
Es toda el área ocupada por la cantera. Se evalúa teniendo en cuenta la siguiente escala de valores, que responde a la experiencia del autor sobre el área experimental:
  - o Grande: mayor o igual a 6 400 m<sup>2</sup>.
  - o Mediana: de 6,400 a 2 500 m<sup>2</sup>.
  - o Pequeña: menor de 2 500 m<sup>2</sup>.
 Para la definición de este indicador se puede utilizar como apoyo el mapa cartográfico de Cuba a escala 1:50 000 (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1987) o imágenes satelitales.
- Disposición  
Es la dirección en que fueron ejecutadas las excavaciones durante la explotación de las canteras, en dependencia de las características geomorfológicas del yacimiento. Se basa en la clasificación de Plá (2002) para las canteras. Solo se utilizaron aquellos tipos presentes en la zona de estudio y se modificó el término canteras en laderas, por el de pie de talud, por ser este último de mayor manejo y arraigo en el área experimental. Se clasifican en:
  - o Fosos: abiertos en zonas llanas, con sentido de la excavación hacia la profundidad.
  - o Pie de talud: la extracción comenzó por los niveles inferiores, con aumento de la altura y el número de bancos del frente de explotación. En ciertos casos puede comenzar por los bancos superiores y profundizándose en la vertical.

**VARIABLES REFERIDAS A LAS RELACIONES DE LA CANTERA CON EL ENTORNO**

- Afloramiento del nivel de las aguas subterráneas  
Afloramiento o no de agua subterránea en el fondo de la cantera, en toda o parte de la misma. La información se obtiene por reconocimiento directo. Se clasifican en:
  - o Toda el área de la cantera (100 %)
  - o Más de la mitad de la cantera (50 – 99 %)
  - o Partes aisladas de la cantera (menos del 50 %)
  - o No se observan afloramientos
- Erosión  
Evidencias de procesos erosivos como el arrastre del material suelto por las aguas superficiales o el desplome de bloques desde las laderas. Se definen como:
  - o Derrumbes, desprendimientos o deslizamientos de tierra.
  - o Material suelto por arrastre de las aguas de escorrentía.
- Tipo de vegetación predominante  
Describe el tipo de vegetación presente en el área de la cantera, según la clasificación propuesta por Capote (1984). Puede no existir vegetación.

- Regeneración vegetal

Hace referencia al espacio cubierto por la vegetación, expresado en porcentaje del área total. Se basó en la propuesta de Herrero (2005) para la reforestación de préstamos, canteras y áreas minadas. Se adecuó a criterios que permitan evaluar el proceso regenerativo de la vegetación de forma natural. La presencia o ausencia de vegetación se considera un elemento condicionante de problemas ambientales. Se expresa mediante la fórmula:

$$SRN (\%) = \frac{SRN}{STA} * 100 \quad (1)$$

Donde:

STA – Superficie Total Afectada (hm<sup>2</sup>)

SRN – Superficie de Regeneración Natural (hm<sup>2</sup>)

La valoración se realiza en la cantera a partir de los resultados obtenidos con la fórmula, mediante los criterios siguientes:

SRN = 100 %: Totalmente regenerada.

SRN entre 80 a 99 %: Medianamente regenerada.

SRN entre 69 a 79 %: Poco regenerada.

SRN menos del 69 %: No regenerada.

- Efecto estético – paisajístico

Grado de contraste que impone la cantera dentro del contexto paisajístico. Es un criterio subjetivo, que depende de la opinión y percepción de quien evalúa. El análisis debe partir de la ubicación de la cantera dentro del contexto natural, sobre todo del paisaje y su entorno como elemento funcional (recreativo, contemplativo, habitacional). Debe considerarse su posición respecto a zonas turísticas, ciudades u otro tipo de asentamiento poblacional, Áreas Protegidas, carreteras nacionales o de acceso a lugares de interés turístico y miradores naturales.

La valoración que se realice, debe ser argumentada considerando la opinión ciudadana. Se enfoca en la intensidad del impacto estético a partir de la escala siguiente:

- o Fuerte: cuando la presencia de la cantera rompe la continuidad natural de los componentes visibles y genera una imagen contraria a la esperada por los visitantes y turistas. Por ejemplo, cuando se ubica en las proximidades de un área protegida, o cuando se encuentra dentro o muy próxima al perímetro urbano de algún asentamiento poblacional.
- o Media: cuando es menos apreciable desde las vías de acceso a lugares turísticos, ciudades, carreteras nacionales y accesos a instalaciones de interés histórico, sitios arqueológicos, aeropuertos internacionales, entre otras.
- o Baja: cuando están ausentes las características anteriores. Se refiere a canteras situadas en zonas alejadas de lugares muy visitados, que para llegar a ellas se utilizan vías de comunicación no

convencionales (terraplenes, caminos vecinales), lejos de la vista y de accesos principales o en zonas que se encuentran enmascaradas por la vegetación.

- Existencia de fuentes de abasto aguas abajo

Existencia o ausencia de tomas de abasto de agua potable. Se debe valorar la distancia entre la cantera y la toma, sobre la base de las condiciones del flujo subterráneo y de la consulta a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado del territorio.

- Valor patrimonial

Presencia o ausencia de elementos geológicos y mineros con valor patrimonial, como tipos de formaciones geológicas, yacimientos fosilíferos u otros.

**Variables referidas a la explotación de la cantera**

- Existencia de reservas de materiales para la construcción

A partir de la observación directa, se constata la existencia o no de reservas de algún mineral industrial.

- Uso actual

Uso de la oquedad en el momento de la evaluación.

Sobre la base de las variables seleccionadas, se diseñó una planilla para el censo y caracterización de las canteras.

**Identificación de canteras de materiales para la construcción**

Para efectuar la identificación de las canteras de materiales para la construcción, se realizó una revisión de los antecedentes de explotaciones mineras realizadas en el área de investigación y se solicitó información a aquellos organismos que, para el cumplimiento de su objeto social, necesitan de la explotación de materiales de la construcción. De esta manera, se procedió con el Ministerio de la Construcción (MICONS), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), el extinto Ministerio del Azúcar (MINAZ) y el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), a los cuales se les solicitó la información referente a la apertura de canteras en el territorio.

Dada la antigüedad de los datos recopilados y por lo dinámico que resulta el proceso de extracción de materiales para la construcción, se consideró conveniente actualizar la información obtenida, así como revelar la existencia de otras canteras explotadas y no registradas. Para esto, se efectuó la fotointerpretación del área investigada a partir del uso de imágenes satelitales y con el uso del contraste que aportan las tonalidades claras de las canteras de materiales para la construcción sobre los colores oscuros de los suelos y la vegetación (Figura 1).

Para el análisis se utilizó con éxito el software GvSIG (GEOCUBA, 2011), que procesa las imágenes del sitio <http://maps.google.com>.



Figura 1. Imagen satelital de canteras de materiales para la construcción (tomado de <http://maps.google.com>).

### Observaciones y mediciones de campo

Dentro de este aspecto se encuentran las actividades de verificación de la existencia de canteras y su *status*, además de la medición *in situ* de las variables a partir de su evaluación directa en la planilla diseñada. Incluye también la toma de fotos en cada cantera, que avalan la caracterización realizada.

Para efectuar las visitas a las canteras, fueron planificados recorridos en los que pudieran ser vistas la mayor cantidad de canteras por itinerarios. Cada cantera fue ubicada mediante un GPS de la serie LEICA (SR 20) y apoyados en las hojas del mapa topográfico de la provincia de Matanzas a escala 1: 50 000 (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1987).

### Digitalización de datos y construcción de la matriz de información

La digitalización de las bases de datos primarias fue concebida a partir de la unificación de toda la información resultante de las observaciones y mediciones de campo.

A cada cantera le fue asignado un número consecutivo. La carpeta digital correspondiente a cada una está integrada por la planilla en formato *Word* y una galería de imágenes. Luego, en un fichero de *Excel*, que contiene una cantidad de hojas de cálculo equivalentes al número de canteras a procesar, se registran las características de las variables de cada una de ellas de forma binaria (uno si la posee y cero en caso contrario). Esto hace que una variable con  $k$  niveles, al hacerla binaria, tendrá  $k$  nuevas variables de presencia - ausencia. También en formato de *Excel* fue diseñada una tabla en forma de matriz, la cual recoge de forma automatizada los datos de las hojas

antes descritas mediante la asignación de las canteras a las filas y las características de la evaluación de las variables a las columnas (incluye todas las características posibles para el universo observado de las variables, evaluadas según el sistema binario), mediante el establecimiento de vínculos activos entre las planillas de las diferentes canteras y la matriz de información.

Todo esto garantizó una actualización consecutiva y simultánea de ambas bases de datos y una mayor homogeneidad de los mismos, facilitó los métodos de agrupamiento y permitió realizar la evaluación de todas las canteras en un documento único.

### Procesamiento estadístico multivariado

Para el procesamiento de los datos fueron utilizados métodos estadísticos multivariados (análisis de *cluster* o taxonomía numérica) (Miranda, 1997), que se fundamentan en el cálculo de una matriz de semejanza entre los individuos (Everitt, 1980). Este tipo de métodos estadísticos es utilizado para establecer grupos de individuos, en los que se unifica dentro de un mismo grupo a aquellos elementos que tengan características similares. Su función fundamental es la de clasificar y calificar los objetos y a la vez transformar esta información en un objeto más simple, de tal manera que se puedan caracterizar los mismos dentro de los grupos como un total, en vez de tratar cada objeto de forma individual. Específicamente, en este caso fue utilizado el método de Ward.

Los datos procesados fueron los referidos a las variables, registrados en la matriz de información binaria para las canteras abandonadas. Para realizar el procesamiento, se utilizó el software SPSS 15.0. El método ofrece como salida un dendrograma.

Una vez obtenido el dendrograma correspondiente, y sobre la base de que una buena solución *cluster* es aquella que considera un salto repentino (hueco) en el coeficiente de distancia, la distancia euclidiana que se elija debe cumplir con la condición de que las canteras se agrupen en una cantidad de grupos suficientes (4 a 6) y que cada uno de estos sea el reflejo de las similitudes que existen entre las características de las variables más distintivas.

### Validación de los resultados y asignación de categorías de manejo

Para corroborar la validez del método empleado, Figueras (2011) refiere que es necesario poseer suficientes conocimientos sobre la temática analizada, de forma tal que sea posible realizar una verificación que compruebe si las características de los grupos formados son representativas de la mayor parte de los objetos que lo conforman.

Para la presente investigación, se realizó la comprobación y validación de los resultados según el proceder descrito por dicho autor. Se procedió entonces a determinar las características que distinguen a cada grupo con este orden:

- Tamaño de la cantera
- Profundidad

- Aislada o en grupo
- Disposición (en fosos o pie de talud)
- Permeabilidad del fondo
- Presencia de aguas subterráneas
- Fenómenos erosivos y de qué tipo
- Efecto estético paisajístico

Una vez descritos los grupos, fueron ordenados de menor a mayor de acuerdo a la complejidad para su manejo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de las variables

La provincia de Matanzas posee un marcado desarrollo de la actividad de explotación de canteras para la extracción de materiales para la construcción, entre los que se encuentran la arcilla, materiales rocosos, cantos, serpentinitas, caliza para áridos, arena de sabana, material de mejoramiento, entre otros.

A partir de los trabajos realizados, pudieron ser identificadas en el territorio 377 canteras de materiales para la construcción, de las cuales 250 (66,3 %) se encuentran abandonadas y constituyeron el objeto de esta investigación. Las cifras expresan que por cada cantera que se explota existen dos abandonadas, sin que se hayan realizado en ellas acciones de rehabilitación. A partir de la evaluación *in situ* de las variables en cada cantera fue posible caracterizarlas desde el punto de vista de sus caracteres físicos, de su relación con el entorno y de su explotación.

### Características físicas de las canteras evaluadas

La provincia de Matanzas está representada en superficie por rocas del llamado Neoaútóctono cubano, que se formaron en el mismo lugar donde hoy se encuentran, solo que bajo condiciones y ambiente de sedimentación predominantemente marino, lo cual condiciona muchas de sus características (Iturralde - Vinent, 2007). Por esto, los yacimientos del grupo de minerales no metálicos tienen especial relación con las formaciones geológicas en las que se desarrollan.

#### Formaciones geológicas

La Formación Güines es la más representada en la provincia y en la que más canteras se han explotado (32 %). De ella se extrae mayoritariamente material rocoso, pero también caliza en bloques para relleno, arcillas de su cobertura, cantos, caliza para la elaboración de áridos y otros.

La segunda formación más explotada es la Formación Canimar (16 % del total), de la cual se extrae rocoso como material fundamental, además de caliza en bloques para relleno, cantos, arcilla, caliza para la elaboración de áridos y material de mejoramiento. A continuación se ubica la Formación Colón, en la cual han sido abiertas un total de 37 canteras (15 %), de las que se extrae fundamentalmente rocoso y cantos.

Son explotadas además, en este orden de importancia, canteras en las rocas del Complejo Ultramáfico (serpentinitas y hazburgitas) y en las formaciones Güines + Cojimar, Caobas, Villa

Roja, Cojimar, Jaimanitas, Nazareno, Guevara, Peñón, Tinguaro, Universidad, Veloz, Bellamar, Chirino, Santa Fe, Vedado, Perla, Vía Blanca, Arabos y Santa Teresa.

#### Material explotado

Los materiales para la construcción más explotados en Matanzas son el rocoso (122 canteras) y el canto (36 canteras) (Figura 2).

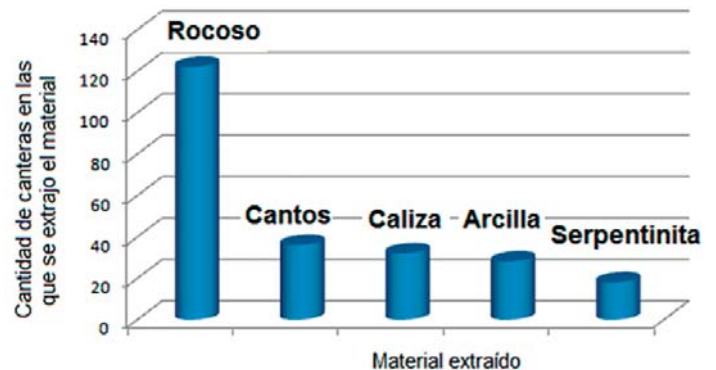


Figura 2. Materiales de mayor extracción en la provincia de Matanzas.

Lo anterior se refleja totalmente en la sociedad matancera, donde el rocoso es el material por excelencia utilizado en la conformación de caminos, basamento de carreteras, plataformas para la construcción de viviendas y edificios. El canto es también el bloque de mayor uso en la provincia de Matanzas.

#### Permeabilidad del fondo

Del total de canteras estudiadas, la mayor cantidad corresponde a canteras cuyos fondos están constituidos por materiales impermeables (142, 57 % del total), seguido de canteras con fondos catalogados como permeables (76, 30 % del total) y canteras con fondos evaluados como muy permeables (32, 13 % del total).

#### Profundidad

Más de la mitad de las canteras existentes en Matanzas tienen una profundidad menor o igual a cinco metros (127, 51 % del total) y clasifican como poco profundas. Les siguen, en orden de prevalencia, las que poseen profundidades entre los cinco y diez metros (73, 29 % del total), que clasifican como canteras medianamente profundas, y 50 canteras que fueron evaluadas como muy profundas. Además, de las 250 canteras abandonadas estudiadas, 213 están dispuestas de forma aislada y 37 forman parte de un grupo. Excavadas en forma de fosos existen 229 canteras, distribuidas por todo el territorio matancero.

#### Relación entre la cantera y el entorno

A partir de la evaluación de las variables que describen la relación entre la cantera y el entorno, se refieren a continuación las características de las canteras abandonadas de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas.

### Afloramiento de las aguas subterráneas

En el 18 % de las canteras estudiadas (44) aflora el agua subterránea, o sea, sus niveles de fondo han sido llevados más allá de los límites y regulaciones permisibles y constituyen vías abiertas que conectan la superficie con las aguas subterráneas. Esto se debe a que sus límites de explotación respondían únicamente a factores tales como la dureza de la roca, las posibilidades tecnológicas de explotación y la demanda del material, entre otros. En ningún caso el proceso respondió a un proyecto basado en los factores geológicos y medioambientales.

Existen pozos que son utilizados como fuente de abasto de poblaciones en las inmediaciones y aguas abajo en la dirección del flujo en ocho de las canteras en las que aflora el agua subterránea:

- Cantera 3 "Renato Guitart", municipio Cárdenas.
- Cantera 172 "Bloquera 1", municipio Colón.
- Cantera 173 "Bloquera 2", municipio Colón.
- Cantera 174 "Bloquera 3", municipio Colón.
- Cantera 184 "La Rosita", municipio Jovellanos.
- Cantera 214 "Viradero", municipio Ciénaga de Zapata.
- Cantera 219 "La Criolla", municipio Ciénaga de Zapata.
- Cantera 225 "La América", municipio Jagüey Grande.

Estas canteras representan un peligro potencial para las aguas subterráneas y las poblaciones que de ellas se abastecen, ya que resultan una vía expedita de comunicación entre la superficie y este recurso natural. Un simple descuido incidental pudiera ocasionar una contaminación irreversible en las aguas subterráneas.

### Valor patrimonial

Al excavar las formaciones geológicas con el propósito de extraer de ellas los recursos minerales, a menudo se ponen al descubierto rocas con características peculiares que las hacen representativas de una determinada formación. Otras excavaciones han sido fuentes de verdaderos yacimientos fosilíferos. Estos hechos guardan tras de sí el patrimonio geólogo minero del país que, junto a minas y canteras de antigua explotación, constituyen sitios de interés histórico y valor patrimonial asociados a la geología y a la minería (Gutiérrez, 2007).

Fueron identificadas tres canteras las cuales poseen valor patrimonial, desde el punto de vista geológico:

- Cantera 172 (Bloquera 1)

En una de las paredes de esta cantera existe un corte geológico, en el cual fue descrito el Lectoestratotipo de la Formación Colón (Franco y Pszczólkowsky, 1981, citados en Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, 2002). Este sitio posee la categoría de Geositio (Gutiérrez, 2011), para el que se ha propuesto la realización de acciones por parte de las autoridades municipales, en aras de rescatar la sección representativa de la cantera e impedir el vertimiento indiscriminado de basura.

- Cantera 114 (Minas Margot)

Fue una de las primeras minas explotadas en Cuba. Data de la época de la colonia y se comenzó a explotar como mineral de cobre. Está asociada a yacimientos hidrotermales y relacionada con fallas profundas, razón por la que al llegar a determinada profundidad se inundó y fue abandonada su explotación. Con posterioridad se reinició su utilización hacia los laterales, pero esta vez como material de mejoramiento para caminos, hasta que nuevamente fue abandonada en la década de 1990. Este sitio también posee la categoría de Geositio (Gutiérrez, 2011) y se ha propuesto para ser utilizado en el turismo especializado.

- Cantera 150 (Cueva Quintana)

Llamada así porque durante el proceso de explotación de la misma fue descubierta una cavidad cársica inundada por aguas subterráneas parcialmente salinas, hecho que obligó a abandonar su utilización. Sin embargo, puso al descubierto una maravilla de la naturaleza geológica del territorio matancero, la cual es utilizada como área de esparcimiento por visitantes de las poblaciones vecinas (Figura 3).



Figura 3. Vista de la cantera Cueva Quintana.

Del análisis de las variables vinculadas a la relación cantera-entorno fueron identificados los principales problemas ambientales generados por las canteras abandonadas de materiales para la construcción. Entre estos se incluyen:

- La aparición de agua subterránea en el fondo de canteras abandonadas, que constituyen una vía directa de contaminación de este recurso.
- El deterioro paisajístico, a partir de lo agresivo que resulta el contraste de los colores claros de las canteras de cantos (caliza margosa), calizas y otros, con el verde del paisaje.
- El peligro de desprendimientos de bloques y partes de las paredes de las canteras.
- Los cambios en las pautas del comportamiento de la fauna.
- El incremento de las áreas afectadas por los efectos de la erosión.
- El peligro de caída hacia las oquedades de personas y animales.

## Existencia de reservas y uso actual de las canteras

### Existencia de reservas

De las 250 canteras abandonadas de materiales para la construcción que existen en Matanzas, 82 aun poseen reservas de determinado tipo de material, que no necesariamente coincide con el objetivo original de explotación de la cantera. Esto constituye una fortaleza, aunque parezca contradictorio, ya que estas canteras pueden tener una segunda vida de explotación y serles asignado un nuevo concesionario que tendría a su cargo la rehabilitación de la misma.

Un listado de estas canteras con el plano de ubicación incluido a escala 1: 250 000 fue entregado a la Dirección Provincial de Planificación Física en la provincia de Matanzas al final de la investigación.

### Uso actual de las canteras

Durante la ejecución de este trabajo fueron identificadas 45 canteras a las cuales se les habían dado los siguientes usos:

- Utilizado por las FAR: en este caso referido fundamentalmente a la construcción de túneles y campos de tiro.
- Depósito de basura, de forma fortuita y sin supervisión: es el segundo uso más frecuente en estos espacios en la provincia de Matanzas (17 canteras).
- Como laguna de oxidación para la deposición de residuos albañales de poblaciones, prisiones, centros de cría porcina y otros de características similares: este uso se lleva a cabo en siete canteras abandonadas.
- Cría intensiva de peces: este uso sólo lo posee una cantera en Matanzas.
- Cultivo de piña
- Siembra de toronja
- Siembra de caña
- Potrero

Estos cuatro últimos usos se corresponden con canteras abiertas fundamentalmente para explotar pequeños espesores de material útil y, luego de algunos años de autorecuperación de la capa de suelo, se han utilizado los mismos con simples acciones de drenaje de las áreas.

Otros usos de las canteras abandonadas son:

- Vertedero oficial de residuos sólidos de poblados y ciudades: en este caso particular se encuentran sólo dos oquedades, que constituyen vertederos oficiales de una ciudad y de un poblado. No se conoce de la existencia de estudios previos al uso, ni de medidas preventivas de impermeabilización.
- Piscinas para el almacenamiento de residuos de petróleo: dos canteras abandonadas se utilizan con esta finalidad.
- Construcción de viviendas: este uso representa un caso aislado, en el que un grupo de pobladores ilegales utilizó parte de una cantera abandonada para levantar en ella sus viviendas, con el mínimo de condiciones y muy baja calidad de vida para sus habitantes.

- Depósito de arcilla de destape
- Vivero forestal
- Lugar de esparcimiento del CITMA

Los tres últimos casos resultan únicos en sus usos y son de los que menos problemas ambientales generan. El caso de la construcción de un vivero forestal representa uno de los más hermosos y eficaces usos detectados. Las paredes de la cantera protegen de los fuertes vientos a las posturas de árboles que allí se cultivan y la forma de la oquedad fue modificada en una parte del área para permitir el correcto drenaje (Figura 4).



Figura 4. Cantera abandonada utilizada como vivero forestal.

Los usos dados a las canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas tienen en común el hecho de que en ninguno de los casos se ha cumplido la legislación vigente: no poseen estudio ni evaluación de impacto ambiental ni existen evidencias de solicitud de Licencias Ambientales, lo que ha provocado que a partir del nuevo uso los problemas ambientales se hayan exacerbado.

## Bases de datos digitalizadas y matriz de información

A partir de las bases de datos primarias de cada cantera en hojas de cálculo de *Excel*, se generó una tabla en el mismo sistema, con filas correspondientes a la información básica referida a las 250 canteras abandonadas en la provincia de Matanzas y 87 columnas que incluyen el número asignado a la cantera, su nombre y sus coordenadas, la formación geológica a la que pertenecen, el resto de las variables operacionalizadas con información binaria (82) y una última columna de observaciones finales. Esta tabla devino en la matriz de información, a partir de la cual se puede acceder a toda la información disponible sobre cada cantera estudiada desde un único documento. Además, en su concepción se asignaron rangos de colores para los diferentes atributos, con una combinación de diversas tonalidades de un mismo color para una misma variable; la más oscura corresponde a la que está presente en esa cantera, lo que facilita su rápida interpretación.



### **Catastro de canteras abandonadas**

Con la información referida en la matriz y a partir del uso de las herramientas disponibles en el software AutoCad, se confeccionó un mapa a escala 1:250 000 de la provincia de Matanzas, que posee la ubicación de las canteras, georeferenciadas y con una simbología que depende de los 16 posibles tipos de material extraído. Este mapa representa el catastro de canteras abandonadas en la provincia de Matanzas a escala 1:250 000.

Al estar georeferenciadas, resulta sencillo exportar la ubicación de las canteras hacia otros mapas en formato digital, con la finalidad de realizar interpretaciones referidas a la temática del mapa en cuestión.

De la misma forma, la conformación de los datos primarios permitió su representación en un Sistema de Información Geográfico, preparado con el software ArcGIS v. 9.2 y la base de datos enlazada a este, con las características descritas para las variables en cada cantera. El sistema utiliza como base y pantalla principal el propio catastro y permite realizar consultas sobre las características de las canteras estudiadas con solo clicar sobre el número correspondiente.

### **Grupos de manejo de canteras abandonadas de materiales para la construcción**

Previo al proceder para la obtención de los grupos de manejo, fue necesario discriminar, de los 250 casos estudiados, los que no debían ser procesados debido a la existencia de criterios que los invalidaban. Debido a esto, no fueron procesadas:

- 82 canteras, por poseer reservas de material útil explotable
- 45 canteras, por estar en uso actualmente
- 48 canteras, cuya vegetación se ha regenerado totalmente de forma natural o provocada

Mediante este proceso se redujo a 96 el número de canteras a procesar.

### **Resultados del análisis multivariado**

La aplicación del análisis de cluster (método de Ward) a la matriz de información binaria de las 96 canteras que quedaron después de la discriminación, partió del establecimiento de la distancia euclidiana más favorable para la generación de un número racional de grupos que incluyeran en cada uno canteras con un significado distintivo de sus características. En este caso, resultó favorable adoptar una distancia euclidiana de 10. El dendrograma resultante visualizó la existencia de 4 grupos con saltos repentinos en las distancias, lo que los hace diferentes en cuanto a sus características fundamentales y válidos para su análisis.

Luego de obtenidos los grupos, se comprobó la validez del método a partir del análisis de las características de los miembros que conforman cada uno y la verificación de si realmente la mayor cantidad de los elementos poseen características similares que los distinguen de otros. Adicionalmente, se realizó una representación gráfica de los grupos obtenidos y las diferencias existentes entre ellos, en la que se muestra la composición de

cada grupo por amplitud, afloramiento del nivel de las aguas subterráneas y efecto estético paisajístico.

La mayor parte de las canteras pequeñas pertenecen al Grupo I, mientras que la mayoría de las que poseen un fuerte efecto estético paisajístico se encuentran en el Grupo IV. Por otro lado, el mayor porcentaje de canteras con afloramiento del nivel de las aguas subterráneas en sus fondos se concentra en el Grupo III.

Todos estos resultados corroboran la validez del método.

### **Obtención de los grupos de manejo**

Fueron identificados y caracterizados cuatro grupos de canteras abandonadas de materiales para la construcción, los cuales, a partir del análisis de sus características, fueron reunidos en cuatro grupos, en dependencia de la mayor o menor complejidad para el manejo:

#### *Grupo I*

Es el mayor de los cuatro grupos de manejo. Está compuesto por 32 canteras que presentan las siguientes características distintivas:

- Mayormente pequeñas, poco profundas
- Aisladas, dispuestas en fosos
- Fondo principalmente impermeable
- No se observan afloramientos de aguas subterráneas.
- Existen evidencias de erosión relacionadas con el arrastre de material suelto.
- La regeneración vegetal es mediana a ninguna y el efecto estético paisajístico es bajo.

#### *Grupo II*

Es el más pequeño en cuanto a cantidad de canteras que lo conforman. Se compone solamente por 15 oquedades, las cuales se distinguen por:

- Amplitud grande a mediana, de profundidad media
- Fondo impermeable
- No se observan afloramientos de aguas subterráneas.
- Las evidencias de erosión están relacionadas con el arrastre de material suelto.
- La regeneración vegetal es de poca a media y el efecto estético paisajístico es medio.

#### *Grupo III*

Está conformado por 20 canteras y es el tercero en cuanto a cantidad. Las características distintivas de estas canteras son:

- Mayoritariamente medianas, muy profundas
- Aisladas, dispuestas en fosos
- Es frecuente encontrar afloramientos de aguas subterráneas en su fondo.
- Existen evidencias de erosión que están más relacionadas con el arrastre de material suelto. Sin embargo, existe un 36% de las canteras en las que se evidencian desprendimientos de bloques y de taludes.

- No existe regeneración natural de la vegetación y el efecto estético paisajístico es bajo.

**Grupo IV**

Es el segundo grupo en cuanto a cantidad de canteras, con 29. Sus miembros se distinguen por presentar las siguientes características:

- Tamaño grande, muy profundas
- Aisladas y en fosos
- Fondos mayoritariamente permeables, aunque no se observan afloramientos de las aguas subterráneas.
- Las evidencias de erosión están relacionadas con el arrastre de material suelto.
- La regeneración natural de la vegetación es mediana a poca y el efecto estético paisajístico es de medio a fuerte.

El resultado de la aplicación práctica del proceder descrito en el área experimental (provincia de Matanzas) constituye la base en la que se sustenta el procedimiento para la elaboración de planes de manejo de canteras de materiales para la construcción.

**Procedimiento para la rehabilitación de canteras abandonadas de materiales para la construcción**

El manejo de un área protegida, de una zona costera o de un elemento natural es un tema recurrente en la bibliografía actual. Sin embargo, manejar un área degradada por la minería con el propósito de que el terreno alterado vuelva a ser útil para un determinado uso, sin que este implique perjuicios adicionales al medio ambiente y contribuya a minimizar los problemas ambientales causados por la minería, resulta un hecho novedoso como solución generalizadora.

Este procedimiento fue concebido para dar respuesta a los diversos casos que se puedan presentar en el proceso de rehabilitación de áreas degradadas por la actividad de explotación de materiales para la construcción, lo que se logró a partir de la identificación de los grupos de manejo y de recomendar posibles usos capaces de modelar, a través de programas, los procesos futuros que mitiguen dichos problemas.

La elaboración del procedimiento se basó en la experiencia acumulada por el autor principal de este estudio durante años en el trabajo de recomendación del uso de materiales de construcción para obras hidráulicas y su preocupación por los problemas ambientales que se generan en estos espacios, al no realizarse los trabajos de rehabilitación una

vez finalizada la explotación. Además, se utilizó el apoyo de la revisión, compilación y análisis de los valiosos aportes realizados por otros autores sobre la temática.

La estructura del procedimiento se diseñó en cinco capítulos, de manera que resultara sencilla y de fácil aplicación, y que fuera posible iniciar el análisis de la problemática de la rehabilitación de una cantera, desde los aspectos más generales hasta particularizar en los problemas ambientales específicos que genera, así como la identificación del marco legal vigente y que se aplica en cada caso (Figura 5).

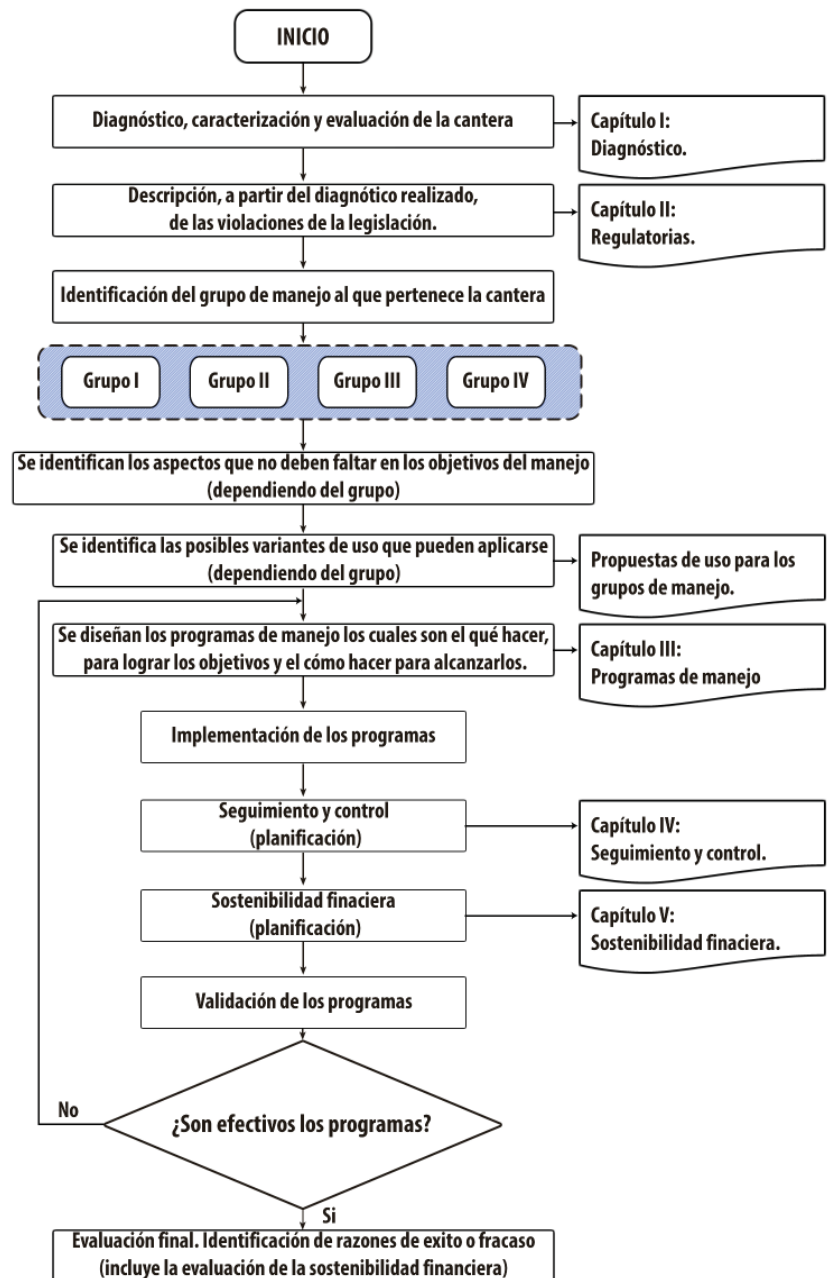


Figura 5. Esquema general de la estructura del procedimiento para la confección de planes de manejo para canteras de materiales para la construcción.

El procedimiento se conforma de cinco capítulos: Diagnóstico, Regulatorias, Programas de Manejo, Seguimiento y Control y Sostenibilidad Financiera, además de la bibliografía consultada y algunos anexos que incluirán listados, tablas, planillas para el diagnóstico y evaluación de la cantera y mapas que ayuden a una mejor comprensión de lo descrito en el procedimiento.

El Capítulo I, Diagnóstico, está dedicado a dos aspectos fundamentales: uno referido a la caracterización del área de ubicación de la cantera abandonada desde el punto de vista geográfico, de su estatus legal actual y de sus elementos naturales y socioeconómicos (*Generalidades*); y otro en el que se identifiquen las problemáticas que este espacio genera sobre el medio ambiente (*Situación Medioambiental*).

El Capítulo II, Regulatorias, se describirá a partir de la realización del diagnóstico de la cantera el estado actual de la misma, desde el punto de vista de las violaciones de la legislación vigente, lo cual podrá ser avalado por la presentación de imágenes. Incluirá la identificación y caracterización del Grupo de Manejo al que pertenece la cantera en cuestión y los objetivos del manejo de la cantera abandonada, que deben estar encaminados a dar solución a los problemas ambientales previamente detectados.

Dentro de los objetivos para cada Grupo de Manejo de canteras abandonadas de materiales para la construcción, no deben faltar los siguientes:

- Grupo I
  - o Restaurar el espacio.
- Grupo II
  - o Señalizar el espacio.
  - o Reforestar el espacio (se deberán tener en cuenta acciones complementarias como la conformación del modelado morfológico, la preparación de camas de suelo orgánico y la selección y uso de especies vegetales, riego, fertilización y abonamiento).
  - o Evaluar potencialidades de uso.
- Grupo III
  - o Señalizar el espacio.
  - o Minimizar o eliminar los procesos de contaminación hídrica.
  - o Minimizar los peligros geológicos.

Tabla III. Ejemplo de tabla de propuestas de uso para canteras abandonadas.

No	PROPUESTAS DE USO	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	GRUPO IV
1	Campo de tiro.	X	X		X
2	Vertedero.	X	X		X
3	Área de parqueos colectivos.		X	X	X
4	Depósito de agua.		X	X	X
5	Discoteca (paredes amortiguan el ruido)		X		X
6	Área de concierto al aire libre.		X	X	X
7	Área de ensayo de bandas musicales.		X	X	X
8	Área para la práctica de tenis, pelota Vasca u otros deportes similares (paredes altas y rectas, evitan el uso de grandes mayas)		X	X	X
9	Área para entrenamiento de escaladas (Rocódromos)			X	X
10	Pista de motocrós.		X	X	X
11	Área de acampada (pioneros exploradores u otros)	X	X		X
12	Cría intensiva de peces.		X	X	X
13	Cría intensiva de aves con fines comerciales (solo maya superior)		X		X
14	Cría de especies protegidas o en peligro de extinción (ejemplo: la Cotorra Cubana)		X	X	X
15	Laguna de oxidación.	X	X		
16	Área de organopónico, u otras variantes de siembra concentrada de la agricultura urbana y sub urbana (incluye el cultivo de flores)	X	X		
17	Viveros forestales (las paredes protegen las posturas de los fuertes vientos)		X		X
18	Área de descanso al aire libre.	X	X	X	X
19	Área de apreciación geológica.	X	X	X	X
20	Área didáctica para el aprendizaje de las técnicas de cantería.	X	X	X	X
21	Construcción de túneles de uso militar.		X		X
22	Sitios incluidos en itinerarios turísticos para apreciar tradición en cantería y formaciones geológicas de Cuba	X	X	X	X

- Grupo IV
  - o Minimizar los procesos erosivos.
  - o Evaluar potencialidades de uso.
  - o Mejorar el estado estético paisajístico.
  - o Señalizar el espacio.

Los objetivos del manejo de la cantera se enfocaran además en función de la posible variante de uso a implementar (Tabla III).

El programa de manejo para una cantera no solo es una guía del qué hacer para lograr los objetivos de manejo, sino también del cómo hacer para alcanzarlos. Cada programa que se diseñe constituirá una herramienta para desarrollar el trabajo de manejar dicha cantera, en función de la variante de uso y la mitigación y/o eliminación de los problemas ambientales a ella asociados.

Los programas de manejo que se presenten como parte del Capítulo III (Programas de manejo) contendrán la relación detallada y el fundamento de las actividades a desarrollar, así como su plazo de ejecución en función de resolver alguno de los problemas detectados. Como mínimo, los programas poseerán la siguiente estructura:

- Nombre del programa
- Fundamentación
- Objetivos
- Actividades
  - o Cronograma
  - o Prioridad de la actividad
  - o Responsable
  - o Participantes
- Resultados esperados
- Materiales y equipos necesarios
- Infraestructura necesaria
- Costos estimados
- Posibles ingresos

Los posibles programas a implementar, lo que no significa que en todos los casos se deben establecer todos, son los siguientes:

- Programa de Administración
- Programa de Señalización
- Programa de Seguridad y Protección
- Programa de Protección Contra Incendios
- Programa de Mitigación de Riesgos Geológicos Naturales o Inducidos
- Programa de Manejo Estético Paisajístico
- Programa de Manejo Forestal
- Programa de Manejo de Especies y Hábitat
- Programa de Orientación Laboral, Educación, Información e Interpretación de Fenómenos Geológicos
- Programa de Recreación y Ecoturismo

- Programa de Monitoreo
- Programa de Relaciones Públicas
- Programa de Inversiones.

Como parte del Capítulo IV, Seguimiento y control, se debe planificar el seguimiento a partir del establecimiento de indicadores que permitan medir el cumplimiento y desempeño de las acciones de los programas. De igual forma, es necesario planificar los indicadores, las acciones de control y su periodicidad, así como el responsable de efectuarlo. Un punto de partida para la selección de los indicadores lo constituyen los propios programas de manejo, sus objetivos y los resultados que de estos se esperan.

Seis meses después de puestos en práctica todos los programas diseñados, se realizará la validación de los mismos y su necesaria corrección en los casos que lo ameriten. Esta validación se efectuará a partir de la evaluación de factibilidad de cada programa y sus acciones. Como resultado, podrán surgir nuevos programas o se modificarán las acciones de los existentes.

La evaluación final del plan medirá y evaluará los impactos de este con relación a sus expectativas iniciales. Un objetivo esencial de la evaluación final del plan sería identificar las razones del éxito o fracaso del mismo, con el fin de tenerlas en cuenta para planes posteriores.

Para el Capítulo V, Sostenibilidad financiera del proyecto de plan de manejo, se realizará una evaluación costo – beneficio del plan de manejo. En muchos casos, esta será difícil, ya que el costo es un resultado numérico en pesos y el beneficio es de carácter cualitativo; no obstante, se procurará ilustrar con la mayor cantidad de argumentos posibles la viabilidad de ejecución del plan.

Luego de la Bibliografía, deben ser presentados los Anexos. Los aspectos cartográficos deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- El mapa de ubicación se realizará a una escala que permita visualizar la ubicación de la cantera en el contexto físico – geográfico, de forma tal que pueda verse el poblado más cercano a la misma, las vías de acceso, el relieve, entre otras características importantes. Se recomienda una escala 1:25 000 o mayor (obligatorio).
- El mapa geológico debe presentarse sobre la base geológica 1:250 000 (Academia de Ciencias de Cuba, 1988). Se realizará una ampliación de la escala de forma tal que pueda visualizarse la ubicación de la cantera dentro del contexto de las formaciones geológicas (obligatorio).
- El mapa topográfico se presentará a escala 1:10 000 o menor. En este caso es válido el apoyo en imágenes satelitales, pues en muchas ocasiones no se cuenta con un mapa que incluya el detalle del relieve de la cantera (obligatorio). Este mapa podrá constituir la base cartográfica sobre la cual se ubiquen los elementos que constituyan medios a desarrollar para el manejo, además sobre él se realizarán las actualizaciones del relieve una vez comenzados a ejecutar los planes de manejo de los diversos programas.

- Podrá utilizarse el mapa de suelos ampliado a escala 1: 25 000 de la II Clasificación Genética de Suelos (Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de la Agricultura de Cuba, 1975). (opcional).
- El mapa de uso y tenencia de la tierra incluirá el área específica de la cantera, pero además las áreas colindantes con la misma. Se presentará a escala 1:25 000 o menor (obligatorio).
- Podrán incluirse el mapa geomorfológico, el mapa de vegetación, un mapa de ubicación de especies y otros que se consideren de importancia para ofrecer información que ayude a la mejor interpretación de los programas y el impacto de las acciones, a escalas que permitan visualizar los aspectos que se desee resaltar.

## CONCLUSIONES

- La aplicación del análisis de cluster (método de Ward) a los datos obtenidos de la evaluación de las variables, demostró su efectividad para la clasificación en cuatro grupos de las canteras abandonadas de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas, contribuyendo a la identificación de una cantidad equivalente de grupos de manejo.
- La existencia de 377 canteras de materiales para la construcción en Matanzas, condicionado por la estructura geológica del territorio, evidencia el papel que su explotación ha jugado en la economía regional. Sin embargo, al no cumplirse la legislación vigente, resultó en la existencia de 250 canteras abandonadas cuyos diversos usos han generado múltiples problemas ambientales que se deben encarar para proceder a su reducción paulatina.
- La estructura del procedimiento para la rehabilitación de canteras de materiales para la construcción prevé su distribución en cinco capítulos (diagnóstico, regulatorias, programas de manejo, seguimiento y control, y sostenibilidad financiera). El contenido de los capítulos, al vincular los objetivos del manejo en función de mitigar y/o eliminar los problemas ambientales, y el consiguiente establecimiento de programas de rehabilitación con variantes de uso reporta índices de aplicabilidad y su posible generalización al resto del país, orientando tanto a los concesionarios como a los decisores en el proceso de rehabilitación de estos espacios degradados.

## BIBLIOGRAFIA

Capote, R., 1984. *Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba*. Revista Jardín Botánico. 5 (2).

Pushcharovski, Y.M., (Editor) 1988. *Mapa geológico de la República de Cuba, a escala 1:250 000*. Academias de Ciencias de Cuba y la URSS, 40 hojas.

Everitt, B., 1980. *Cluster analysis*. 2th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company. P. 63 – 98.

Fernández, R., 2004. *Problemática generada por tajos y canteras*. Disponible en: <http://www.men.gon.va/marcolegal/marcolegalminas>

Figueras, S., 2011. *Análisis de conglomerados o clusters*. Disponible en: <http://www.5campus.org.Estadistica>.

Fuentes, R., 2007. *Principales impactos ambientales generados por tajos y canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas*. Matanzas. Tesis en opción al título de Máster en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales. Centro de Estudios de Medio Ambiente y Energía, Universidad de Matanzas.

Gaceta Oficial de la República de Cuba, 1995. *Ley No.76: Ley de Minas de la República de Cuba*. La Habana.

Gutiérrez, M. R., 2007. *La conservación del Patrimonio geológico una medida de protección del medio ambiente*. VI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Geociencias '2007. V Congreso de Áreas Protegidas (CD – ROM).

Gutiérrez, M. R., 2011. *Geositos de interés patrimonial y práctico de la provincia Matanzas*. Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias '2011 (CD-ROM). La Habana.

Herrero, E., 2005. *Criterios de indicadores de manejo forestal sostenible*. La Habana: Ministerio de la Agricultura. P. 115.

Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1987. *Mapa cartográfico de Cuba a escala 1:50 000*.

Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, 2002. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Versión Digital.

Iturralde - Vinent, M. A., 2007. *Geología de Cuba para todos*. Primera edición. La Habana: Editorial Científico – Técnica. . 145p.

Legrá, A. A., Silva, O. R., 2012. *La Investigación Científica: Conceptos y Reflexiones*. Holguín: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Lomtadze, V. D., 1983. *Geología aplicada a la ingeniería. Geodinámica aplicada a la ingeniería*. Moscú: Editorial Vneshtorgizdat. P. 250.

Miranda, I., 1997. *Análisis de cluster como estrategia multivariada de clasificación. Solución a un problema taxonómico*. Tesis en opción al título académico de Máster en Matemática Aplicada a las Ciencias Agropecuarias. La Habana: CENSA.

Plá, F., 2002. *Fundamentos de Laboreos de Mina*. España: Universidad Politécnica de Madrid. P. 288.

Vick, S., 2011. *Stability aspects of long - term closure for sulfide tailing*. Disponible en: <http://www.eclac.org/dnri/noticias/seminarios/4/13604/InformePasivosAmbientalesMinerosenSudamyaAfrica.pdf>.