



PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DEL USO FINAL EN CANTERAS DE ÁRIDOS

Alexis Montes de Oca Risco , Mayda Ulloa Carcassés.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Ave. Calixto García Iñíguez No. 15. Entre Avenida 7 de Diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda. Reparto Caribe, Moa, Holguín, Cuba. amontes@ismm.edu.cu.

RESUMEN

En los últimos años se han incrementado en todo el país las construcciones para el turismo y obras sociales de todo tipo así como la reconstrucción del fondo habitacional; por este motivo ha aumentado considerablemente la demanda de materiales de construcción, principalmente áridos, para enfrentar esta problemática. Sin embargo, esta situación contribuye al aumento de los niveles de contaminación generados por la ejecución de explotaciones mineras. El presente trabajo tiene como objetivo elaborar un procedimiento con el empleo de un sistema de información geográfica (S.I.G) para la selección del uso final en canteras de áridos. A través del método de criterio de expertos se obtuvieron los indicadores de degradación ambiental y posteriormente se elaboró la matriz de compatibilidad entre los indicadores y los usos finales que se le pueden dar a las canteras, el procedimiento propuesto hace uso de los sistemas de información geográfica para procesar e integrar los datos geocientíficos y ponderar convenientemente los planos de los indicadores ambientales para obtener finalmente el plano de degradación ambiental, lo que permite visualizar las áreas más degradadas por la minería. Como resultado, finalmente se aplicó el procedimiento a la cantera Los Guaos de la provincia Santiago de Cuba y de ese modo se demostró, desde el punto de vista práctico que el procedimiento constituye una herramienta importante para lograr una minería responsable.

ABSTRACT

In recent years they have increased nationwide buildings for tourism and social work of all kinds as well as reconstruction of the housing fund; for this reason it has considerably increased the demand for construction materials, mainly aggregate, to address this problem. However, this situation contributes to increasing levels of pollution generated by the execution of mining operations. This paper aims to develop a procedure with the use of a geographic information system (S.I.G) for use in selection of the final aggregate quarries. Through the method of expert judgment indicators of environmental degradation were obtained and subsequently the compatibility matrix between indicators and end uses which can be give to the quarries, it has developed the proposed procedure makes use of geographic information systems to process and integrate geoscience data and properly weigh the environmental plans to finally get the level of environmental degradation indicators, which can display the most degraded areas by mining. As a result, the procedure finally cast mine Guaos of Santiago de Cuba province and thus applied was shown, from the practical point of view that the procedure is an important tool for responsible mining.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el aumento de la capacidad humana para transformar el entorno natural, se ha originado un desequilibrio entre los deterioros ocasionados y la capacidad de recuperación del medio frente a los mismos. Pero, a la vez, es evidente que no se puede prescindir de la minería porque es la actividad básica dedicada a la obtención de los geo-recursos para el abastecimiento a la sociedad con las materias primas necesarias para mejorar su calidad de vida, su progreso y su destino [Carbonell, 2003].

Cuando la extracción de materiales se realiza irracionalmente, sin una planeación de la explotación, se generan problemas que trascienden hasta después del abandono de la actividad. Estos son muy graves debido a que los taludes quedan inestables, por lo que se producen deslizamientos, que a su vez pueden generar pérdidas de vidas humanas. Una explotación no planeada también puede



generar otros problemas como: la pérdida del suelo superficial, contaminación de las aguas superficiales, emisiones atmosféricas de polvo y la emisión de ruido [Bradshaw, 1993].

En consecuencia, para la confección del plan de rehabilitación, las empresas mineras en Cuba se rigen por el Manual de Procedimiento Minero de la Oficina Nacional de Recursos Minerales en su explicativo 13-1, el cual plantea el contenido mínimo del proyecto de minería a cielo abierto y subterráneo y dentro de éste, en el punto 4 se establecen las medidas mitigadoras y correctoras para los impactos ambientales, el plan de rehabilitación del medio ambiente alterado, el plan de seguimiento y control y, por último, el presupuesto del medio ambiente.

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la preocupación por la protección del medio ambiente en el país constituye actualmente una prioridad. Esto hace que necesariamente los estudios medioambientales adquieran paulatinamente una naturaleza más tecnocientífica, con el empleo de técnicas y métodos que han surgido, como es el caso de los Sistemas de Información Geográficos (S.I.G).

En el análisis de la literatura consultada no se encontró la existencia de un procedimiento sustentado en S.I.G que permita recuperar las áreas degradadas por la minería en las canteras de áridos.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del análisis realizado a las diferentes fuentes bibliográficas estudiadas, se estableció que en el proceso de identificación y selección de los indicadores de degradación ambiental en las áreas afectadas por la explotación de canteras, la metodología a emplear debe ser la consulta a expertos a través del Método Delphi.

Para la identificación de estos indicadores se aplicó el Método Delphi, a través de los pasos siguientes:

1. Elaboración del cuestionario
2. Determinación del número de expertos
3. Selección de los expertos
4. Realización de las rondas para obtener el consenso de los expertos
5. Evaluación de los resultados a partir de la prueba de Hipótesis.

Los expertos determinaron, a partir del análisis realizado, que los indicadores que permiten evaluar la degradación en canteras de áridos son los siguientes:

1. Relieve del terreno
2. Pendiente del terreno
3. Fertilidad del suelo
4. Presencia de flora y fauna
5. Calidad del agua
6. Calidad del paisaje
7. Erosión del suelo.

DETERMINACIÓN DEL PESO DE LOS INDICADORES

El método AHP (Analytic Hierarchy Process- Proceso de Jerarquía Analítica) es un método que descompone en sus componentes una situación compleja y no estructurada, los ordena en una jerarquía, realiza comparaciones binarias (dentro del mismo nivel jerárquico) y atribuye valores numéricos a juicios de valor subjetivos, respecto a la importancia relativa de cada variable (tanto en el



nivel jerárquico de los criterios, como en el nivel jerárquico de las alternativas). Es un método bastante intuitivo en su aplicación, difícilmente manipulable y probablemente sea el método más difundido en las investigaciones medio ambientales [Beramendi, 2013].

Tabla 1. Peso de los indicadores

Indicadores	Peso de los indicadores
Relieve del terreno	0,18
Pendiente del terreno	0,05
Fertilidad del suelo	0,08
Presencia de flora y fauna	0,32
Calidad del agua	0,22
Calidad del paisaje	0,11
Erosión del suelo	0,04

DETERMINACIÓN DEL PLANO DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL Y CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DEGRADADAS

Una vez seleccionados los indicadores y calculados los pesos se procede a obtener la base de datos en el campo la cual constituye una etapa relevante, debido a su carácter operacional, ya que permite el adecuado funcionamiento de los S.I.G.

Los datos obtenidos para construir los planos temáticos estuvieron representados por: relieve y pendiente del terreno, calidad del agua y del paisaje, erosión del suelo y presencia de flora y fauna. La forma de obtención de los datos fue por medio de uso del GPS (Sistema de Posicionamiento Global) como recurso para complementar la localización de los puntos mostrados en el plano de la cantera.

Después de obtener la base de datos, esta información se introduce en el programa ArcGis y se obtienen los planos temáticos para cada uno de los indicadores propuestos en formato vectorial, después se procede a la conversión en formato raster con tamaño de celda de 2 x 2 m (Finalmente, para la generación del plano de degradación ambiental del área, se utilizó el análisis multicriterio a través del método denominado “sumatoria lineal ponderada” [Saaty, 1990]. Este proceso sistemático permite la combinación de varios factores a través de una suma lineal ponderada, multiplicando cada factor por su peso y sumando los resultados obtenidos de manera lineal [Malczewski, 2006]. (Fórmula 1).

La metodología aplicada en la investigación, se resume en la (figura 1), en la que se presenta la estructura del S.I.G implementado y el orden lógico de los procedimientos para la obtención del plano final de degradación ambiental.

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j * v_{ij} \quad (1)$$

Donde:

ri: nivel de adecuación de la alternativa i

wj: peso del criterio j

vij: valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

DETERMINACIÓN DEL USO FINAL DEL SUELO PARA EL ÁREA



Para la determinación del uso futuro de las áreas recuperadas se elaboró la matriz de compatibilidad de uso, en función de la degradación ambiental.

Para la obtención del uso final de la cantera se programó en Excel (figura 2) la tabla de compatibilidad que permite obtener el resultado, agregando la información de la base de datos obtenida en el campo y que también está registrada en el plano de degradación ambiental de la cantera.

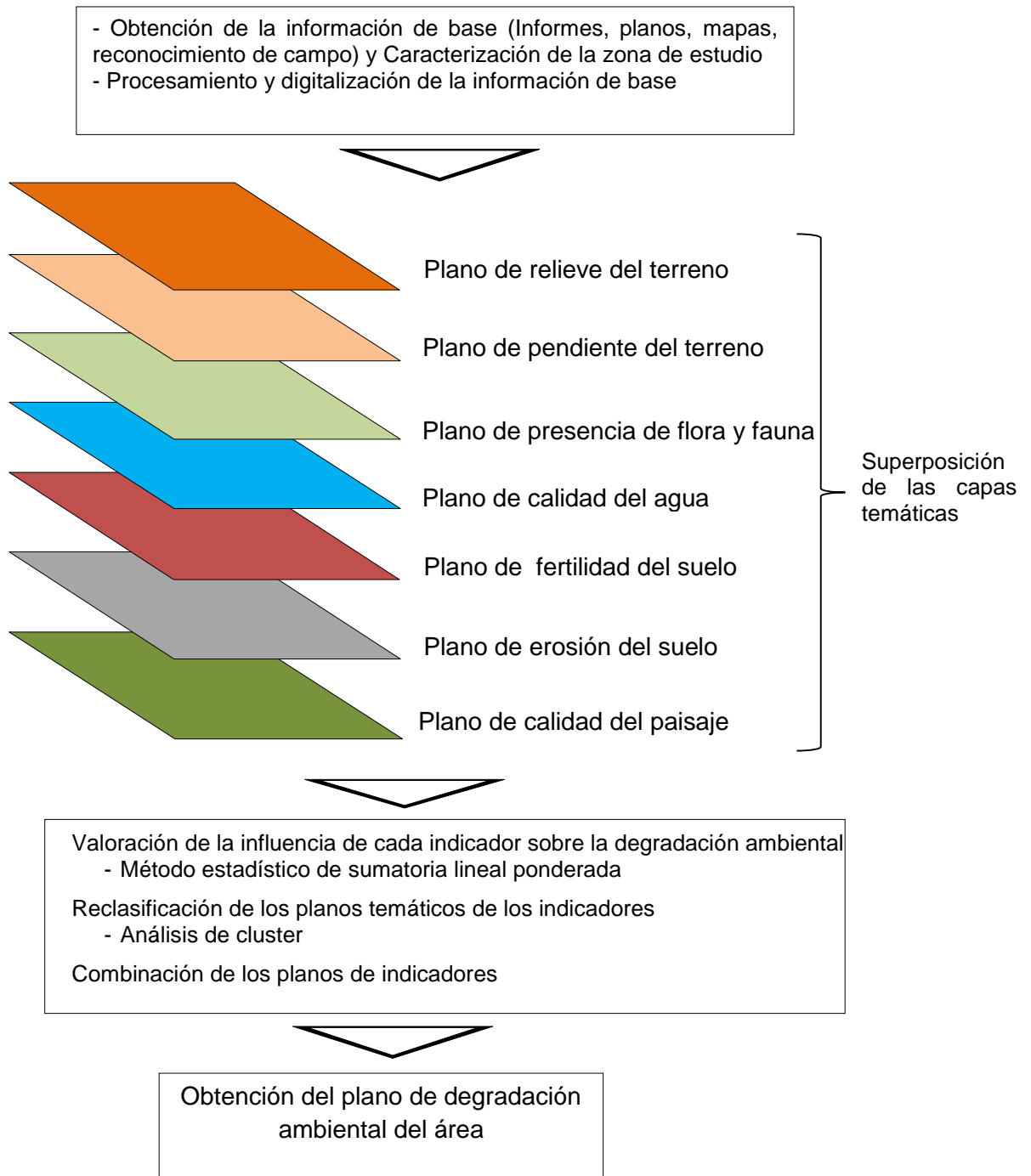


Figura 1. Metodología para la evaluación de la degradación ambiental.



Criterios para la evaluación de posibles usos del suelo							
	Flora y fauna	Relieve	Paisaje	Fertilidad	Pendiente	Agua	Erosión
Urbanístico e industrial	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2	1,2	1	1,2
Recreativo	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Agrícola	1,2,3	1,2	1,2	1,2	1	1	1
Forestal	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2	1	1
Conservación	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,3	1	1,2
Depósito de agua	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2	1,2	1,2	1,2
Vertedero	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3

Nivel de los indicadores de impacto								Posibles usos del área
Flora y fauna	Relieve	Paisaje	Fertilidad	Pendiente	Agua	Erosión		
1	1	1	1	1	1	1	1	Urbanístico e industrial - Recreativo - Agrícola - Depósito de agua - Vertedero

Figura 2. Determinación del uso final del suelo en función de la degradación ambiental.

MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA RECUPERACIÓN

El establecimiento de las medidas de recuperación exige un permanente seguimiento: El desempeño y la eficacia de las medidas adoptadas deben ser acompañadas por medio de los indicadores ambientales, en el sentido de verificar si están siendo ajustadas. La eventual obtención de resultados insatisfactorios debe imponer la reevaluación y reformulación de las medidas elegidas y, si fuese necesario, su sustitución.

Una vez concluidas y consolidadas las medidas correctivas deben ser periódicamente sometidas a inspecciones, con miras a su mantenimiento en condiciones compatibles con los patrones preestablecidos.

Se hará un programa de monitoreo que comprende la evaluación sistemática de los componentes ambientales con el fin de conocer su evolución y revisar las medidas de manejo ambiental, para anticipar el control de comportamientos anómalos y confrontar el cumplimiento de la normatividad ambiental. Igualmente, se recomienda la realización periódica de auditorías ambientales para determinar si las medidas aplicadas para la recuperación han sido implementadas y mantenidas de



acuerdo con lo planeado como parte del proceso de seguimiento, y de conformidad con su duración y la extensión del área a investigar.

A partir del estudio de la bibliografía y de los rasgos generales que debe poseer el procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos se estructura el procedimiento en tres etapas (figura 3):

Etapa I. Identificación y caracterización de las áreas degradadas

Etapa II. Planificación y ejecución de la recuperación

Etapa III. Monitoreo y seguimiento de la recuperación.

RESULTADOS

1.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO EN EL CASO DE ESTUDIO CANTERA “LOS GUAOS”

Partiendo del procedimiento elaborado, a continuación se presenta la secuencia de actividades que deben componer un plan básico para las áreas degradadas que tienen como objetivo preliminar asegurar la estabilidad del medio ambiente de la zona y que dependen de una vinculación con un proyecto de rehabilitación futuro.

- 1.2 UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO LOS GUAOS

-
El yacimiento se encuentra ubicado en la provincia de Santiago de Cuba, a 5 km al oeste de la ciudad. El área se encuentra en explotación desde enero de 1972 y sus plantas constituyen las principales abastecedoras de áridos en la provincia Santiago de Cuba [Parra, 2003].

Las coordenadas Lambert son las siguientes:

X=600 600 – 601 500

Y=155 400 – 156 900

- 1.3 RELIEVE

-
El relieve en la región se puede clasificar como semi - montañoso y su origen se relaciona con procesos tectónicos y erosivos. Al este del yacimiento se presentan las cotas más altas, con valores de 231 m sobre el nivel del mar. Las cotas mínimas son de 50 m, esto es apreciable al oeste donde el relieve es más ondulado. Hacia el este las elevaciones presentan pendientes suaves hacia el norte y abrupta hacia el sur (Arley, 2015).

- 1.4 CLIMA

-
El clima es tropical y seco; la temperatura media más alta en el periodo es de 31 0C, en agosto, enero y febrero la media más baja es de 26 0C. La humedad relativa oscila entre un 70 y un 75%. Los vientos predominantes durante el día son las brisas marinas de hasta 12 km/h. La precipitación media anual oscila entre los 800 a 1000 mm de lluvia [Arley, 2015].

- 1.5 HIDROGRAFÍA

-
La red hidrográfica la forman los ríos Guaos y Gascón y algunos arroyos. Estos ríos tienen una dirección norte-sur y son de carácter intermitente en época de estiaje. El río Gascón pasa al este del yacimiento, nace al norte del área en las inmediaciones de la Sierra Puerto Pelado, atraviesa en su



recorrido rocas de la formación "El Cobre", y desemboca en la bahía de Santiago. El río Guaos nace al norte atraviesa el yacimiento y desemboca en la bahía de Santiago [Arley, 2015].

-

- 1.6 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

-

En el área donde se ubica el yacimiento afloran las rocas del Grupo El Cobre, representado por diferentes tipos de rocas vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias. Predominan: tobas, lavas de composición andesítica, andesítica- dacítica y dacítica. Con estas rocas se intercalan tufitas y calizas, además, se asocian con este complejo vulcanógeno - sedimentario cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. El yacimiento está formado por un cuerpo sub-volcánico de composición media a ácida, representado por porfirita andesítica-dacítica y dacítica, con forma alargada con dirección NE-SW. Las edades de estas rocas se ubican entre Paleoceno- Eoceno Medio parte baja.

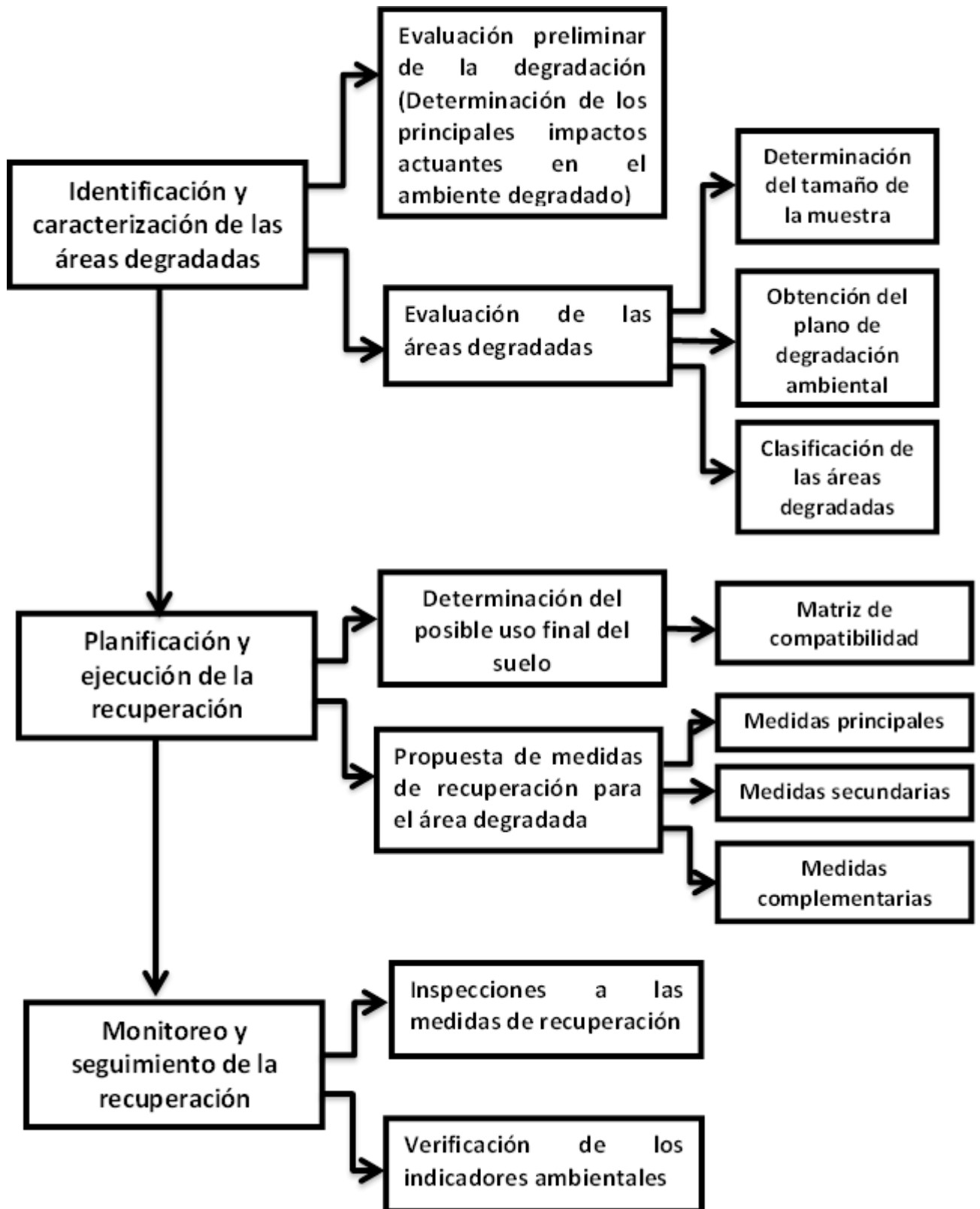


Figura 3. Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos



1.7 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO BIOLÓGICO

En la zona en que se encuentra enmarcado el yacimiento Los Guaos se puede encontrar una gran variedad de plantas y animales que conforman la diversidad biológica del yacimiento. Entre la variedad de la flora se puede mencionar el Mango (*Mangifera indica* L), el Marabú (*Dichrostachys cinerea*), el Almendro (*Terminalia catappa* L.), el Guao (*Comocladia dentata* Jacq.), el palo bobo (*Cochlospermum vitifolium*), el almendrillo (*Reynosia revoluta*) y la malagueta (*Anonáceas*).

Entre los ejemplares de la fauna se puede encontrar la rana toro (*Lithobates catesbeianus*), el sapo común (*Bufo bufo*), la lagartija verde (*Teius teyou*), el majá de Santamaría (*Epicrates angulifer*), el jubito (*Arrhyton vittatum vittatum*), la jutía conga (*Capromys pilorides pilorides*), la bayoya (*Leiocephalus stictigaster*), el zunzún (*Chlorostilbon ricordii*), el bobito (*Contopus caribaeus*), el negrito (*Melopyrrha nigra*), el totí (*Dives atrovioleaceus*), la tojosa (*Columbina passerina*), el aura tiñosa (*Cathartes aura*), el sinsonte (*Toxostoma rufum*), el murciélago (*Chiroptera*) [Montes de Oca, 2013].

1.8 DETERMINACIÓN DE PLANO DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL Y CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DEGRADADAS

Determinados los indicadores de degradación ambiental a través de la metodología propuesta en la figura 1, se elaboran los planos de cada uno de los indicadores propuestos y finalmente el plano de degradación ambiental (figura 14), en la escala de 1:2000,

La clasificación de las áreas se obtuvo a través del plano de degradación ambiental (figura 4) del yacimiento, el cual se clasificó en tres áreas, las cuales son: degradación alta con 173 851,99 m², degradación media con 84 086,19 m² y degradación baja con 142 075,80 m².

Del área total de 400 013,98 m², el 43,5% pertenece a degradación alta.

1.9 DETERMINACIÓN DEL USO FINAL DEL SUELO PARA EL ÁREA

Con la aplicación del Excel confeccionada (figura 2), se determinó el uso final para el suelo para la cantera Los Guaos (tabla 1).

Tabla 1. Determinación del uso final del suelo para la cantera Los Guaos

PROPUESTA DE MEDIDAS DE RECUPERACIÓN PARA LAS DIFERENTES ÁREAS

Nivel de los indicadores de degradación							Posibles usos del área
Presencia de flora y fauna	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Calidad del agua	Erosión del suelo	
2	2	2	2	2	1	2	Urbanístico e industrial - Recreativo - Depósito de agua - Vertedero



SEGÚN EL USO PROPUESTO

Según el uso propuesto se proponen las siguientes medidas:

MEDIDAS DE REFORESTACIÓN

- Instalación de barreras vegetales
- Reforestación del área minada
- Rectificación de taludes y revegetación de áreas minadas
- Eliminación, almacenamiento y uso de la capa orgánica de la tierra vegetal
- Revegetación de taludes en los accesos y caminos internos
- Protección y manejo de la vegetación
- Inducción y manejo de revegetación espontánea
- Revegetación de bermas y taludes rocosos
- Revegetación en suelos de roca alterada.

MEDIDAS GEOTÉCNICAS

- Nivelación de la superficie topográfica
- Eliminación de estériles y relleno de excavaciones
- Estabilización de escombreras
- Extracción de bloques de rocas inestables zonas minadas.

MEDIDAS DE REMEDIACIÓN

- Retención y recogida de aceites y grasas.

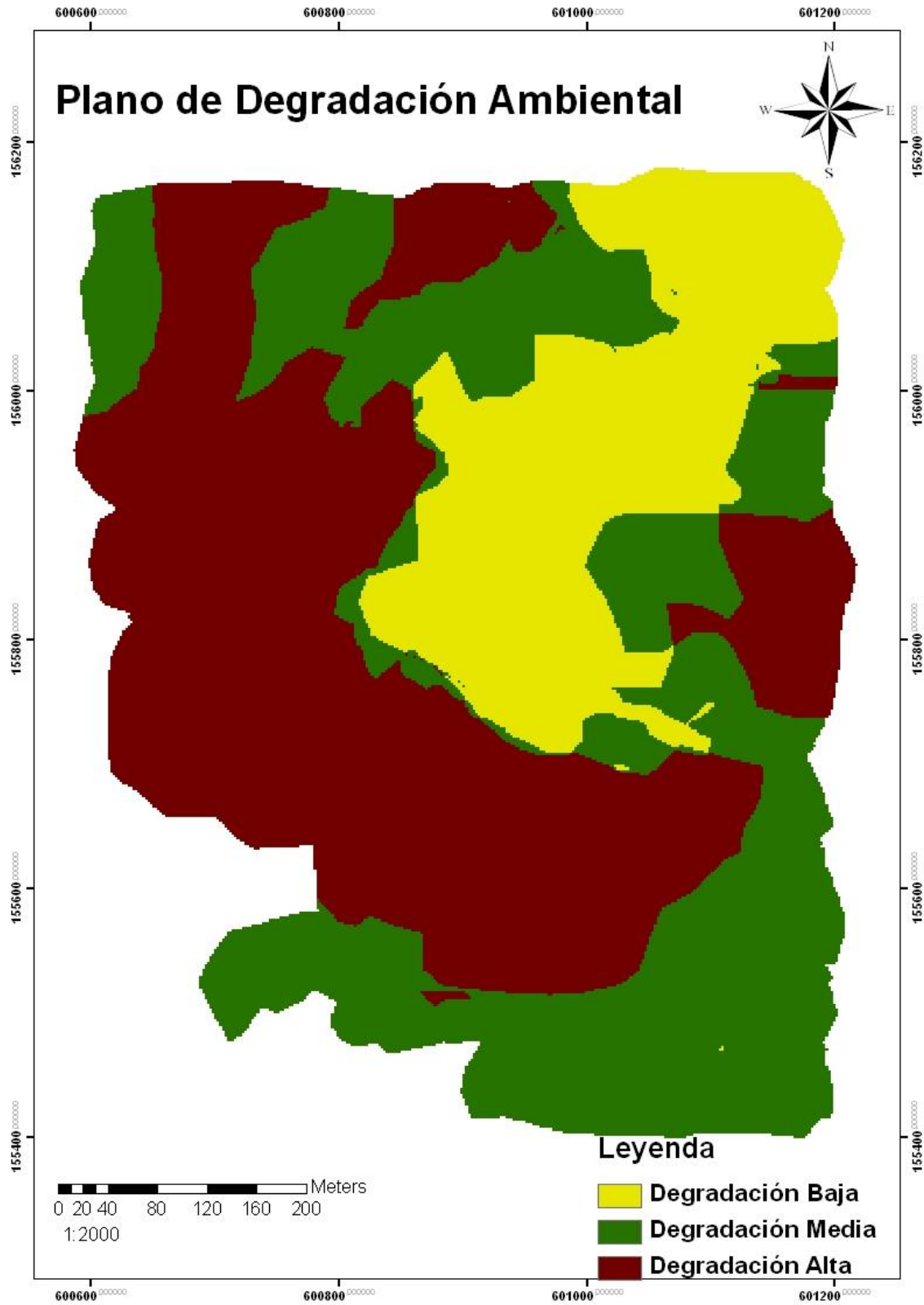


Figura 4. Plano de degradación ambiental.



CONCLUSIONES

1. La aplicación del procedimiento para recuperar las áreas dañadas por la explotación en canteras de áridos, con el empleo de un S.I.G, permitirá mitigar y eliminar los impactos ambientales negativos generados por la actividad minera.
2. A través de criterio de experto se determinaron los indicadores de degradación ambiental para canteras de áridos: relieve del terreno, pendiente del terreno, fertilidad del suelo, presencia de flora y fauna, calidad del agua, calidad del paisaje, erosión del suelo y el plano de degradación ambiental que permitió clasificar la cantera en tres áreas.
3. La matriz de compatibilidad entre los indicadores de degradación ambiental y las variantes de uso permite obtener el posible uso final para la cantera.
4. La implementación del procedimiento en la cantera Los Guaos demostró la aplicabilidad del mismo en las zonas afectadas por la actividad minera.

REFERENCIAS

- CARBONELL, Fernando. "Evaluación del impacto ambiental que se genera durante la explotación del yacimiento la Yaya y en el proceso industrial de la calera". Tesis de grado, Universidad de Pinar del Río, 2003.
- BRADSHAW, Anthony; "Restoration of mined Lands-Using Natural Processes". Ecological Engineering, 1993, vol 8, pp. 255-269.
- BERAMENDI, Borja. "Criterios económicos y medioambientales de la gestión de rutas transpirenaicas en el transporte de mercancías a través de Guipúzcoa". Tesis de grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona, 2013
- SAATY, Thomas. "Decision making for Leaders. The Analitic Herarchy Process for decision in a complex World". 1990. University of Pittsburgh. RWS Publications, Pittsburgh, USA, pp. 292.
- MALCZEWSKI, Jacek. "Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2006. vol 8, pp. 270-277.
- PARRA, Jorge Luis. "Estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos". Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Holguín. 2003
- PÉREZ SALAZAR, Arleis. "Caracterización Minero-Ambiental de las Canteras en la Industria de Materiales de la Construcción de Santiago de Cuba". Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Holguín. 2015.
- MONTES DE OCA RISCO, Alexis. "Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba". *Luna Azul*, 2013, No. 37, julio - diciembre 2013, pp. 74-88.