

**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINAS**

**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN
CANTERAS DE ÁRIDOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS TÉCNICAS**

ALEXIS MONTES DE OCA RISCO

MOA - 2016

**REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINAS**

**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN
CANTERAS DE ÁRIDOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS TÉCNICAS**

Autor: Prof. Aux., Ing. Alexis Montes de Oca Risco, M. Sc.

Tutora: Prof. Tit., Ing. Mayda Ulloa Carcassés, Dra. C.

MOA - 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, por formarme como Ingeniero y Máster en Minería y darme la posibilidad de seguir superándome en todos los sentidos.

A mis padres, mi abuela y a la memoria de mis abuelos fallecidos, por apoyarme en todo momento y hacerme la persona que soy hoy, gracias a sus consejos.

A mi tutora, Mayda Ulloa Carcassés, por dedicarme su valioso tiempo y ayudarme en mi formación como Máster y ahora como Doctor, es algo que le voy a agradecer toda mi vida.

A mi amiga Suraymi García Cruz, que ha sido para mí como la hermana que nunca tuve.

A mis colegas de departamento.

A mis amigos Yoandro, Naisma.

A los especialistas Hira, Neidys y demás especialistas de las empresas de materiales de construcción de las provincias Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba; por su ayuda para la consulta de las fuentes empleadas en este trabajo.

A los colegas Yuri Almaguer, Yordanis y Yexenia que pusieron su granito de arena en esta investigación.

A todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra manera, contribuyeron con el desarrollo de esta investigación.

A todos, muchísimas gracias y mi eterno agradecimiento.

El autor

SÍNTESIS

En los últimos años se han incrementado en todo el país las construcciones para el turismo, obras sociales de todo tipo, así como, para la reconstrucción del fondo habitacional; por este motivo ha aumentado considerablemente la demanda de materiales de construcción, principalmente áridos. Sin embargo, esta situación contribuye al aumento de los niveles de contaminación generados por la ejecución de explotaciones mineras en las canteras que contienen este tipo de material.

Para enfrentar esta problemática, se requiere la realización de investigaciones que contribuyan a mitigar los perjuicios ocasionados. Por ello, se realiza el presente trabajo titulado “Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos”, que tiene como objetivo elaborar un procedimiento con el empleo de un S.I.G para recuperar las áreas degradadas de las canteras de áridos.

En su consecución a través del método de criterio de expertos se obtuvieron y valoraron 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.

Como novedad de la investigación 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, se aplicó el procedimiento a la cantera “Los Guaos” de la provincia Santiago de Cuba, de ese modo, se demostró, desde el punto de vista práctico, que el procedimiento constituye una herramienta importante para lograr una minería responsable.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Conceptos básicos.....	11
1.3 Antecedentes y actualidad del tema a nivel internacional	13
1.4 Legislación relacionada con la protección ambiental y la recuperación de áreas degradadas	22
1.5 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba	27
1.6 Aplicación de los S.I.G a la recuperación minera	32
Conclusiones parciales	35
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN CANTERAS DE ÁRIDOS	36
2.1 Introducción.....	36
2.2 Obtención de los indicadores de degradación ambiental en las áreas afectadas por la explotación de canteras de áridos	37
2.3 Caracterización de los indicadores obtenidos.....	48
2.4 Criterios de valoración del sistema de indicadores para las canteras de áridos.....	48
2.5 Identificación y caracterización de las áreas degradadas	50
2.5.1 Determinación del tamaño de la muestra	50
2.5.2 Obtención del plano de degradación ambiental.....	51

2.5.3 Clasificación de las áreas degradadas.....	53
2.6 Planificación y ejecución de la recuperación	53
2.6.1 Usos finales para zonas degradadas por explotaciones mineras	55
2.6.2 Determinación del uso final del suelo para áreas degradadas en canteras de áridos	63
2.6.3 Medidas de recuperación para el área	65
2.7 Monitoreo y seguimiento de la recuperación	69
2.7.1 Inspecciones a las medidas implementadas.....	69
2.7.2 Verificación de los indicadores ambientales	70
2.8 Estructura y contenido del procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos.....	70
2.8.1 Validación del procedimiento	74
Conclusiones parciales	76
CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN CANTERAS DE ÁRIDOS	77
3.1 Elección y justificación de la cantera “Los Guaos”	77
3.2 Ubicación y caracterización de la cantera “Los Guaos”	78
3.3 Aplicación del procedimiento.....	83
3.3.1 Identificación y caracterización de las áreas degradadas	83
3.3.2 Planificación y ejecución de la recuperación	96
3.3.3 Monitoreo y seguimiento de la recuperación	97
Conclusiones parciales	99
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS		Pág.
Figura 1.	Proceso de rasterización para la obtención de los planos temáticos de los indicadores de degradación ambiental	-52-
Figura 2.	Metodología empleada en la evaluación de la degradación ambiental	-54-
Figura 3.	Pendientes máximas para diferentes usos del terreno	-60-
Figura 4.	Tabla programada en Excel para la determinación del uso final del suelo	-66-
Figura 5.	Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos	-73-
Figura 6	Ubicación de la cantera “Los Guaos”	-79-
Figura 7	Plano de relieve del terreno	-88-
Figura 8	Plano de calidad del paisaje	-89-
Figura 9	Plano de calidad del agua	-90-
Figura 10	Plano de pendiente del terreno	-91-
Figura 11	Plano de erosión del suelo	-92-
Figura 12	Plano de fertilidad del suelo	-93-
Figura 13	Plano de presencia de flora y fauna	-94-
Figura 14	Plano de degradación ambiental	-95-

ÍNDICE DE TABLAS		Pág.
Tabla 1.	Evolución cronológica de la creación de las legislaciones ambientales en la Región Andina	-24-
Tabla 2.	Indicadores seleccionados por los expertos que pasaron a segunda ronda	-41-
Tabla 3.	Escala de preferencias de comparación por pares	-46-
Tabla 4.	Índice promedio de consistencia aleatoria (RI)	-47-
Tabla 5.	Peso de los indicadores	-47-
Tabla 6.	Criterios de valoración para los indicadores seleccionados	-49-
Tabla 7.	Matriz de compatibilidad de los indicadores con los usos finales de las canteras	-65-
Tabla 8.	Resultados de la validación del procedimiento	-76-
Tabla 9.	Impactos ambientales producidos por la actividad minera en la cantera “Los Guaos”	-85-
Tabla 10.	Determinación de los posibles usos finales del suelo para la cantera “Los Guaos”	-96-

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad necesaria, ya que si se quiere desarrollar la agricultura (tan necesaria en sí misma) o la pesca, si se quiere vivir en ciudades y no en cavernas; se necesitan herramientas, materias primas y aditivos para el suelo, que hagan posible la realización de estas actividades humanas.

Además, en una población mundial en continuo crecimiento existen necesidades básicas como las energéticas, las de salud, las educacionales, las patrimoniales y otras que también requieren de una larguísima lista de materias primas que se extraen de la tierra. Todo lo que no se cultiva, caza o pesca hay que obtenerlo a través de la minería.

Estas materias primas tienen que ser extraídas y tratadas mediante procesos, los cuales, desde sus inicios, han sido priorizados por los beneficios que se obtienen de ellos. Los responsables de la industria minera, como los de tantas otras actividades humanas, no han sido conscientes hasta fechas relativamente recientes, de la necesidad de que las actividades sean ambiental, social y económicamente sostenibles.

Para lograrlo, es necesario que el impacto en el medio que genera la minería durante la operación extractiva y en especial tras el cierre de la actividad se reduzca drásticamente (Oyarzun, 2008).

A nivel global, la conciencia sobre el medio ambiente, surgió a comienzos de la década del setenta en los países más avanzados, donde el bienestar económico fruto del desarrollo, iba acompañado de secuelas no deseadas sobre la naturaleza y que eran inaceptables para los pueblos. Por esto, se han desarrollado desde entonces, muchos encuentros y conferencias internacionales con el fin de prevenir este fenómeno.

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.

Sin embargo, la conciencia que se tiene hoy con respecto a la limitación de los recursos naturales, y a la diversidad de elementos que componen los ecosistemas, obliga a solucionar los problemas de la demanda de materias primas en equilibrio con la conservación de la naturaleza, lo que permite salvaguardar el patrimonio que representa el medio y los recursos naturales para poder legarlos a las futuras generaciones (Carbonell, 2003)

En este caso se encuentra la extracción de materiales a cielo abierto, la cual es un tipo de disturbio antrópico que afecta a todos los factores del ecosistema, a las geoformas del terreno y a las condiciones microclimáticas.

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: pérdida del suelo superficial, contaminación de las aguas superficiales, emisiones atmosféricas de polvo y emisión de ruido (Bradshaw, 1993).

Actualmente, aumentan los niveles de contaminación generados por la ejecución de explotaciones mineras, pues se incrementa la demanda de materiales de construcción, principalmente áridos para obras turísticas y sociales, así como para la reconstrucción del fondo habitacional.

Ante esta problemática los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución en su capítulo V de la Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente, artículo 133, plantean la necesidad de sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social.

También plantean la necesidad de priorizar estudios encaminados al enfrentamiento al cambio climático y, en general, a la sostenibilidad del desarrollo del país, a enfatizar en la conservación y uso racional de recursos naturales como los suelos, el agua, las playas, la atmósfera, los bosques y la biodiversidad; así como al fomento de la educación ambiental.

Por otra parte, la Ley No. 76, Ley de Minas plantea en su artículo 41 que: “los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de la actividad minera, tanto en dicha área, como en las áreas y ecosistemas vinculados con aquellos que puedan ser afectados.”

En ese mismo orden, la Ley No. 81 del Medio Ambiente, expresa en el artículo 58 del capítulo VIII relacionado con la investigación científica e innovación tecnológica que: “las personas naturales y jurídicas que por su actividad influyen sobre el medio ambiente tienen la obligación de incorporar los logros científicos y tecnológicos para alcanzar una mayor eficacia en las acciones encaminadas a la protección ambiental.”

Mientras que, en el principio número 6 de la Política Minera de la nación sobre la protección del medio ambiente, los cierres de minas y la recuperación de pasivos ambientales, se expone: “aprobar e implementar procedimientos para la formación oportuna por los concesionarios de la reserva financiera que garantice el cumplimiento de las obligaciones medioambientales y el control de su utilización eficaz y para la recuperación de los pasivos ambientales se garantizarán los recursos y mecanismos financieros y organizativos que permitan la solución de los problemas que generan.”

De lo anteriormente expuesto, se concluye que la preocupación por la protección del medio ambiente en el país constituye actualmente una prioridad. 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 (ONRM) en su explicativo 13-1, el cual plantea el contenido mínimo del proyecto de minería a cielo abierto y subterráneo y dentro de este, 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.

No obstante, la problemática medioambiental continúa presentando limitaciones. Así se evidencia en las Empresas de Materiales de Construcción del Grupo de Organización Superior de Dirección Empresarial (OSDE) de la construcción que tienen concesionados más de 100 yacimientos, la mayoría en explotación, los cuales provocan un fuerte impacto al medio ambiente. Estas canteras poseen sus proyectos de explotación actualizados y proyectos de rehabilitación que no se corresponden con la realidad de las mismas.

Para la recuperación de las áreas degradadas por la minería en diferentes investigaciones se han utilizado los indicadores ambientales que han adquirido relevancia en los últimos años dada su capacidad de generar una imagen sintética de las condiciones ambientales del territorio. Su auge se ha desarrollado de forma paralela a los avances, acuerdos y retos ambientales a nivel global.

En los momentos actuales los estudios medioambientales adquieren 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).

Sobre estos últimos, en el análisis de la literatura consultada no se encontró la existencia de un procedimiento que sustentado en ellos permita recuperar las áreas degradadas por la minería en las canteras de áridos.

Una aproximación a esta situación problemática demostró la existencia del siguiente **problema científico**: la necesidad de un procedimiento que, con el empleo de un S.I.G, permita recuperar las áreas degradadas de las canteras de áridos.

Por lo que se plantea como, **objeto de la investigación** la recuperación de las áreas degradadas de las canteras de áridos y como **campo de acción**: las canteras de áridos.

Con vista a la solución del problema, el **objetivo general de la investigación** es: elaborar un procedimiento con el empleo de un S.I.G para recuperar las áreas degradadas de las canteras de áridos.

Se considera como **hipótesis de la Investigación que**: si se establecen mediante consulta de expertos los indicadores de degradación ambiental, que permitan, con el empleo de un S.I.G, obtener el plano de degradación ambiental y se crea la matriz de compatibilidad entre indicadores ambientales-usos futuros, entonces, es posible elaborar un procedimiento para recuperar las áreas dañadas por la explotación de canteras de áridos.

Objetivos específicos:

1. Obtener los indicadores de degradación ambiental para las canteras de áridos.
2. Determinar el plano de degradación ambiental a partir de la tecnología S.I.G y obtener la clasificación de las áreas.

3. Elaborar la matriz de compatibilidad entre los indicadores ambientales y los posibles usos futuros de las canteras.
4. Diseñar la estructura y contenido del procedimiento para recuperar las áreas dañadas por la explotación de canteras de áridos.
5. Aplicar el procedimiento al caso de estudio seleccionado.

Para darle cumplimiento a estos objetivos específicos se utilizaron métodos empíricos y teóricos de investigación científica.

Métodos Empíricos

- a) Dentro de la interrogación se utilizaron: la entrevista (interrogación oral a los expertos para definir los indicadores de degradación ambiental) y la encuesta (interrogación escrita mediante cuestionario a expertos).
- b) La medición y la observación: para obtener los valores de cada uno de los indicadores de degradación ambiental en el campo.

Métodos Teóricos

- a) Hipotético-deductivo: para la formulación y demostración de la hipótesis científica, así como para el diseño del procedimiento el cual fue validado mediante el criterio de expertos.
- b) Análisis-síntesis: para la revisión documental de la investigación, en la definición y selección de los indicadores de degradación ambiental en canteras de áridos.
- c) Histórico-lógico: para el análisis de la evolución del tema estudiado.

El procesamiento de los datos fue desarrollado con el apoyo de los softwares profesionales AutoCAD 2010, Excel 2010, Access 2010 y ArcGIS 9.3.

La **Novedad Científica** de la investigación consiste en el procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos a través de indicadores de degradación y el empleo de un S.I.G.

Aportes científicos

1. El sistema de indicadores de degradación ambiental para canteras de áridos
2. La matriz de compatibilidad de los indicadores con los usos futuros de áreas degradadas en canteras de áridos.

Aportes socio económicos

1. Otorga a la Oficina Regulatoria del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente una herramienta para la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales en estas explotaciones.
2. Ofrece a las Direcciones de Planificación Física en cada provincia un material importante para el Ordenamiento Territorial a través del uso final de las áreas degradadas en canteras de áridos.

Producción científica del autor sobre el tema de la tesis

Como parte de la investigación el autor desarrolló un conjunto de trabajos relacionados con publicaciones en revistas, publicaciones en eventos científicos, trabajos de diploma y proyectos de investigación. Estos trabajos se relacionan a continuación.

Publicaciones en eventos científicos

1. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2012): Impacto ambiental de la explotación del yacimiento de materiales de construcción “Los Guaos” en Santiago de Cuba. VI Taller Regional sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. ISBN 978-959-16-1696-1.

2. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Santiago de Cuba. XVI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. VII Simposio Universitario Iberoamericano sobre Medio Ambiente. ISBN 978-959-261-405-5
3. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción Santiago de Cuba. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. V Congreso Cubano de Minería. ISSN 2307-499X
4. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Holguín. VII Taller Regional sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. ISBN 978-959-16-2118-4
5. Montes de Oca, A.; (2013): Procedimiento para la recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Santiago de Cuba. VI Conferencia Internacional de la Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya y el V Seminario Internacional de Estudios Canadienses. ISBN 978-959-16-1329-5
6. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Holguín. VII Taller Oriental de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. ISBN 978-959-16-2118-4
7. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): IX Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, IV Congreso sobre manejo de ecosistemas y biodiversidad. Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas por la minería en canteras de Santiago de Cuba. ISBN 978-959-300-034-5
8. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013): Caracterización minero-ambiental de las canteras de materiales de construcción de la provincia Holguín. VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. VI Congreso Cubano de Minería. ISSN 2307-499X

Publicaciones en revistas científicas

1. Montes de Oca, A. (2012). Estudio del impacto ambiental y medidas de rehabilitación en la cantera "Los Guaos". Revista electrónica "DELOS:

- Desarrollo Local Sostenible” Vol. 5, N° 13(febrero 2012). ISSN: 1988-5245.
<http://www.eumed.net/rev/delos/13/amor.html>
2. Montes de Oca, A.; Ulloa, M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera “Los Guaos”, Santiago de Cuba, Cuba. Revista Luna Azul, Vol. 37, julio- diciembre 2013. pp 74-88. ISSN: 1909-2474.
<http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=846>
 3. Montes de Oca, A.; Ulloa, M; García, S. (2014). Evaluación y recuperación ambiental del ecosistema dañado por la explotación del yacimiento Tibaracón del Toa, Guantánamo, Cuba. Revista Gestión Ambiental, No 27, julio 2014, pp19-33. ISSN 0718-445X versión en línea, ISSN 0717-4918 versión impresa.
 4. Montes de Oca, A.; Ulloa, M; García, S. (2014). Procedimiento para la recuperación del área minada en el yacimiento grava – arena Río Sagua, Holguín. Cuba. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra. No 36, diciembre 2014, pp. 18-25. Medellín. ISSN 0120-3630 (impreso). ISSN: 2357-3740 (en línea).
 5. Rosario, Y.; Jiménez, R.; Arguelles, D.; Montes de Oca, A. Sistema experto para la elección del tipo de recuperación en canteras de materiales de construcción. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. Vol. 9, No 3 (2015): julio-septiembre, pp. 33-48. ISSN-e: 2227-1899.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

1.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo ofrecer el estado del arte del manejo del problema de la recuperación ambiental y de las estrategias para enfrentarlo, referido por la literatura especializada; particularizando en la recuperación de áreas degradadas por la minería, de modo, que pueda servir como referencia en los esfuerzos por contrarrestar el problema en Cuba, principalmente, en la Industria Extractiva de Materiales de Construcción.

1.2 Conceptos básicos

El estudio y análisis de los diversos aspectos involucrados en la recuperación de áreas degradadas por la minería requiere la reflexión inicial sobre algunos conceptos básicos, sobre todo los conceptos de recuperación, rehabilitación y restauración.

Para Bradshaw (1997) restauración implica devolver al ecosistema a su estado original, anterior a la degradación, a un saludable o vigoroso estado. Rehabilitación: se refiere a la recuperación del sistema a un estado previo, pero no necesariamente al óptimo. Implica una cierta mejora de las condiciones, pero no la máxima posible que, supuestamente, se alcanzaría en el estado original. Recuperación es utilizado más en medios técnicos que científicos, no implica la vuelta del sistema a su estado original, sino a otro adecuado y útil, es un término que se aplica a las restauraciones mineras, de ingeniería civil, de zonas agrícolas.

Finalmente, otro término menos frecuente es el de remediación, el cual pone el énfasis en el proceso más que en el punto final al que se quiere llegar. Se aplica a los suelos contaminados.

En lo referido al medio físico, una de las aproximaciones más adecuadas puede ser hallada en *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (1989) en que se hace la distinción entre los términos siguientes:

- ✓ Restauración, asociado con la idea de reproducción de las condiciones exactas del lugar, tales como eran antes de ser alteradas por la intervención.
- ✓ Rehabilitación, asociado con la idea de que el lugar alterado sea trabajado de modo que las condiciones ambientales terminen situándose próximas a las condiciones anteriores a la intervención; o sea, se trata de devolver al lugar el equilibrio o estabilidad de los procesos ambientales allí actuantes anteriormente.
- ✓ Recuperación, asociado con la idea de que el lugar alterado deberá ser destinado a una forma dada de uso del suelo, de acuerdo con un proyecto previo y en condiciones compatibles con la ocupación contigua, o sea, se trata de reaprovechar el área para una nueva finalidad (comercial, industrial, agrícola, preservación o conservación ambiental, recreativa, cultural, etc.).

En Cuba, en la Ley No. 81 del Medio Ambiente y la Ley No. 76 Ley de Minas, el término utilizado es rehabilitación y restauración y, en ocasiones, recuperación, lo que demuestra que no existe un término unificado para referirse a esta actividad.

Después de estudiadas las terminologías se escoge el término recuperación ya que se adecua mejor a las condiciones que se proponen para reaprovechar el área con una nueva finalidad (comercial, industrial, agrícola, preservación o conservación ambiental, recreativa, cultural, etc.), en dependencia de las condiciones existentes en el entorno.

1.3 Antecedentes y actualidad del tema a nivel internacional

En los últimos años son numerosas las investigaciones realizadas a nivel internacional acerca de la recuperación minero ambiental y el papel que desempeñan en la protección del medio ambiente. Del análisis de estas investigaciones, se desprende que existen dos líneas fundamentales: una de ellas relacionada con los trabajos de revegetación y reforestación y la otra con la recuperación de las áreas degradadas por la minería a través de usos futuros.

Dentro de la primera línea cabe destacar los trabajos de Willians (1990), Ferrer (1996), Anguera (2005), Sarmiento (2008), Delgado (2009) y Paris (2009).

Willians (1990) presenta una guía de acciones básicas que se requieren para permitir la recuperación de las áreas degradadas por la minería, según lo determinado por la constitución brasileña y aborda la ley federal existente, la preparación del área del frente a ser minada, la eliminación de la capa de suelo fértil y su almacenamiento, el relleno del área minada con material estéril, la recomposición topográfica y del paisaje, el tratamiento final de la superficie, la revegetación, la fauna y la recuperación de minas en operación o abandonadas. Dicha guía sólo plantea las acciones generales a realizar para recuperar las áreas.

Por su parte, Ferrer (1996) plantea que en zonas semiáridas la restauración de canteras supone un proceso lento y costoso debido, fundamentalmente, a las limitaciones climáticas que imperan. Dentro de la actividad restauradora se proponen las medidas preventivas y correctoras.

Las principales medidas que se proponen se centran principalmente en el remodelado del relieve para evitar riesgos erosivos y la lucha contra la producción de polvo y las técnicas de revegetación tienen una aplicación limitada debido a la lentitud de este proceso como consecuencia del contexto climático.

En esta publicación el autor sólo tiene en cuenta la afectación a los factores físicos del medio, no relaciona el impacto a los factores bióticos y socioeconómicos.

Anguera (2005) en su investigación tuvo por objetivo modelar topográficamente la excavación creada acorde con el entorno, revegetar y restaurar la cobertura vegetal eliminada y la producción biológica del suelo. En la cantera estudiada se implantó una vegetación autóctona de carácter forestal para integrar la zona explotada con el paisaje circundante, también se realizó una siembra de herbáceas y arbustivas para facilitar la formación y estabilización del suelo.

En el plan de restauración en terrenos que han sido utilizados para la explotación de caliza, Sarmiento (2008) tiene en cuenta tres componentes: el suelo, la vegetación y el trabajo con estudiantes. El autor plantea que la restauración debe enfocarse hacia una integración paisajística, la cual se relaciona con la armonía que debe guardar la explotación minera con su entorno natural teniendo en cuenta el apantallamiento natural y la revegetación.

En dicha investigación el autor considera que se debe controlar la disposición de estériles y la capa vegetal para evitar procesos erosivos y pérdida de la capacidad reproductiva del suelo mediante el uso de un sistema de retrolenado dentro de las zonas explotadas.

Como usos finales de las canteras solo propone la reforestación y la revegetación para lograr la recuperación del área.

Delgado (2009) analiza la información de las labores mineras y su entorno y plantea las medidas previstas para la restauración de la cantera, entre las que se encuentran: acondicionamiento del terreno, medidas para evitar la erosión, protección del paisaje y vegetación, restauración de bancos y bermas, restauración de la plataforma, mantenimiento de las zonas verdes y desmantelamiento de las plantas asociadas con la explotación.

Aunque el autor expone una serie de actividades para recuperar la cantera, no lo hace a través de una guía que establezca en qué período se deben aplicar cada una de las medidas.

Igualmente, Paris (2009) estudió y analizó las características del entorno físico en el cual se encuentra la explotación minera, para conocer cuáles son las mejores medidas que se pueden adoptar para conseguir una buena recuperación del espacio. Se realizó la restauración aplicando, a cada frente, medidas correctoras aptas para cada caso.

En la investigación se describió una propuesta de recuperación para cada frente en la que se utilizan técnicas como la aplicación de lodos de depuradora para conseguir una revegetación más rápida. También se analizaron los impactos

negativos y positivos que la restauración puede ocasionar en el espacio, durante el tiempo que se estén realizando dichos trabajos.

Sin embargo, en dicho proyecto la autora no elabora un procedimiento para aplicar la recuperación en cada uno de los frentes explotados, tampoco propone un uso final efectivo para cada uno de ellos.

La otra línea fundamental de los trabajos analizados son los relacionados con la recuperación de las áreas degradadas por la minería y las propuestas de sus usos futuros. Son destacables los trabajos de:

Canut (2007) tuvo por objetivo planificar la restauración, recreación y adecuación ambiental de una cantera de caliza. Esta restauración incluyó todas las zonas explotadas desde el inicio de la vida de la cantera hasta las zonas explotadas en el último año y se previó extender estos trabajos hasta las nuevas zonas que se fueran explotando en el futuro, así como su prolongación hasta el final de la vida de la cantera.

El artículo demuestra que en la actualidad el desarrollo de la actividad extractiva requiere una guía de recuperación integral en la que no sólo se contemplen acciones para la recuperación ecológica de un medio degradado, sino que también propongan un nuevo uso al territorio para, de esta forma, dotarlo de un valor complementario al que posee por la existencia del recurso mineral a explotar.

Vadillo (2008), propone valorar la rehabilitación de espacios mineros desde distintas perspectivas, tomando en cuenta los esfuerzos realizados por la minería española y las actuaciones de empresas y especialistas para minimizar los impactos de esta actividad.

En el trabajo además, propone la rehabilitación de instalaciones e infraestructuras, así como de minas subterráneas y a cielo abierto después de culminados los trabajos mineros.

Aunque el autor plantea que España es uno de los países punteros en la recuperación minera, aún los ecologistas de este no se han puesto de acuerdo en la elaboración de una guía para recuperar los espacios minados, sobre todo, de las canteras de áridos que son las que más abundan en dicho país.

Mientras tanto, Merinero (2009) aborda el proceso de restauración de la explotación minera real de carbón a cielo abierto. El objetivo del proyecto fue la restauración e integración de la explotación en el paisaje. Para ello propuso la creación de un lago con el que se rellenarán los huecos producidos por la explotación; la restauración de vertederos y escombreras; así como, el desmantelamiento y retirada de maquinaria, infraestructura e instalaciones, tras valorar su estado y posible valor residual. Además se propusieron los posibles usos futuros del área de explotación.

Con este proyecto se pretendió que el área restaurada quedara integrada en el entorno e incluso que mejorara la calidad del área respecto a la situación previa a su explotación pero, aunque se propone un uso final para las zonas explotadas, el autor no describe un procedimiento a seguir para lograr dicho objetivo.

Por su parte Llupiá (2010), utiliza el relleno de las cavidades que se encuentran en el terreno, pues la cuestión de mayor interés en la recuperación, en lo posible, del impacto visual, es conseguir que el área quede integrada con su entorno desde el punto de vista paisajístico e incluso, si es posible, recuperar los usos agrícolas o ganaderos anteriores a la explotación.

Este autor plantea que lo más importante es la recuperación de la cobertura edáfica y que se debe establecer claramente la metodología a seguir en función de las características concretas del área y su distribución temporal en función de las actividades extractivas.

Por otra parte, Blanco (2011) realizó un estudio sobre la degradación y posterior recuperación del suelo en el emplazamiento de una zona de estudio que está situada junto al Barranco de Benet, en el valle delimitado por la Sierra de la Valld'Àngel, en el término municipal de Coves de Vinromá (Castellón, Este de España). En la misma existe una zona, inicialmente de uso forestal y en la cual se ubica una explotación de extracción de áridos.

En este estudio se analiza la situación actual del suelo, las causas de la degradación en cada uno de los casos y la restauración final del mismo, teniendo en cuenta tanto la litología del sustrato como la vegetación existente en la zona y su entorno, así como los impactos que se producen en el paisaje. En esta investigación no se propone un procedimiento para recuperar las áreas afectadas por la extracción de los áridos.

Algunos manuales y procedimientos específicos para la recuperación de áreas degradadas por la minería se han elaborado con contenidos que muestran la diversidad de medidas y técnicas para la recuperación de canteras. Cabe destacar autores como: Bauer (1970), Coppin & Bradshaw (1982), Holmberg & Henning (1983), Lyle (1987), Carcedo & Fernández (1989) y Alba (1995).

Otros autores a través de sus trabajos han realizado aportes en el campo de la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos; es el caso de:

Yazbek (1997), quien realiza una revisión de los procedimientos de recuperación de áreas degradadas por la minería en la Región Metropolitana de São Paulo, discute aspectos relacionados con el cierre definitivo de los yacimientos de la región, basado en el estudio de minas abandonadas y el análisis de la rehabilitación de antiguas áreas mineras que están ocupadas de manera desordenada en la actualidad.

Propone un procedimiento básico para la recuperación de áreas degradadas por la minería, teniendo en cuenta las explotaciones que se encuentran en regiones urbanas, pero no hace referencia a la planificación de la recuperación, aspecto muy importante pues en él se propone el uso final que debe dársele a la explotación que se encuentra en activo.

Son también relevantes los manuales de restauración de explotaciones mineras a cielo abierto de los gobiernos de Aragón y la Rioja (ANEFA, 2006) que describen recomendaciones que pueden ayudar a realizar proyectos de restauración de explotaciones en los que se consideren todas las variables necesarias para asegurar el éxito de la actuación.

También recogen medidas para una adecuada protección del medio ambiente que han de llevarse a la práctica durante las distintas fases de la restauración de terrenos. Es necesario aclarar, sin embargo, que no todas las medidas propuestas son universalmente aplicables.

Llama la atención la investigación de Montse & Vallejo (2010) que recoge la experiencia de 20 años de estudios de restauración de canteras de caliza a través de diversos proyectos de investigación que exponen en un manual cuyo objetivo es la integración de los espacios degradados con su entorno natural. En ellos los

autores consideraron la restauración ecológica, para uso agrícola y para uso forestal.

El manual es de gran importancia para la recuperación de canteras de rocas calizas pero no tiene en cuenta la explotación de otras canteras de materiales para la construcción, y sólo tiene en cuenta dos tipos de uso final para estos tipos de canteras.

En el manual para la restauración ecológica, Barrera (2010) presenta las fases para desarrollar un proyecto de restauración ecológica: reconocimiento del área, diagnóstico, zonificación, valoración y priorización de las áreas degradadas para la restauración ecológica, definición de metas y objetivos de la restauración, elaboración de modelos teóricos o de trayectorias de la sucesión del proyecto, definición de estrategias y técnicas de restauración, planteamiento del programa de evaluación y seguimiento y, por último, la ejecución del proyecto en terreno.

Finalmente, presenta algunas estrategias de restauración ecológica que pueden ser consideradas para neutralizar los efectos de los factores tensionantes y limitantes en las áreas o sistemas a ser restaurados e, igualmente, para acelerar los procesos de la sucesión en los diferentes tipos de áreas degradadas.

El procedimiento propuesto por el autor sólo tiene en cuenta dos elementos que son afectados en el ecosistema: la vegetación y la fauna. Tampoco propone un uso final para las áreas degradadas.

En la guía propuesta por Neri & Sánchez (2012) se presenta una relación de medidas con comprobada eficacia para transformar áreas minadas en áreas apropiadas para nuevos usos después de las actividades de la minería. Estas prácticas fueron compiladas por los autores durante visitas o inspecciones en

canteras de Brasil y el exterior a partir de guías nacionales e internacionales, normas técnicas y observaciones efectuadas.

El procedimiento de evaluación presentado en dicha guía es una herramienta para ayudar a las empresas de minería en el control de la aplicación de la recuperación ambiental durante la fase de explotación de la cantera. Esta herramienta también puede ser usada por órganos públicos, como parte de acciones de evaluación del desempeño ambiental.

Este es un documento de extraordinaria importancia por las medidas que plantea para la recuperación ambiental de canteras que se encuentran en activo. A pesar de esto no se expone un procedimiento coherente donde se muestren las etapas en que se pudieran utilizar cada una de las medidas propuestas.

Por su parte, Venegas (2014) elabora un modelo basándose en elementos del procedimiento de Bradshaw y obtuvo 38 variables a partir de la evaluación del potencial de restauración. El principal resultado del modelo está en evaluar el potencial de restauración de un ecosistema como una forma concreta y efectiva de conocer la viabilidad de un eventual proceso de restauración y en calificar dicha viabilidad en términos de porcentaje o probabilidades, considerando los aportes, afectaciones o disponibilidad de cada uno de los factores.

A pesar de proponer un modelo para la restauración que incluye los elementos del medio biótico y abiótico, no se establece una secuencia lógica de pasos para recuperar los terrenos que son afectados por la minería.

Por último, Somenson (2014) propone una serie de criterios y procedimientos dirigidos a la organización de tareas de planificación y programación de obras de

restauración ambiental de canteras abandonadas como fuentes de materiales para obras viales.

La metodología sigue una secuencia de etapas y pasos lógicos que parte de la identificación y caracterización de las canteras viales, continua con el ordenamiento en niveles de riesgo socio ambiental, sigue con la selección de alternativas de restauración ambiental y finaliza con la definición de criterios para la redacción de términos de referencia para la realización de proyectos de obras de restauración ambiental.

El procedimiento abordado en el manual sólo es aplicado a canteras abandonadas y no tiene en cuenta los elementos que pudieran estar presentes en las canteras que se encuentran en explotación.

Aunque son varios los procedimientos y manuales elaborados para recuperar las áreas degradadas en canteras, la mayoría son trabajos teóricos que no se aplican a ningún yacimiento en específico para demostrar su aplicabilidad y verificar sus resultados.

1.4 Legislación relacionada con la protección ambiental y la recuperación de áreas degradadas

El crecimiento de la degradación del medio ambiente ha sido uno de los principales temas abordados en el marco de la Organización de Naciones Unidas (ONU). Así se evidencia en la Conferencia de Estocolmo en 1972, que condujo, entre otras derivaciones, a la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Medio Ambiente (PNUMA).

Uno de los principales obstáculos prácticos en la aplicación de la política pública para la protección de las áreas degradadas a nivel internacional ha sido garantizar

recursos para la recuperación efectiva de estas, principalmente, debido a los altos costos financieros que pueden estar implicados en los casos en que la degradación alcanza un alto nivel.

Para superar esto, algunos países industrializados, como los EE.UU, Canadá y Alemania, han establecido políticas específicas para la recuperación de áreas degradadas, las cuales se basan en la creación de mecanismos para asegurar los recursos financieros necesarios para aplicar las medidas correctivas.

Un análisis comparativo de los aspectos legales relacionados con el aprovechamiento de agregados en diferentes regiones del mundo revela que la recuperación de áreas degradadas es obligatoria en los países industrializados como: EUA, Francia, Italia, Rusia y Canadá (Yazbek, 2006).

En el caso particular de Francia, en una evaluación general de la legislación ambiental relacionada con el aprovechamiento de los áridos, se percibe que se establece como directriz general, la exigencia de la reconstitución del suelo a sus condiciones originales después de concluidas las actividades de extracción y la creación de un órgano administrativo para examinar las solicitudes de extracción de minerales con la representación de todos los sectores involucrados, incluyendo a las personas directamente afectadas y a las entidades ambientales (Arnould, 1989).

La evolución de la normativa sobre minería y medio ambiente en los distintos países en desarrollo (China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas y Tailandia), han mostrado una creciente preocupación por la necesidad de incorporar mecanismos para garantizar la recuperación efectiva de las áreas degradadas y la participación

de las organizaciones no gubernamentales en la formulación de políticas públicas (Jayawardena, 1994).

En el caso de América Latina, las legislaciones, producto de la nueva conciencia social, se dan a partir de la década de 1990. A partir de ese momento se erigen las nuevas instituciones y los textos legales como testimonio del papel público frente al manejo, conservación y protección de los recursos naturales. La tabla 1 muestra el progreso cronológico de la creación de las legislaciones ambientales en la Región Andina.

Tabla 1. Evolución cronológica de la creación de las legislaciones ambientales en la Región Andina

País	Ley	Año
Colombia	Decreto 2811	1974
Venezuela	Ley orgánica de ambiente, No. 31.004	1976
Bolivia	Ley No. 1333	1992
Ecuador	Ley de gestión ambiental, ley No. 37. RO/245	1999
Perú	Ley general del ambiente No. 28611	2005

En el caso de Cuba, se presta especial atención a la protección del medio ambiente en el contexto de una política de desarrollo consagrada en la obra revolucionaria iniciada en 1959. La protección del medio ambiente constituye un factor relevante para los fines de la defensa nacional y una garantía para la soberanía, en tanto contribuye a asegurar la disponibilidad de los recursos naturales indispensables para la satisfacción de las necesidades básicas de la población.

La Ley No. 76 de Minas (1995), aprobada el 23 de enero 1995, establece la política minera y las regulaciones jurídicas de dicha actividad. Además traza directivas

obligatorias, controladas por los funcionarios de gobierno vinculados con la actividad.

Dicha ley establece en su artículo 41 que “todos los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios de impactos y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de la actividad minera en los términos que establece la legislación”.

En el artículo 57 señala que “los concesionarios pueden perder esta condición si no cumplen con el programa de ejecución de las medidas de mitigación” y en el 65 señala la obligación de restaurar tras el cierre de la mina.

Como instrumento legal para regir la política ambiental en Cuba, se aprueba la Ley No. 81 de Medio Ambiente (1997), complementada con el Decreto Ley No. 200, de las Contravenciones en materia de medio ambiente (1999).

Esta ley en su artículo 13 establece que: “los organismos que tienen a su cargo el uso y administración de recursos naturales, en cumplimiento de sus deberes, atribuciones y funciones específicas relativas a la protección del medio ambiente, deben incorporar y evaluar los requerimientos de la protección del medio ambiente en sus políticas, planes y programas de desarrollo y ejecutar proyectos con vista a garantizar la sostenibilidad de su gestión y contribuir al desarrollo de la vida en un medio ambiente adecuado, valorando científicamente los factores ambientales.”

Otra de las regulaciones jurídicas relacionadas con la rehabilitación minera es la Ley No. 85 Ley Forestal (1998) que en su artículo 35 inciso (a) plantea que “la forestación o reforestación será de carácter obligatorio en los terrenos donde se haya realizado extracción de minerales a cielo abierto.”

Dentro de los Decretos ley y Resoluciones relacionados con la protección minero-ambiental se puede mencionar el Decreto-Ley 222 “Reglamento de la Ley de Minas” (1997) y la Resolución 132 del CITMA “Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental” (2009).

La institucionalización de la gestión ambiental alcanza su clímax con la promulgación de la Ley No. 81 del Medio Ambiente, donde se definen la estructura y principales funciones de los centros especializados en la gestión ambiental.

En 1999, se crea el Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) que fue designado autoridad responsable de la actividad de control y regulación del medio ambiente.

A partir del 2001 esta entidad emitió las guías para la realización de las solicitudes de licencia ambiental y los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), para los diferentes tipos de proyectos y se actualizaron en el 2009.

En la década de los 90, el Estado cubano dictaminó la realización del Sistema de Normas Cubanas dirigidas, en el orden geográfico, al óptimo ordenamiento territorial del país en consonancia con el necesario equilibrio entre el uso racional de los recursos naturales, la protección y conservación de la naturaleza y la calidad del hábitat humano.

Las principales normas cubanas relacionadas con esta investigación son las siguientes:

- ✓ NC 28 Calidad del suelo. Clasificación de las tierras afectadas para la restauración (1999).

- ✓ NC 29. Calidad del suelo. Restauración de las tierras. Términos y definiciones (1999).
- ✓ NC 30 Calidad del suelo. Tierras alteradas. Requisitos generales para la restauración (1999).
- ✓ NC 31 Calidad del suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de tierra (1999).
- ✓ NC 27 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado (2012).
- ✓ NC 1020 Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (2014).
- ✓ NC 1059 Calidad del aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas (2014).

Otro claro ejemplo de esta preocupación por el medio ambiente son los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (2011). Entre ellos, el Lineamiento 218 plantea: “prestar atención prioritaria al impacto ambiental asociado al desarrollo industrial existente y proyectado, en particular, en las ramas de la química; la industria del petróleo y la petroquímica; la minería, en especial el níquel; el cemento y otros materiales de construcción; así como en los territorios más afectados; incluyendo el fortalecimiento de los sistemas de control y monitoreo.”

1.5 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba

Algunos autores han investigado y realizado trabajos sobre rehabilitación minera en Cuba. Una de las primeras investigaciones realizadas sobre la recuperación de

áreas minadas fue la efectuada por Pous (1985), el autor hace referencia al deterioro de diferentes recursos naturales universales como el agua, el aire y los bosques.

Ya desde ese tiempo se plantea la necesidad de tomar en cuenta desde un inicio la correlación adecuada entre el sistema de explotación del yacimiento y la disposición del mismo, de forma tal que, una vez finalizada la extracción, permita acometer las labores previstas para su recuperación.

En el trabajo también se describen los avances que ha tenido la Revolución en materia de protección minero ambiental con el anteproyecto de la Ley de Minas y la Ley de Protección del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales que contemplan la regulación de las actividades que afectan el medio ambiente, así como la obligatoriedad de recuperar las zonas devastadas por la minería. Propone el uso forestal del suelo y no hace referencia a las demás alternativas de uso final.

Por su parte, Riverón (2003), elaboró un plan para la rehabilitación de las áreas afectadas por los efectos de la actividad minera, caracterizó el medio ambiente de la región y del área de los trabajos, describió el método de explotación empleado para la extracción de la materia prima mineral, evaluó el impacto ambiental que se genera a partir de la rehabilitación minera y propuso el plan para la rehabilitación ecológica y técnico minera de 11,25 ha afectadas por la minería, básicamente en el sector La Plazuela.

Calculó, además, el costo total de dicha rehabilitación. Sin embargo, el plan de rehabilitación descrito por el autor sólo permitió disminuir o mitigar los impactos

ambientales negativos generados por la explotación y es aplicable solamente a yacimientos de grava.

Por otro lado, Mamin (2003), realizó un proyecto de rehabilitación, con el que logró integrar, de forma sostenible las condiciones medio-ambientales y económicas del territorio. Su principal resultado está dado por el desarrollo de una metodología explícita para la rehabilitación del terreno degradado durante la extracción de arena del yacimiento, que permite minimizar los impactos y resarcir los daños ocasionados al medio ambiente por extracciones antiguas.

Ulloa (2004) recomienda algunas acciones para la rehabilitación de una cantera de mármol y da soluciones temporales para minimizar los impactos actuales en las zonas en desuso, el reordenamiento ambiental de la zona de la cantera y el establecimiento de la simultaneidad entre el proyecto de rehabilitación y el de explotación para una mejor recuperación posterior de los frentes. Para ello partió de criterios de compatibilización con los usos existentes en el entorno. Es meritorio que propuso acciones de rehabilitación técnica y biológica pero no se propone un uso final a la explotación.

Igualmente, Andrea & Xavier (2006) dan respuesta a la problemática ambiental que existe en un área a partir de una propuesta de proyecto de recuperación, el cual cuenta con dos variantes basadas fundamentalmente en la reforestación con especies endémicas, naturales y forestales.

Para ello trabajó con metodologías españolas y trabajos similares realizados en Cuba, a partir de la identificación de los impactos ambientales generados durante la explotación minera y al cese de las actividades extractivas. El procedimiento descrito sólo tiene en cuenta la identificación y caracterización de los impactos y

las medidas para mitigarlos, para ello se empleó una matriz causa-efecto (Matriz de Leopold).

De igual manera, Díaz (2009) propone un plan de recuperación de una cantera una vez concluida la explotación del yacimiento, en el que describe los componentes del medio ambiente, identifica los impactos ambientales que genera la explotación, plantea medidas de prevención y mitigación que respondan a los efectos que sobre el medio ambiente origine dicha explotación y propone variantes de recuperación de las áreas degradadas.

Aunque el autor describe un plan para la recuperación de la cantera, éste es solo para la etapa de cierre del yacimiento y tampoco se tienen en cuenta las alternativas de uso final.

Herrero et al. (2009), señalan los impactos negativos generados durante el proceso de explotación de los yacimientos lateríticos de Nicaro y Mayarí y ofrecen resultados experimentales, en los que la opción de uso de los terrenos afectados es forestal. Hay que señalar que no se analizan otras alternativas de uso de los terrenos afectados, pues estos pueden ser utilizados para diferentes fines teniendo en cuenta la capacidad del suelo y las necesidades económicas y sociales de la región.

Es también relevante el artículo de Chaviano et al. (2011) que proponen recomendaciones para mejorar la rehabilitación técnica y biológica en la minería, con lo que se contribuye a la mitigación de los impactos negativos que esta produce, en aras de conjugar el desarrollo económico y social. Los autores demuestran la importancia de las labores de rehabilitación técnica y biológica en

yacimientos de níquel y plantean que en dependencia del uso final del área explotada se deben usar otras especies en la rehabilitación biológica.

De la misma forma, Milián (2014) diseñó un procedimiento para rehabilitar las áreas afectadas por la minería en yacimientos piríticos polimetálicos cubanos, explotados a cielo abierto, que constituyen pasivos ambientales mineros. El procedimiento se basó en un estudio del medio físico, en la evaluación y la caracterización de las áreas afectadas, en el inventario de las zonas de riesgos y en la trayectoria y extensión de la contaminación.

Mediante el criterio de expertos determinó los principales factores geo-ecológicos y socioeconómicos que inciden en la rehabilitación de las áreas afectadas y evaluó la efectividad del procedimiento propuesto. El procedimiento pudiera ser aplicado a otros tipos de yacimientos, aunque no se demuestra.

Por último, Fuentes (2014), estableció un procedimiento que a través de planes de manejo minimiza las afectaciones ambientales que generan las canteras abandonadas, el mismo se fundamentó en el levantamiento, diagnóstico y caracterización in situ de 250 canteras. Del procesamiento resultó un dendograma que permitió agrupar las canteras en 4 grupos.

A cada uno de estos grupos, según la complejidad que significaría su reutilización o minimización del riesgo que implican, le corresponde una propuesta de plan de manejo a partir de una variante de uso. El procedimiento elaborado por el autor se destaca por su utilización para canteras en abandono.

Además, en Cuba existen entidades dedicadas a la elaboración de proyectos de rehabilitación. En el caso de la minería del níquel se encuentran la Empresa de Rehabilitación Minera del grupo empresarial Cubaníquel (REMIN) y el Centro de

Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), mientras que para el caso de las canteras de materiales para la construcción, se encuentran la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) y la Empresa de Servicios Minero Geológico (EXPLOMAT).

Dichas empresas a pesar de que realizan el proyecto de rehabilitación, solo tienen en cuenta la evaluación de los impactos ambientales y las medidas para mitigarlos.

1.6 Aplicación de los S.I.G a la recuperación minera

Los S.I.G son las herramientas que se han desarrollado mundialmente para generar la información que permita tomar decisiones para realizar un uso inteligente de los recursos naturales. Estos sistemas son un conjunto de datos (descriptivos y georreferenciados), de métodos de análisis y de aplicaciones informáticas que permiten gestionar y suministrar información sobre un soporte cartográfico (mapas y planos).

Así, las funcionalidades de los S.I.G consisten en la captura, el almacenamiento, el análisis y la visualización de datos georreferenciados. Su principal ventaja en la protección del medio ambiente radica en la creación de mapas temáticos del medio natural y el seguimiento de su estado de conservación, además permiten la modelación de variables ambientales.

Aunque en la minería se han aplicado los S.I.G, no han sido utilizados en todas las etapas de la minería, se han limitado sobre todo a la etapa de exploración minera. Algunos ejemplos de aplicación de los S.I.G a la recuperación de áreas degradadas son las investigaciones relacionadas a continuación:

Ferreira et al. (2008) definió y cuantificó cuatro indicadores de degradación ambiental en la minería de arena y roca ornamental (erosión, irregularidad del terreno, suelo expuesto y la vegetación) en Ubatuba, municipio del Estado de Sao Paulo. Finalmente, obtuvo el índice numérico de degradación.

La herramienta utilizada en este proceso de análisis fue el S.I.G SPRING por el que se clasificaron las áreas degradadas según su nivel de recuperación en: áreas recuperadas, parcialmente recuperadas y degradadas. Su principal importancia radica en la obtención del índice cuantificado de recuperación ambiental para estas áreas de explotación de arena.

Por su parte, Fernandes & José (2010) evalúan la aplicación de tres métodos diferentes para el análisis de la vulnerabilidad ambiental en la cuenca hidrográfica del río Corumbataí (SP). Los métodos aplicados fueron: análisis multicriterio, método con apoyo de índices de disección del relieve y método con apoyo de las clases de pendiente.

Considerando que todos los factores ambientales analizados tienen grados de importancia diferentes, se concluyó que, para el análisis ambiental de las áreas seleccionadas, el método que mejor expresó esa diferencia fue el análisis multicriterio.

Más tarde, Ocampo (2011) estudió 20 canteras cuyos sedimentos explotables son de origen fluvial. Los sitios se posicionaron geográficamente con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y los datos obtenidos fueron ingresados a un visualizador de imágenes satelitales y a un S.I.G. En dicha investigación se recogen los datos de las canteras y su situación actual, no se propone un uso final ni medidas para la recuperación de estas canteras.

Por otra parte, Da Silva & Aparecido (2011) caracterizaron y evaluaron la fragilidad ambiental natural en la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo, localizada en los municipios de Ituiutaba y Plata. Para obtener la fragilidad ambiental natural de la cuenca hidrográfica, se utilizaron tres variables como parámetros: la pendiente, los suelos ubicados en la cuenca y el uso de la tierra.

Los mapas temáticos generados a partir de estos parámetros a través de los S.I.G, dieron lugar al mapa de fragilidad ambiental, con lo que se obtuvieron las áreas de alta y media fragilidad ambiental.

Es destacable además, el trabajo de Corzo (2012) en el cual desarrolla una propuesta de diálogo interdisciplinar a través del uso de herramientas S.I.G para la construcción de una metodología de identificación del Potencial de Restauración Ecológica (PRE) en áreas de borde urbano. Estas áreas susciben problemáticas socio ambientales particulares, propias de la interacción entre naturaleza y cultura.

En tal sentido, describió los pasos metodológicos para la identificación del PRE: caracterización biótica, física y social; identificación de variables; ponderación y cruces para el cálculo del potencial final. Luego expuso los alcances y limitaciones del uso de herramientas S.I.G como posibilidad metodológica para la interacción entre disciplinas como la biología, la geografía física y la sociología durante el proceso de restauración ecológica.

Finalmente, Fernández (2012) planteó que una forma eficiente de afrontar la planificación y control de la restauración de la minería a cielo abierto es a través de la utilización de la información suministrada por imágenes satelitales en

sistemas de información geográfica, como base para sistemas de soporte a la decisión de los gestores de la ordenación del territorio.

Conclusiones parciales

- La revisión bibliográfica demostró que a nivel internacional la recuperación de áreas degradadas ha sido implementada como un importante instrumento de política pública en el área ambiental. En Cuba a partir de la década del 90 y hasta la actualidad se han establecido una serie de leyes, decretos, normas y resoluciones relacionadas con la protección medio ambiental, de manera tal que garanticen el aprovechamiento racional de los recursos minerales en función de los intereses de la nación.
- En las investigaciones revisadas se evidencia que en el país la temática sobre recuperación de áreas degradadas ha sido tratada fundamentalmente, en la minería del níquel; sin embargo en ninguno de los casos se propone un procedimiento para la recuperación de áreas minadas en canteras de áridos que se encuentran en explotación, sólo se encaminan a la identificación y caracterización de los impactos para proponer medidas de mitigación.
- Aunque los S.I.G tienen gran aplicación en la actualidad, en la parte ambiental de la minería sólo se han utilizado para obtener la degradación ambiental en áreas degradadas por la minería. Hasta el presente no se han integrado estos softwares para recuperar las áreas degradadas en canteras de áridos.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN CANTERAS DE ÁRIDOS

2.1 Introducción

Para realizar un plan de recuperación de un área degradada se deben conocer todos los condicionantes geoecológicos (clima, geología, litología, fauna, flora, hidrología, paisaje, etc.) y culturales (demografía, economía e historia) del entorno a recuperar. También, es importante dominar la problemática del lugar (si ha habido contaminaciones del suelo, del agua, si ha habido compactaciones, edificaciones, etc.).

Del mismo modo, se tiene que fijar una “imagen objetivo” del lugar ya recuperado con los usos que tendrá (agrícola, ganadero, forestal, industrial, etc.).

Aunque existe una correlación directa entre la mayoría de las degradaciones y las actuaciones o medidas de corrección a acometer, el diseño global de la recuperación debe orientar todas las intervenciones, tanto desde el punto de vista de integración paisajística y ecológica como del uso futuro al que se pretende destinar el espacio (Brollo et al, 2002).

A partir de los requerimientos de los usos y actividades a desarrollar en el espacio y de los factores condicionantes y limitantes se deben definir los modelos de recuperación a aplicar a cada unidad del espacio. Cada modelo de recuperación consiste, básicamente, en una imagen objetivo en términos de cobertura vegetal o características de la superficie del terreno.

Las bases fundamentales para establecer criterios y modelos de recuperación de explotaciones están relacionadas con los suelos, la vegetación y el clima del área en estudio, así como, con las geometrías finales de huecos y escombreras (Arranz, 2004).

La adopción del tratamiento correcto de recuperación de las áreas degradadas por la actividad minera depende de su identificación y caracterización.

Estas áreas degradadas se producen cuando hay una pérdida de la adaptación a la integridad física, química y del medio ambiente biológico, lo que puede desarticular su desarrollo socio económico y ambiental (Sánchez, 1998).

Ahora bien, el primer paso de un programa de recuperación de un área degradada debe ser la evaluación preliminar de la degradación, a través de un cuidadoso diagnóstico de los procesos que allí actúan y de sus consecuencias ambientales. Para ello, es necesario el empleo de indicadores ambientales que traduzcan el nivel de la degradación existente.

2.2 Obtención de los indicadores de degradación ambiental en las áreas afectadas por la explotación de canteras de áridos

En la medida de la aparición de los problemas ambientales y la creciente preocupación del hombre por medir y valorar los daños causados al ambiente con el fin de establecer las medidas correctoras, la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en la Agenda 21, capítulo 40, señala la necesidad de crear indicadores de desarrollo sostenible (CNU-MAD, 1993).

Existen diferentes concepciones sobre la definición del concepto indicador, pero la definición más divulgada, aceptada y desarrollada a nivel internacional, ha sido la que propuso la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OECD, 1993).

Esta organización internacional considera que un indicador es un parámetro o valor resultante de otros parámetros, dirigido a proveer información y describir el estado de un fenómeno con un significado más amplio que el directamente asociado con la configuración del parámetro.

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 de áridos, la metodología a emplear debe ser la consulta a expertos a través del Método Delphi.

Este método pretende obtener una visión colectiva de expertos sobre un tema a partir de rondas repetidas de preguntas. Es un método con el que se puede obtener y depurar los juicios de grupo. Su utilización es verdaderamente efectiva a la hora de recoger información de un grupo que es considerado como un conjunto único para analizar y resolver un problema específico (Linstone & Turoff, 1975).

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.

1. Elaboración del cuestionario

El cuestionario se elaboró teniendo en cuenta los indicadores que intervienen en la degradación de áreas degradadas en canteras de áridos (anexo 1).

Para determinar los indicadores que serían sometidos a consideración de los expertos, se realizaron trabajos de campo en 37 canteras de áridos del Oriente de Cuba que representan el 35% de las canteras de áridos del país, además se consultaron a los especialistas de medio ambiente de cada una de estas canteras. Finalmente, se identificaron las características más representativas y comunes en los diferentes escenarios mineros estudiados, del medio geológico, ecológico y minero.

2. Determinación del número de expertos

Una vez elaborado el listado de indicadores, se realizó la selección de los expertos a partir del cálculo del número de expertos (n), tomado de Legrá & Silva (2007):

$$n = p(1-p) \left(\frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

d : error admisible y que algunos autores recomiendan entre 0,14 y 0,5 (Martin, 2006).

p : proporción o probabilidad de fallo (valor entre 0 y 1)

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$: constante cuyo valor está asociado con el nivel de confianza seleccionado.

Para un nivel de confianza del 95 %, se toma $Z = 1,96$ (Martin, 2006).

Tomando: $d = 0,25$ y $p = 0,2$, se obtiene, al sustituir en la expresión (1) que:

$n = 9,83$, por lo que se necesitan 10 expertos.

3. Selección de los expertos

Para determinar el coeficiente de competencia de los 14 expertos seleccionados preliminarmente, se envió el cuestionario (anexo 2) y se calculó su coeficiente de competencia.

Finalmente, fueron escogidos 10 expertos, según su grado de competitividad y se analizaron sus características técnico-profesionales (anexo 3). Como resultado se obtuvo lo siguiente: expertos con un alto nivel de competitividad: 71,43% y expertos con un nivel medio de competitividad: 28,57 %

Por tal razón, se seleccionaron 10 expertos con un coeficiente de competitividad promedio de $K_c \geq 0,81$.

4. Realización de las rondas para obtener el consenso de los expertos

Las encuestas confeccionadas se enviaron a los expertos para obtener criterios cualitativos en una primera ronda y cuantitativos en las rondas dos y tres, lo que permite obtener una unidad de criterios acerca de los aspectos que mayor incidencia tienen en los procesos analizados.

- Primera ronda para obtener un consenso de criterios

En esta ronda se somete al criterio de los expertos el cuestionario elaborado (anexo 1), para seleccionar los indicadores más importantes que influyen en la degradación de canteras. Se analizaron los indicadores propuestos y fueron adicionados tres, por sugerencia de los expertos: clima, litología y características del recurso minero. Finalmente, se aceptaron 10 indicadores que pasaron a la siguiente ronda (tabla 2).

- Segunda ronda para determinar los indicadores que influyen en la degradación (anexo 4).

En esta ronda, primeramente, se obtuvieron las tablas de frecuencia absoluta (anexo 4.1), después, la tabla de frecuencia acumulada (anexo 4.2) y, más adelante, la tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada.

Las categorías evaluativas empleadas fueron, en orden descendente: muy adecuado (MA), bastante adecuado (BA), adecuado (A), poco adecuado (PA) e inadecuado (I). Se seleccionaron siete indicadores que pasaron a la tercera ronda.

Para la confección de esta última, se dividió el valor de cada celda de la tabla anterior entre el número de expertos consultados, en este caso 10. El cociente de esta división se aproximó hasta las diez milésimas.

Se eliminó la última columna porque se trata de cinco categorías y se requieren cuatro puntos de corte (anexo 4.3).

Tabla 2. Indicadores seleccionados por los expertos que pasaron a segunda ronda

No	Indicadores
1	Relieve del terreno
2	Pendiente del terreno
3	Erosión del suelo
4	Fertilidad del suelo
5	Calidad del agua
6	Calidad del paisaje
7	Presencia de flora y fauna
8	Clima
9	Litología
10	Característica del recurso minero

Posteriormente, se buscaron las imágenes de cada uno de los valores de las celdas de la tabla anterior, por la inversa de la curva normal (anexo 4.4) y se compararon los resultados obtenidos en cada uno de los ítems que se consultaron, con los respectivos puntos de cortes, para llegar a conclusiones sobre la categoría en que los expertos coincidieron en ubicar los ítems sometidos a su criterio (anexo 4.5).

Se obtuvo coincidencia entre los criterios seleccionados por los expertos con los indicadores previamente considerados por el autor para determinar la degradación en canteras de áridos.

En esta ronda se sometieron 10 indicadores al proceso de selección y se eliminaron los que recibieron menor apoyo de los expertos.

- Tercera ronda para obtener la influencia de cada indicador seleccionado (anexo 5)

Se sometieron los siete indicadores al criterio de los 10 expertos, los que se ordenaron desde 1 (mayor influencia) a 7 (menor influencia).

Con las evaluaciones realizadas por cada experto, se determinó el grado de concordancia a través del coeficiente de Kendall (Ken), por la fórmula 2, tomado de Martin (2006), cuyo valor oscila entre 0 y 1. Se consideró que cuando $Ken > 0,7$ existe elevada concordancia entre los expertos y cuando $Ken < 0,4$ no existe concordancia.

$$K = \frac{12 \sum_{j=1}^P (S_j - S_{med})^2}{M^2 (P^3 - P)} \quad (2)$$

Donde:

P: número de criterios que se valoran,

M: cantidad de expertos encuestados,

S_j : suma de los valores asignados por los expertos a cada criterio j,

Smed: valor medio de (S_j) con respecto al número de criterio P.

Del procesamiento de las encuestas se obtuvo el siguiente valor del coeficiente de Kendall: $Ken = 0,73$ lo que confirma la existencia de elevada concordancia entre los expertos.

- Evaluación de los resultados a partir de la prueba de hipótesis

Finalmente, se realizó la prueba de significación para determinar la concordancia entre los criterios expresados por los expertos. Al respecto, se definieron las siguientes hipótesis con un nivel de significación de 0,05:

Hipótesis nula: (H0): No existe consenso entre los expertos con relación a los criterios emitidos ($K=0$).

Hipótesis alternativa: (H1): Los expertos están de acuerdo, hay consenso entre ellos ($K \neq 0$).

De la tercera ronda se obtuvo que $Ken = 0,74$, lo que permite calcular

$$\chi^2 \text{ calculada} = M (P-1) Ken. \quad (3)$$

$$\chi^2 \text{ calculada} = 43,8$$

$$\chi^2 (0,05, 6) = 12,591 6$$

Puesto que χ^2 calculada $>$ χ^2 tabulada, se aceptó la hipótesis alternativa, por lo que se puede afirmar que existe concordancia entre los expertos.

Los expertos determinaron que los indicadores que permiten evaluar la degradación en canteras de áridos son los siguientes:

1. Relieve del terreno
2. Calidad del paisaje

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

- **Determinación del peso de los indicadores**

El algoritmo definido para el cálculo y obtención del plano de degradación ambiental requiere la ponderación de los diferentes indicadores involucrados, por lo tanto se eligió, la técnica estadística de Evaluación Multicriterio (EMC) para la determinación objetiva de los pesos asignados a los criterios que intervienen en la degradación de canteras.

La importancia de este método radica en que, luego de la asignación de los pesos, otorga una medida global de consistencia a la matriz obtenida y permite valorar la relación de los criterios entre sí.

Existen diferentes técnicas dentro de la EMC para otorgar a cada criterio el valor que se merece. La selección de una técnica u otra para la estimación de los pesos de los criterios, depende del tipo de problema que se tenga y del resultado que el centro decisor quiera obtener.

Entre estos, 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).

Se eligió este método debido a que frente a otros métodos de decisión multicriterio cuenta con las siguientes ventajas:

- Presenta un sustento matemático
- Permite desglosar y analizar un problema por partes
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común
- Incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés y genera un consenso
- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones si es necesario
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar el análisis de sensibilidad
- Es de fácil uso y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

Se basa en tres pilares o pasos fundamentales para su realización:

1. Generación de la matriz de comparaciones: al compararse los diferentes criterios entre sí, en la diagonal principal solo puede aparecer el valor 1 (anexo 6). Mientras que las demás casillas de la matriz se van rellorando según la importancia de un criterio respecto al otro, con el uso de la escala de preferencias de comparación por pares de Saaty (tabla 3).

2. Cálculo de los pesos: se suman los valores en cada columna de la matriz y se divide cada elemento por el total de su columna, con lo que queda normalizado cada uno de los elementos (anexo 7).

Tabla 3. Escala de preferencias de comparación por pares (Saaty, 1980)

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

3. Finalmente, se calcula el promedio de cada fila de la matriz normalizada y los valores medios serán los pesos que se asignarán a cada criterio (anexo 8).
4. Estimación de la consistencia: se calcula el *ratio* de consistencia. Si tiene un valor inferior al 10%, el nivel de consistencia se considera razonable.

La estimación de la consistencia se realiza para ver si ha habido alguna incongruencia a la hora de valorar la importancia entre los pares de criterios.

Para el cálculo del índice de consistencia (CI) (anexo 9), se multiplica cada columna por su peso y se suman los valores respectivos de las filas y se obtiene el vector. Posteriormente, se dividen los elementos del vector obtenido por el correspondiente peso de cada criterio y se realiza la media de los valores calculados anteriormente, esta media se denomina λ_{max} y n el número de criterios a comparar.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$CI = 0,102$$

Por último, se computa el *ratio* de consistencia (CR) que está definido como:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

$$CR = 0,08$$

Donde RI representa el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares, generada aleatoriamente. El valor de RI depende del número de ítems que están siendo comparados (tabla 4).

Por lo tanto, para este caso con $n = 7$ criterios, se tendrá una $RI = 1,35$ y un *ratio* de consistencia de 0,08 (8%).

Tabla 4. Índice promedio de consistencia aleatorio (RI) (Saaty, 1994)

No	3	4	5	6	7	8	9
Índice de consistencia aleatorio	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45

El valor obtenido del *ratio* de consistencia demuestra que no existe incongruencia en el otorgamiento de importancia en la matriz de comparación por pares.

Una vez obtenido el peso de los indicadores (tabla 5) se procedió a caracterizarlos y a proponer los criterios para su valoración.

Tabla 5. Peso de los indicadores

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

2.3 Caracterización de los indicadores obtenidos

La Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUCG) creó en 1992 la comisión de ciencias geológicas para el planeamiento ambiental, conformada por un grupo de investigadores que tenían la tarea de desarrollar indicadores geológicos.

El resultado obtenido fue una lista de 27 indicadores, cuyo formato posibilita saber dónde, cuándo y cómo cada parámetro puede ser medido; su significación para su evaluación ambiental; las causas y otras informaciones adicionales (Berger & Iams, 1996).

Teniendo en cuenta el formato para la caracterización de los indicadores ambientales elaborado por la IUCG, se realizaron las fichas para cada uno de los indicadores obtenidos en la investigación (anexo 10).

2.4 Criterios de valoración del sistema de indicadores para las canteras de áridos

- Obtención de la escala de valoración de los criterios

La medición de los criterios puede realizarse por medio de cuatro escalas de medición, dos de las escalas miden criterios cualitativos (nominal y ordinal) y las otras dos miden variables cuantitativas (de intervalo y de razón) (Therese, 1997).

Debido a las características y ventajas que presenta la escala ordinal se optó por ella, ya que la misma establece preferencias, no mide magnitudes, es de fácil diseño, de fácil comprensión, sin sesgos en su redacción y no fatiga si hay que jerarquizar pocos conceptos (Sabina, 1992).

La escala de evaluación de los criterios se obtuvo a partir de reglas del método Delphi; se tomó una escala variable entre 1 y 3, siendo 3 el valor que más influye en la degradación y 1 el que menos influye (tabla 6).

Tabla 6. Criterios de valoración para los indicadores seleccionados

Indicador	Valor	Criterios de valoración
Relieve del terreno	1	Relieve plano
	2	Ligeramente ondulado
	3	Relieve abrupto
Calidad del paisaje	1	Bien preservada
	2	Deteriorada por acciones humanas
	3	Lugar destruido
Calidad del agua	1	Agua no contaminada
	2	Agua levemente contaminada
	3	Agua muy contaminada
Pendiente del terreno	1	0-15 ⁰ plano a ligeramente plano
	2	15-35 ⁰ inclinado
	3	> 35 ⁰ escarpado
Erosión del suelo	1	Sin erosión
	2	Moderadamente erosionado
	3	Severa
Fertilidad del suelo	1	Alta
	2	Media
	3	Baja
Presencia de flora y fauna	1	Alto (se presenta la totalidad de las especies existentes en la región)
	2	Medio (se presentan hasta el 50 % de las especies existentes en la región)
	3	Bajo (no aparecen ninguna de las especies presentes en la región)

2.5 Identificación y caracterización de las áreas degradadas

En cualquier trabajo de recuperación la primera actividad a realizar debe ser la identificación y caracterización de los procesos de degradación actuantes y el análisis de sus consecuencias ambientales.

2.5.1 Determinación del tamaño de la muestra

Para la obtención de la base de datos para confeccionar los planos, teniendo en cuenta el plano topográfico del yacimiento se determinan los puntos a través del método aleatorio simple.

Este método estadístico da la probabilidad a cada uno de los miembros de una población a ser elegidos y permite obtener conclusiones en la muestra e inferir lo que pudiera ocurrir, a partir de ésta, en la población, con un elevado grado de pertinencia. Estadísticamente permite inferir a la población los resultados obtenidos en la muestra (Devore, 2000). (Fórmula 6 y 7).

La determinación del tamaño de la muestra se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon} \right)^2 * p * q \quad (6)$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (7)$$

Donde:

n_0 : cantidad teórica de elementos de la muestra.

n : cantidad real de elementos de la muestra a partir de la población asumida.

N : número total de elementos que conforman la población.

z : valor estandarizado en función del grado de confiabilidad de la muestra calculada.

ε : error asumido en el cálculo (se toma entre 0,05 y 0,1)

q: probabilidad de la población que no presenta las características (se toma entre 0,01 y 0,20).

p: probabilidad de la población que presenta las características. Como $p + q = 1$
(Probabilidad máxima) $\Rightarrow p = 1 - q$ (8)

2.5.2 Obtención del plano de degradación ambiental

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 del S.I.G.

La base de datos se introduce en el programa ArcGis y se obtienen los planos temáticos para cada uno de los indicadores (figura 1).

Finalmente, para la generación del plano de degradación ambiental del área, se utiliza 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 (Malczewski, 2006).
(Fórmula 6).

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j * v_{ij} \quad (9)$$

Donde:

r_i : nivel de adecuación de la alternativa i

w_j : peso del criterio j

v_{ij} : valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

La metodología para la evaluación de la degradación ambiental se resume en la figura 2, en la que se presenta la estructura del S.I.G y el orden lógico para la obtención del plano final de degradación ambiental.

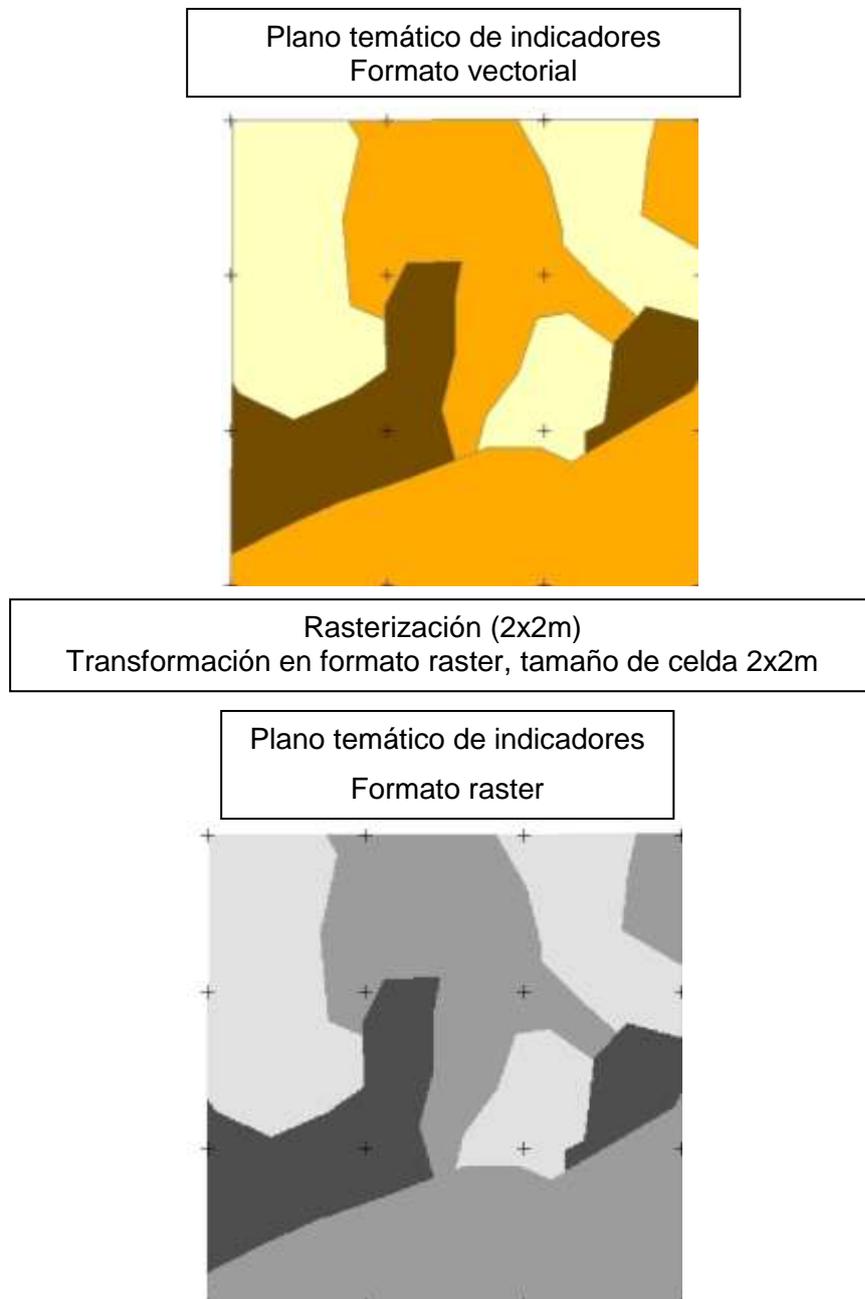


Figura 1. Proceso de rasterización para la obtención de los planos temáticos de los indicadores de degradación ambiental.

2.5.3 Clasificación de las áreas degradadas

Teniendo en cuenta el plano de degradación ambiental y los criterios de valoración, se clasifican las áreas en tres categorías: área de degradación baja, media y alta.

Además, se calcula el área para cada tipo de degradación, con el fin de obtener la dimensión de la misma.

2.6 Planificación y ejecución de la recuperación

La recuperación de áreas degradadas por explotación minera debe, idealmente, ser planificada antes de la explotación, previendo la terminación de las actividades mineras y la recuperación de los terrenos.

Desde el punto de vista tecnológico, es necesario tener en cuenta dos aspectos: primero, ejecutar la recuperación simultáneamente a la explotación minera, lo que requiere de la incorporación de las tecnologías disponibles en las diferentes etapas y operaciones que comprenden el proceso productivo minero.

Se trata así de agregar la recuperación a lo cotidiano de la explotación y no restringirlo sólo al final de ella, lo que frecuentemente inviabiliza la recuperación frente a los recursos financieros necesarios.

En segundo lugar, se debe tener en cuenta el desafío de la recuperación orientada de acuerdo con el plan previo, o sea, ejecutada sobre la base de decisiones expresadas en un documento previamente discutido y encaminado hacia el reaprovechamiento de las áreas degradadas (Bauer, 1989).

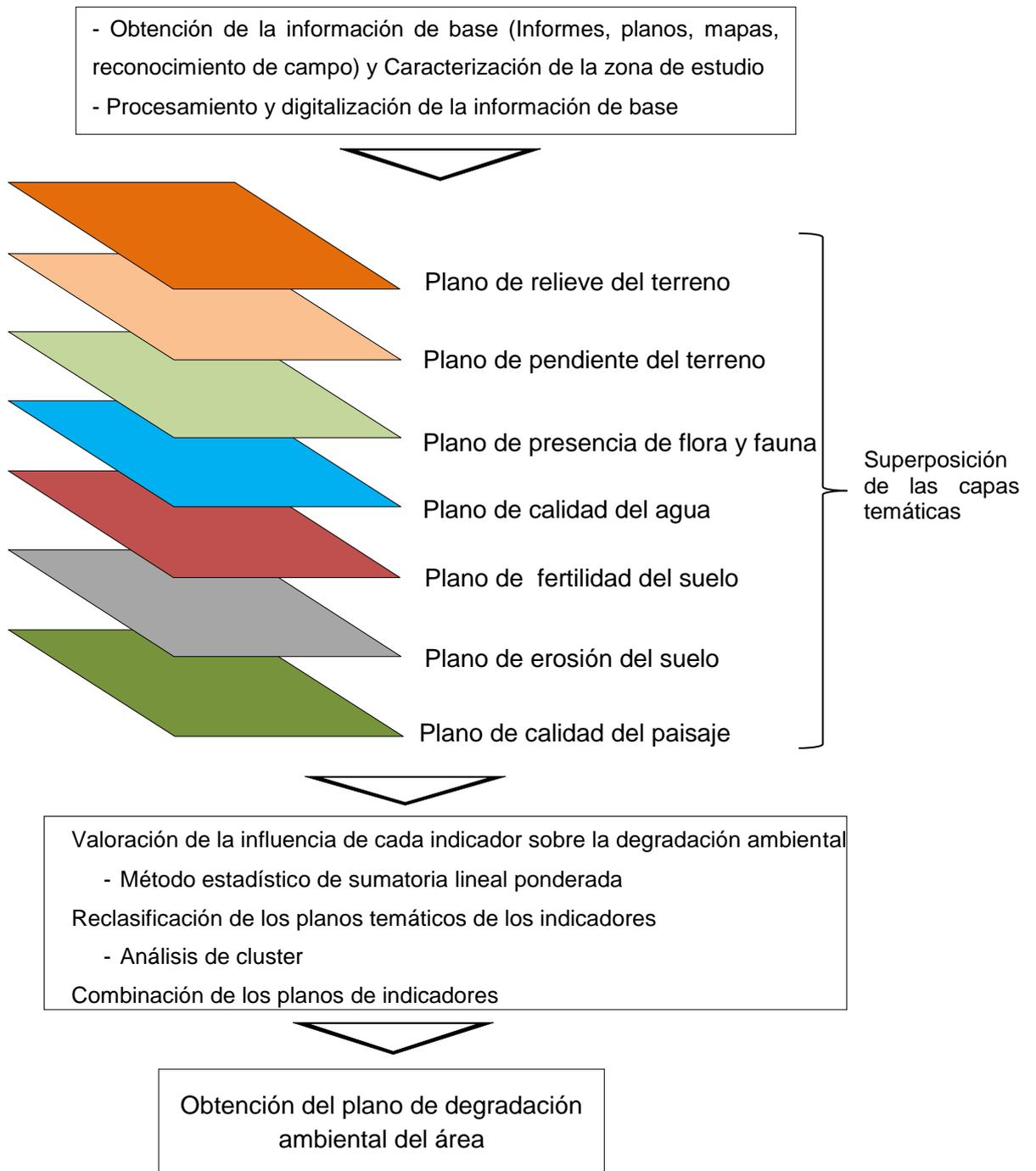


Figura 2. Metodología para la evaluación de la degradación ambiental.

2.6.1 Usos finales para zonas degradadas por explotaciones mineras

Las operaciones extractivas constituyen un uso temporal de los terrenos, con períodos de ocupación que con frecuencia no superan los 20 ó 30 años, salvo casos especiales como son los grandes yacimientos metálicos.

Por eso, cuando se termina la explotación, es beneficioso otorgarle otro uso a dichos terrenos. Es esta la práctica habitual en la actualidad, que tiene su base en las labores de recuperación.

El objetivo de la recuperación es restituir la posibilidad de que el terreno alterado vuelva a ser útil para un determinado uso, sin perjudicar el medio ambiente. Cualquiera que sea el uso adoptado en la recuperación deberá ajustarse a las necesidades de la zona y su entorno, y deberá ser compatible con los usos ahí existentes (Carcedo & Fernández, 1989).

El uso potencial se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Esta capacidad natural se puede ver limitada por la presencia de procesos erosivos severos, por la profundidad efectiva, el grado de pendiente, las características químicas y físicas de cada suelo, niveles freáticos fluctuantes, entre otras (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985).

Según la práctica minera nacional e internacional, los usos posibles a que pueden destinarse los terrenos afectados por las explotaciones mineras pueden dividirse en: urbanístico e industrial, recreativo, agrícola, forestal, conservación de la naturaleza y refugio ecológico, depósitos de agua y abastecimiento a poblaciones y vertederos de estériles y basuras.

Cada uno de estos usos tiene sus exigencias y factores condicionantes propios:

- Uso urbanístico e industrial

Las excavaciones realizadas en áreas urbanas o muy próximas a éstas, pueden aprovecharse para construir zonas residenciales o, incluso, zonas comerciales. En muchos casos las formas del terreno son ideales, ya que se han llevado a cabo explanaciones que facilitan la construcción de las edificaciones y la integración en el medio urbano.

Los factores condicionantes que pueden presentarse se derivan de la estabilidad de los taludes, del drenaje y de las propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones.

Estos últimos problemas se acentúan en áreas húmedas, pudiendo llegar, incluso, a imposibilitar este uso, al igual que sucede en terrenos blandos o mal drenados. Estas situaciones requieren un tratamiento adecuado del terreno para poder efectuar el uso previsto:

- Estabilidad de los taludes y control de la erosión
 - Estudio de propiedades geotécnicas de los terrenos para las cimentaciones
 - Localización cerca de núcleos urbanos y rurales.
- Recreativo

Los terrenos abandonados en áreas urbanas y residenciales pueden ser adecuados para desarrollar diferentes actividades recreativas, especialmente, para los jóvenes.

Siempre que se trate de terrenos secos, es posible usarlos como parques de aventuras, circuitos para ciclismo, campos de fútbol o de tenis e instalaciones de tiro. Si se dispone de agua suficiente, podrán construirse estanques o lagos para practicar deportes como piragüismo, remo o natación.

En todos esos aprovechamientos, las áreas deben acondicionarse remodelando el terreno, estabilizando los taludes y retirando todo vestigio minero que pudiera dar lugar a accidentes.

De igual modo, muchas de estas actividades exigen el desarrollo de estructuras especiales para su funcionamiento, por lo que se insiste de nuevo en las ventajas que conlleva una planificación del uso a implantar, a priori, de la actividad minera. Las zonas de explotación ubicadas en áreas rurales tienen un potencial similar para un uso recreativo menos intensivo, especialmente si se encuentran situadas próximas a zonas naturales muy visitadas, como puede ser un parque natural (EPM, 1989).

Algunos lugares pueden poseer singularidades relevantes, tales como estructuras geológicas: pliegues y fallas con valores arqueológicos y ecológicos que puedan utilizarse con fines educativos e incluso científicos (puede valorarse la puesta en valor del patrimonio geólogo-minero).

Los criterios que deben cumplir estas áreas son:

- Estabilidad de los taludes
 - Retirada de elementos que puedan dar lugar a accidentes
 - El uso recreativo requiere grandes superficies, que pueden sobrepasar las 10 ha en muchos casos
 - Localización: cerca de núcleos urbanos y rurales (ANEFA, 2006).
- Vertederos de estériles y basuras

Como en muchas ocasiones, las canteras se encuentran próximas a áreas urbanas e industriales, un uso muy frecuente de los huecos finales de la excavación es el de depósito de basuras, escombros y residuos industriales sólidos.

El relleno habitualmente se realiza en áreas de pequeñas dimensiones de 0,3 a 1 ha, con el fin de reducir la superficie descubierta y poder proceder a la recuperación simultánea de otras zonas.

Este uso de los huecos de las minas abandonadas es el menos noble, porque pueden llegar a convertirse en puntos altamente desagradables y molestos si los vertidos se realizan de manera incontrolada, con emisión continua de humos, olores e incluso de agua contaminadas. No obstante, es el uso más codiciado por algunas autoridades.

El vertido de esos residuos debe llevarse a cabo de forma completamente controlada, especialmente si no tienen las características de los residuos inertes. Se debe realizar un estudio inicial de las propiedades hidrogeológicas de las formaciones rocosas sobre las cuales se van a construir, las condiciones climatológicas y geográficas, las limitaciones socioeconómicas, etc. (EPM, 1989). Cuando los residuos industriales están constituidos, en parte, por líquidos contaminantes, un requisito previo antes de su vertido es la realización de un estudio hidrogeológico y la ejecución de obras impermeabilizantes del hueco receptor.

Especial cuidado debe tenerse en aquellas situaciones donde se requiera el drenaje de las aguas de lluvia que hayan percolado sobre los depósitos y la colocación de dispositivos para la evacuación de los gases producidos durante los procesos de fermentación anaerobia.

- Agrícola

El uso agrícola es probablemente uno de los usos más utilizados en la recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras. Esto parece estar justificado, fundamentalmente, por motivos económicos, tanto en aquellas

zonas donde el uso original era el agrícola y, por tanto, dicho uso resulta apropiado y obvio, como en aquellas otras donde la dedicación original no era esta.

En cualquier caso, el establecimiento de la vegetación es más barato que en otros tipos de usos y la rentabilidad económica es mayor y más inmediata, pues compensa los gastos ocasionados en la recuperación.

Las excavaciones finales con una topografía suave, una gran extensión y que estén próximas a zonas cultivadas pueden destinarse a usos agrícolas, especialmente, cuando las operaciones mineras tienen una duración limitada y se ha tomado la precaución de conservar la tierra vegetal y el material de cobertura.

Esas tierras almacenadas son ricas en arcillas y en materia orgánica y, por tanto, aptas para constituir un medio óptimo para el aprovechamiento agrícola, una vez que han sido colocadas o extendidas sobre las plataformas creadas en las explotaciones. El espesor mínimo que se recomienda es de unos 50 cm con el fin de que las máquinas agrícolas trabajen adecuadamente.

En cuanto al factor geométrico que condiciona la recuperación para el uso agrícola está la pendiente (figura 3).

La erosión del suelo constituye un problema en las tierras agrícolas. Por otro lado, debe garantizarse el drenaje de la zona recuperada verificando que el nivel freático se encuentre siempre a más de 50 cm por debajo de la superficie. En caso contrario, será preciso efectuar un relleno con materiales rocosos o escombros inertes que no contaminen el agua, para extender sobre ellos la capa de suelo recuperado.

Cuando no se disponga de suficiente cantidad de suelo agrícola útil, será preciso agregar otros materiales finos como arena, cenizas volantes, residuos de

lavadero, etc., tras un análisis previo de las propiedades edáficas de éstos (EPM, 1989).

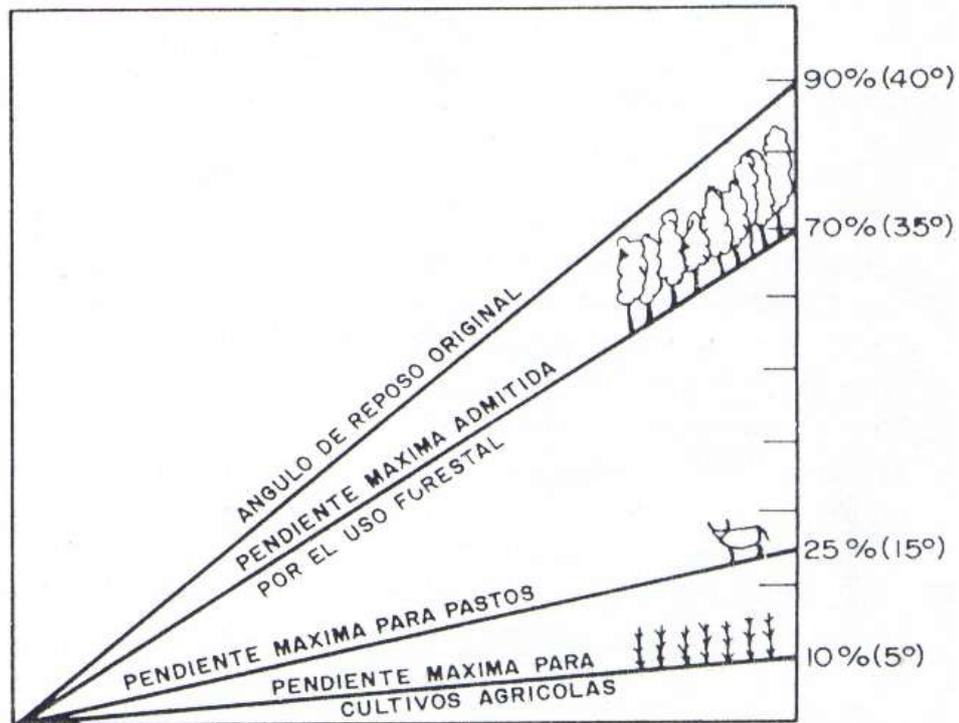


Figura 3. Pendientes máximas para diferentes usos del terreno (Coppin & Bradshaw, 1982).

Limitaciones:

- Químicas: acidez/alcalinidad, nutrientes y toxicidad.
- Físicas:
 - Pedregosidad > 15%. Imposible el uso agrícola
 - Pendiente < 15° pastizal
 - Pendiente < 5° cultivos arables
 - Disponibilidad de agua
 - Riesgo de erosión
 - Excavaciones grandes y poco profundas (ANEFA, 2006).

- Forestal

Este tipo de uso está menos extendido que el agrícola y aunque normalmente su instauración es más cara, en algunas ocasiones resulta más económico que el uso agrícola. Puede ser una buena alternativa en aquellas tierras de peor calidad donde no es posible llevar a cabo el uso mencionado. No obstante, su rentabilidad es más baja y los resultados se obtienen a más largo plazo.

La reforestación se efectúa en superficies de cierta extensión (>0,25 ha) y puede llevarse a cabo en suelos de fertilidad media, en taludes con pendientes de hasta el 70% (35°) y en sitios pedregosos. Los pH bajos, la falta de nutrientes, el exceso de metales tóxicos y la compactación del sustrato pueden limitar su crecimiento.

Para repoblar forestalmente un terreno, se necesita que los suelos tengan unas características adecuadas, primero físicas para retener el agua que necesitan las especies arbóreas y para el desarrollo de sus raíces y después, químicas y biológicas, para disponer de elementos nutrientes y condiciones óptimas.

Por último, se puede contemplar este uso con una finalidad paisajística, ya que se trata de un componente visual muy importante que requiere un largo período de tiempo para su establecimiento. Puede llegar a convertirse en un valioso recurso y permitir la combinación con otros usos, tales como los recreativos, la fauna, etc. (EPM, 1989).

- Conservación de la naturaleza y refugio ecológico

La conservación se define como el manejo idóneo de un área y sus recursos naturales, tanto actuales como potenciales, con el fin de mantenerlos en el tiempo. Generalmente se aplica a áreas naturales que presentan características singulares en cuanto a geomorfología, suelos, riqueza biológica, nacimientos de agua, potencial turístico e investigativo, entre otros.

El parque natural es el método más común para el manejo de áreas de conservación, el cual puede ser complementado con categorías de manejo distintas; las cuales, una vez tomadas en conjunto, pueden suministrar a los planificadores un amplio marco de opciones legales y de gestión para la conservación y manejo de los recursos del territorio.

Cuando las canteras llevan abandonadas mucho tiempo, es necesario efectuar previamente estudios encaminados a identificar y evaluar las diferentes especies de animales, plantas e insectos que se hayan instalado y refugiado allí, pues suelen aparecer especies endémicas o protegidas de alto valor ecológico.

En tales casos, esas antiguas explotaciones pueden reacondicionarse con las precauciones oportunas, o bien destinarse a fines educativos y científicos para el estudio de los ecosistemas naturales y la investigación de las interrelaciones que existen dentro de los procesos de colonización entre el clima, la geología, la flora, y la fauna.

Cuando la revegetación del terreno con especies autóctonas tiene como objetivo procurar un refugio a la fauna, deberán seleccionarse las especies nativas y/o naturalizadas que proporcionen alimento, protección, esparcimiento y que tengan capacidad de regeneración después de efectuarse determinadas prácticas perjudiciales como es la quema de un bosque (EPM, 1989).

- Depósitos de agua y abastecimiento

Es posible utilizar las excavaciones profundas de canteras como depósitos de almacenamiento de agua con diversos fines. El agua, sea subterránea o superficial, presenta la posibilidad de utilizarse en numerosas actividades orientadas hacia el aprovechamiento del recurso. Entre estas actividades se encuentran: consumo humano y doméstico, actividades agropecuarias,

preservación de flora y fauna, recreación y generación de energía eléctrica (EPM, 1989).

2.6.2 Determinación del uso final del suelo para áreas degradadas en canteras de áridos

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 su validación se aplicó el criterio de expertos a través del Método Delphi.

- Primera ronda

En esta ronda se sometió el cuestionario elaborado (anexo 11) al criterio de los expertos, para determinar la influencia que tienen los criterios de degradación ambiental sobre el uso final que se propone a las canteras de áridos.

- Segunda Ronda

En esta segunda ronda (anexo 12) primeramente se obtuvo la tabla de frecuencia absoluta y después se construyó la tabla de frecuencia acumulada. El tercer paso consistió en construir la tabla de frecuencia relativa acumulada.

Para la confección de la misma, se dividió el valor de cada celda de la tabla anterior entre el número de expertos consultados, en este caso 10. El cociente de esta división se aproximó hasta las diez milésimas. Además, la última columna se eliminó, pues como se trata de tres categorías se buscan dos puntos de corte.

En este cuarto paso se buscan las imágenes de cada uno de los valores de las celdas de la tabla anterior por la inversa de la curva normal.

Después de realizados todos los cálculos que se orientan en la tabla, se pasa a comparar los resultados obtenidos en cada uno de los ítems que se consultaron con los respectivos puntos de cortes para llegar a conclusiones sobre la categoría en que los expertos coincidieron en ubicar los ítems sometidos a su criterio.

- Tercera ronda

Se sometieron siete indicadores a criterio de los 10 expertos, los que se ordenaron desde 1 (mayor influencia) a 7 (menor influencia), (anexo 13).

Con las evaluaciones realizadas por cada experto, se determinó el grado de concordancia de los expertos a través del coeficiente de Kendall (*Ken*).

Del procesamiento de las encuestas se obtuvo el valor del coeficiente de Kendall (anexo 13) con lo que se confirmó la existencia de concordancia entre los expertos.

- Prueba de hipótesis

Finalmente, se realizó una prueba de significación para determinar la concordancia entre los criterios expresados por los expertos. Al respecto, se definieron las siguientes hipótesis con un nivel de significación de 0,05:

Hipótesis nula: (H0): no existe consenso entre los expertos con relación a los criterios emitidos ($K=0$).

Hipótesis alternativa: (H1): los expertos están de acuerdo, hay consenso entre ellos ($K\neq 0$).

A través de la fórmula 3, se calcula χ^2

Puesto que en todos los casos χ^2 calculada $>$ χ^2 tabulada se aceptó la hipótesis alternativa y se puede afirmar que existe concordancia entre los expertos (anexo 14).

Finalmente, se determinó que cuando el criterio es adecuado tomará los valores 1 y 2 y en algunos casos sólo el valor 1 de la escala propuesta, mientras que si el criterio es inadecuado podrá tomar los tres valores de la escala (tabla 7).

Para la obtención del uso final de la cantera se programó en Excel 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 4).

2.6.3 Medidas de recuperación para el área

El programa de recuperación de áreas degradadas en las canteras debe contener, entre otras informaciones, las medidas que serán implementadas durante el desarrollo de la actividad extractiva y las propuestas de posibles usos post-minería para las áreas degradadas. Este programa tendrá dos objetivos fundamentales: primeramente, la estabilización de las áreas degradadas por medio de medidas ejecutadas a corto y mediano plazo y el segundo, será el establecimiento del uso final del área a largo plazo.

Tabla 7. Matriz de compatibilidad de los indicadores con los usos finales de canteras

	Presencia de flora y fauna	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Calidad del agua	Erosión del suelo
Urbanístico e industrial	1,2,3	1,2	1,2	1,2,3	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	1,2,3	1,2	1,2	1	1
Conservación	1,2,3	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1	1,2
Depósito de agua	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2	1,2
Vertedero	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2	1,2

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	1,2,3	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	1,2,3	1,2	1,2	1	1
Conservación	1,2,3	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1	1,2
Depósito de agua	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2	1,2
Vertedero	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2	1,2

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

Figura 4. Tabla programada en Excel para la determinación del uso final del suelo.

Las medidas para la recuperación de áreas degradadas en canteras en explotación, deben ser ejecutadas en los sectores donde ocurre la degradación. Las áreas que generalmente están involucradas en el proceso de recuperación ambiental son las áreas de explotación, que incluyen principalmente:

- Excavaciones (secas o inundadas).
- Frentes de explotación en bancos o taludes, áreas de depósitos de estériles y residuos, que incluyen las escombreras y cuencas de decantación de residuos de la planta de beneficio.

- Áreas de infraestructura y sus alrededores, que incluyen las plantas de beneficio, vías de acceso y circulación interna, talleres de máquinas y equipos y, eventualmente, terrenos situados a los alrededores.

La implantación de las medidas de recuperación incluyen trabajos que pueden ser clasificados en cuatro grupos: prácticas edáficas, prácticas topográficas y geotécnicas, prácticas hídricas y prácticas ecológicas (anexo 15) (Neri & Sánchez, 2012).

- Prácticas edáficas

Las prácticas edáficas están relacionadas con el manejo de la protección del suelo, recurso escaso y de gran importancia en la recuperación ambiental de áreas degradadas. Este grupo de prácticas incluye la eliminación selectiva del suelo superficial, acciones de prevención de la contaminación por productos químicos y de prevención de la erosión, entre otras.

- Prácticas topográficas y geotécnicas

Las prácticas de carácter topográfico y geotécnicas incluyen el remodelamiento del terreno afectado por las actividades mineras, tanto las escombreras, como los taludes de la explotación, las vías de acceso y demás componentes de la cantera. Las prácticas geotécnicas buscan la estabilidad física del área, en el caso de las prácticas topográficas buscan la armonía del área con su entorno o establecer condiciones geomorfológicas similares a aquellas que tenía el área antes de la explotación.

- Prácticas hídricas

Las prácticas hídricas buscan la conservación de la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas. La recogida, transporte y vertimiento de las

aguas pluviales son aspectos fundamentales para la estabilidad física del área recuperada, así como para la protección de los recursos hídricos superficiales.

En relación con la conservación de las aguas subterráneas, se incluyen prácticas relativas al descenso del nivel freático y a la protección de los acuíferos contra la presencia de sustancias contaminantes.

- Prácticas ecológicas

Las prácticas de carácter ecológico se refieren a las acciones relativas al manejo de la flora y la fauna. El manejo de la flora y la fauna buscan el establecimiento de una comunidad vegetal en áreas designadas de la cantera y su entorno.

Las medidas son jerarquizadas conforme a su importancia dentro del contexto del programa a ser evaluado. La jerarquía adoptada muestra una diferencia semántica entre las categorías (Pereira, 2001). Las medidas recomendadas son clasificadas en tres categorías: principales, secundarias y complementarias (anexo 15).

Medidas principales: son esenciales para lograr el éxito del programa de recuperación de áreas degradadas por la minería, únicamente mediante una justificación bien fundamentada, una medida generalmente clasificada como principal no puede ser desarrollada en una cantera.

Secundarias: son aquellas que contribuyen significativamente en el éxito de un programa de recuperación de áreas degradadas por la minería.

Complementarias: son aquellas, cuya implementación puede representar mejoría observable en los resultados del programa de recuperación de áreas degradadas por la minería.

2.7 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.

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 comprenda 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.

2.7.1 Inspecciones a las medidas implementadas

Una vez ejecutadas las medidas implementadas deben ser supervisadas por la dirección de la empresa y autoridades mineras como la ONRM en determinados periodos de tiempo para saber si se están aplicando y tienen el efecto esperado.

2.7.2 Verificación de los indicadores ambientales

La verificación de los indicadores ambientales será realizada por entidades acreditadas y avaladas para estudios de evaluación de impactos, estudio de supervivencias, estudio de la calidad ambiental del agua y estudio de estabilidad geotectónica, en caso de ser necesario. A partir de los resultados obtenidos se verificará el comportamiento de los indicadores ambientales.

2.8 Estructura y contenido del procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos

La elaboración de un procedimiento científicamente fundamentado debe responder a premisas y criterios que lo sustenten desde el punto de vista teórico.

El procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos debe poseer los rasgos generales siguientes:

- Sencillo y comprensible
- Expedito
- Flexible y dinámico
- Objetivo, o sea, estar técnicamente sustentado
- Congruente con la legislación ambiental cubana
- Económicamente factible
- Reproducible
- Orientado a la minería de canteras de áridos.

Estos rasgos se explican a continuación:

Sencillo: que sea asequible tanto a los especialistas medioambientales como al personal técnico o de dirección de los organismos e instituciones que tendrán

incidencia de una forma u otra en ella. Será simple y didáctico. Explícito en cuanto a los pasos a seguir.

Expedito: fácilmente aplicable, que mantenga una secuencia tal que permita efectuar trabajos de calidad en plazos de ejecución razonables de acuerdo con la envergadura del proyecto, que se eviten duplicidades, minuciosidad injustificada e interrupciones de la construcción o explotación.

Flexible: capaz de adaptarse a diferentes escenarios que puedan presentarse, a la diversidad de yacimientos, a las diferentes etapas del proyecto y que se pueda incorporar la información que se reciba en cualquier momento de la marcha del estudio.

Objetivo: esté a la par del nivel del conocimiento científico-técnico, en general, y ambiental, en particular; que se maneje en la actualidad.

Congruente con la legislación ambiental: que sea compatible y se engrane con los postulados y procedimientos establecidos en la legislación ambiental cubana, de manera que se eviten violaciones de la ley o interrupciones de los trabajos por desconocimiento del marco legal.

Económicamente factible: que sea realista en cuanto a los recursos y tecnologías de que se puede disponer en un país del tercer mundo para los trabajos de recuperación, así como también en cuanto a las medidas correctoras y sistemas de monitoreo a aplicar para obtener los parámetros que rigen la calidad ambiental en los valores deseados.

Reproducibile: que los resultados estén libres de subjetivismo, en la medida que ello sea posible, de manera que distintos investigadores que lo usen puedan llegar de forma independiente a resultados semejantes.

Orientado a la minería de canteras de áridos: porque esta actividad tiene sus características peculiares que genera problemas específicos que deben identificarse, valorarse y manejarse adecuadamente.

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 5):

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.

Etapa I. Identificación y caracterización de las áreas degradadas: se determinan los principales impactos producto de la explotación del yacimiento, se elaboran los planos de degradación para cada uno de los indicadores obtenidos, se determina el plano de degradación ambiental y se clasifican las áreas degradadas.

Etapa II. Planificación y ejecución de la recuperación: a través de la matriz de compatibilidad entre los usos propuestos y los indicadores de degradación ambiental se obtendrá la variante de uso más eficaz y se propondrán las medidas necesarias para lograr el uso requerido.

Etapa III. Monitoreo y seguimiento de la recuperación: plantea las actividades necesarias para el monitoreo de la recuperación de las áreas degradadas.

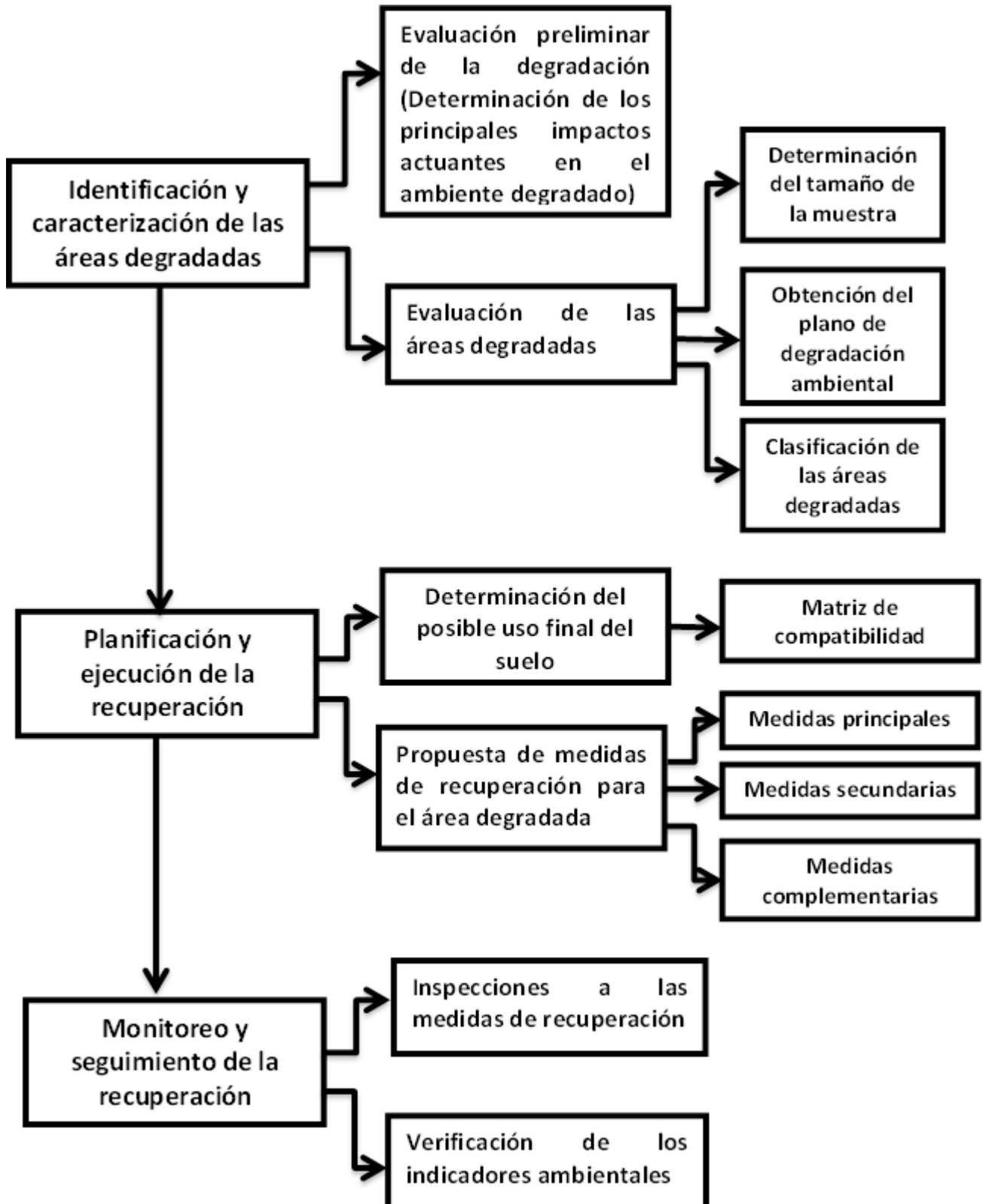


Figura 5. Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos.

2.8.1 Validación del procedimiento

Para la validación del procedimiento se aplicó el Método Delphi y se consultaron los mismos expertos que para la selección de los indicadores.

Los pasos para la aplicación del método Delphi fueron los siguientes:

1. Análisis del procedimiento diseñado para determinar el nivel de aceptación y la validación del mismo.
2. Rondas Delphi. Se confeccionaron encuestas que se enviaron a los expertos para obtener criterios cualitativos en una primera ronda y cuantitativos en las rondas dos y tres, lo que permitió obtener la unidad de criterios acerca de la validación del procedimiento.

Primera ronda o ronda de la pregunta abierta: Se analizaron ocho criterios básicos a tener en cuenta en la validación del procedimiento que fundamentan teóricamente el procedimiento (anexo 16). Los ocho aspectos son aceptados, lo que significa que existe estabilidad de opiniones de los expertos y todos pasan a la segunda ronda (anexo 17).

Segunda Ronda: Cada experto concedió un valor para cada criterio en una escala de 1 a 8, siendo 8 el mayor valor de aceptación (anexo 18).

En esta ronda se elaboró la tabla de frecuencia absoluta (anexo 18.1), la tabla de frecuencia acumulada (anexo 18.2) y la tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada (anexo 18.3).

Para esta última tabla, se dividió el valor de cada celda de la tabla anterior entre el número de expertos consultados, en este caso 10. El cociente de esta división se aproximó hasta las diez milésimas. Como se trata de cinco categorías, se eliminó la última columna para obtener cuatro puntos de corte.

En este cuarto paso se buscaron las imágenes de cada uno de los valores de las celdas de la tabla anterior por la inversa de la curva normal (anexo 18.4).

Después de realizados todos los cálculos que se orientaron en la tabla, se pasa a comparar los resultados obtenidos en cada uno de los ítems que se consultaron con los respectivos puntos de cortes, para llegar a conclusiones sobre la categoría en que los expertos coinciden en ubicar los ítems sometidos a su criterio. Se obtuvo un nivel de aceptabilidad promedio de excelente (anexo 18.5).

Tercera Ronda: para seleccionar los criterios y evaluar la concordancia entre los expertos. Los criterios se evaluaron en una escala de 1 (mayor incidencia) y 8 (menor incidencia) (anexo 19), se obtuvo un grado de concordancia a través del coeficiente Kendall (Ken) = 0,73; lo que confirma que existe concordancia entre los expertos.

La prueba de hipótesis se realizó con el objetivo de conocer la existencia de comunidad de intereses entre los expertos.

- Prueba de hipótesis

χ^2 calculada > χ^2 tabulada: 51,1 > 14,06

Puesto que χ^2 calculada > χ^2 tabulada, entonces hay concordancia entre los expertos.

Los resultados de la validación del procedimiento por expertos se exponen en la tabla 8.

Con la aplicación del criterio de expertos para la validación del procedimiento se obtuvo un nivel de aceptabilidad alto, lo que significa que se considera factible su aplicación para la recuperación de canteras de áridos.

Tabla 8. Resultados de la validación del procedimiento

Criterios	Evaluación
El procedimiento está científicamente sustentado	MA
Sencillo y comprensible	MA
Flexible y dinámico	BA
Adecuado para la recuperación de canteras de áridos	MA
Reproducible	MA
Congruente con las normativas ambientales	MA
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	BA
Generalizable para su uso en otras regiones del país	MA

Conclusiones parciales

1. El Método Delphi resultó un instrumento efectivo para la selección de los siete indicadores de degradación ambiental en canteras de áridos.
2. El peso de cada uno de los indicadores propuestos para elaborar el plano de degradación ambiental se obtuvo a través del análisis estadístico de la evaluación multicriterio.
3. La tabla de compatibilidad de los indicadores ambientales con el uso final del suelo permitirá determinar las posibles variantes de uso para las canteras de áridos.
4. La validación del procedimiento a través del método de expertos obtuvo alto nivel de aceptación, lo que demuestra su aplicabilidad para la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN CANTERAS DE ÁRIDOS

3.1 Elección y justificación de la cantera “Los Guaos”

El establecimiento de un procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras para áridos requiere de su implementación, para lo cual se selecciona un caso de estudio, considerando el nivel de representatividad de sus características minero ambientales.

Para la elección del caso de estudio se tuvo en cuenta que en Cuba existen más de 100 canteras de áridos, de ellas la mayor parte (37) en el Oriente, y en esta zona, la provincia con más yacimientos concesionados es Santiago de Cuba.

Partiendo de las investigaciones realizadas en las diferentes canteras pertenecientes a la Empresa de Materiales de Construcción Santiago de Cuba, se seleccionó la cantera “Los Guaos” como caso de estudio para aplicar el procedimiento elaborado, debido a su situación ambiental relacionada con su explotación desde hace 43 años sin proyecto de rehabilitación.

Esta es una de las que mayor impacto causa al medio ambiente por la extensión de las áreas degradadas, posee las mayores reservas con la que cuenta la empresa y es una de las pocas que se encuentra dentro del perímetro de la ciudad, por lo que su impacto es mayor en los pobladores y en las obras de infraestructura.

También se tuvo en cuenta su importancia económica, social y ambiental; el significado que tiene para los habitantes del área y sus posibilidades para darle otro uso futuro.

3.2 Ubicación y caracterización de la cantera “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). (figura 6).

Las coordenadas Lambert son las siguientes:

X=600 600 – 601 500

Y=155 400 – 156 900

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 (anexo 20), (Pérez, 2015).

Clima

El clima es tropical y seco; la temperatura media más alta en el periodo es de 31 °C, la media más baja es de 26 °C. La humedad relativa oscila entre 70-75%. 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 (Pérez, 2015).

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.

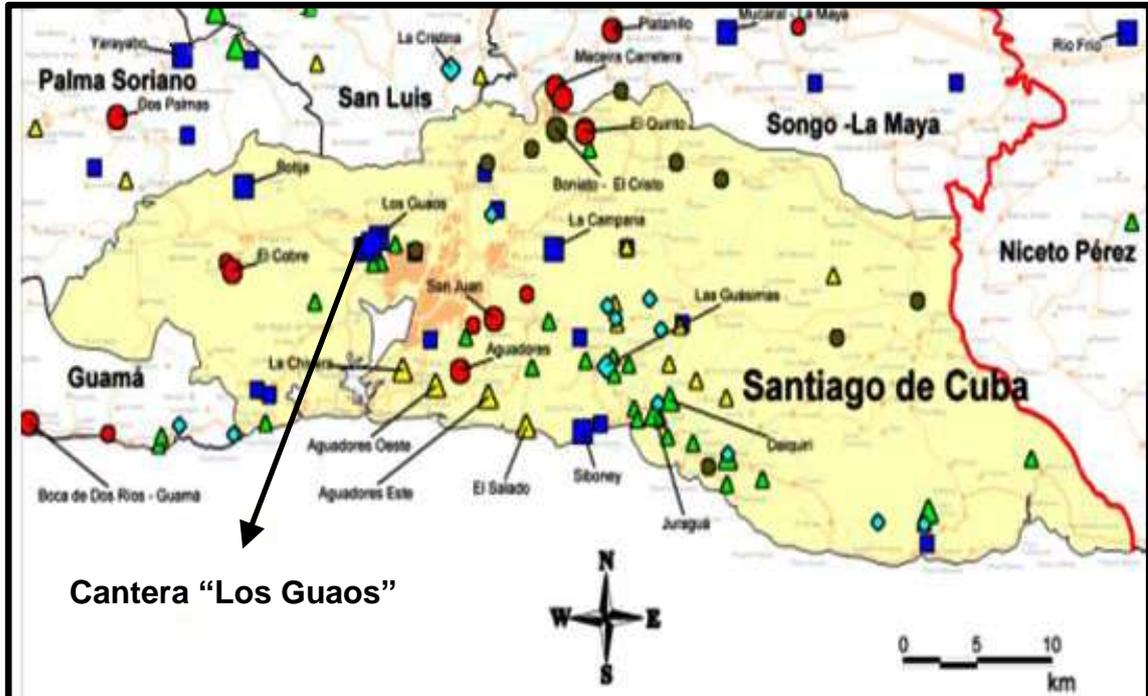


Figura 6. Ubicación de la cantera "Los Guaos".

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 de Cuba. El río Guaos nace al norte, atraviesa el yacimiento y desemboca en la propia bahía (Pérez, 2015).

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 (anexo 21). Las edades de estas rocas se ubican entre Paleoceno- Eoceno Medio parte baja.

El área del yacimiento forma parte del flanco del anticlinorium Sierra Maestra, el cual se extiende a lo largo de 200 km con dirección sub-latitudinal con cierta desviación hacia el suroeste. En la región afloran las rocas de la Formación "El Cobre", la que se encuentra dividida en tres miembros: miembro Caney, miembro Hongolosongo y miembro Yarayabo.

Estratigrafía y características litológicas del yacimiento

El cuerpo de porfiritas se extiende en su máxima longitud de este a oeste con ángulo de buzamiento hacia el suroeste de 70° aunque en muchas partes difieren del buzamiento general. Son notables también variaciones dentro del macizo, tanto en la composición mineralógica como en la granulométrica.

Hacia el centro del yacimiento las rocas son de composición ácida, representadas por porfiritas dacíticas mientras que hacia la periferia las rocas tienen composición media representadas por porfiritas andesítico-dacíticas, también se observan variaciones en la granulometría. A medida que aumenta la profundidad, las rocas en general presentan granulometría más fina.

Desde el punto de vista petrográfico, en las rocas cerca de la superficie es más notable la presencia de fenocristales de plagioclasas mientras en la profundidad predomina una estructura de granos más finos y homogéneos. También son notables la diseminación, en algunas partes del yacimiento, de sulfuro de hierro y cobre (pirita y calcopirita) en bajo porcentaje.

Las rocas encajantes del cuerpo de porfiritas están representadas por rocas vulcanógena-sedimentarias de composición media y ácida (Pérez, 2015).

Tectónica y agrietamiento

Las rocas de esta formación se encuentran afectadas por tectónica disyuntiva, se presenta la yacencia de la roca muy alterada, y los buzamientos son abruptos o invertidos en algunas partes.

El área de estudio presenta gran desarrollo de las estructuras disyuntivas, sobre todo, el agrietamiento en parte superior del macizo con buzamiento de 70° al suroeste, cuyo agrietamiento se ha afectado grandemente en los frentes de explotación, debido a la acción de los explosivos.

Las estructuras plicativas no están muy desarrolladas en el área y existen pequeños pliegues de carácter local sobre todo en la parte encajante (Pérez, 2015).

Descripción del medio biológico

En la zona en que se encuentra enmarcada la cantera se puede encontrar una gran variedad de plantas y animales que conforman la diversidad biológica del yacimiento. Entre la variedad de especies 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 & Ulloa, 2013).

Descripción del medio socioeconómico

La zona no está densamente poblada. Existe un asentamiento poblacional donde las viviendas, en línea general, tienen un estado regular. Cerca del yacimiento se encuentran como objetos socioeconómicos la Textilera "Celia Sánchez" y la fábrica de baldosas, las que constituyen fuente de empleo para los habitantes de esa zona. El nivel cultural de la población, en sentido general, es medio (Montes de Oca & Ulloa, 2013).

Caracterización de la actividad minera en la cantera

La primera actividad que se realiza en este yacimiento es el desbroce. Con posterioridad se realizan los trabajos de destape, los mismos se pueden ejecutar por medios mecánicos o con perforación y voladura. Luego, todo el material estéril que se extrae es depositado en escombreras.

De igual forma, en la apertura, se realiza el laboreo de las trincheras y semitrincheras de acceso al nivel requerido, en las cuales se construyen una serie

de excavaciones que pueden ser auxiliares o permanentes, lo cual permite disponer de las reservas listas.

El arranque se realiza después de concluida la etapa de desarrollo, para ello se solicitan los servicios de la Empresa de Servicios Minero Geológico (EXPLOMAT), empresa que se encarga de la perforación y la voladura. Para estas actividades se utilizan los siguientes equipos:

- Carretilla perforadora Rock - 460 PC y compresor XACH-416.
- Para la voladura: la sustancia explosiva Senatel de diámetro 100 mm, 85 mm y 65 mm con un 10% de la carga total y la carga de columna que se usa es ANFO (*Ammonium Nitrate – Fuel Oil*) con un 90% de la carga.
- Para la carga de la roca útil en los medios de transporte: dos retroexcavadoras XCMG-XE-700, con capacidad de carga de $3.5 m^3$. Generalmente, los camiones dedicados a este traslado son camiones de volteo Howo Volvo de $25 m^3$ que transportan la roca, ya sea a las tolvas de recepción para su entrada al proceso de preparación mecánica o a las escombreras (Parra, 2003).

3.3 Aplicación del procedimiento

3.3.1 Identificación y caracterización de las áreas degradadas

- **Evaluación preliminar de la degradación (determinación de los principales impactos actuantes en el ambiente degradado)**

En la evaluación preliminar de las áreas dañadas por la minería en la cantera “Los Guaos”, se constató que los frentes en explotación presentan taludes muy inestables (anexo 22), con derrumbes parciales en algunos lugares y cambios en la topografía.

En el área perteneciente al pasivo ambiental, el principal problema es la inestabilidad de los taludes. En las escombreras se evidencian grandes procesos erosivos y la propagación de polvo a la atmósfera, y en las obras de infraestructura, el mayor impacto se observa en la contaminación por polvo de las plantas de preparación mecánica (anexo 23), así como el aumento del ruido y las vibraciones.

Cabe destacar que cerca de la cantera existe la comunidad Los Guaos (anexo 24). Sus pobladores no tienen percepción del riesgo ambiental, a pesar de que algunos refieren que se producen molestias por el ruido, el polvo y el impacto paisajístico; pero consideran importantes para la comunidad, el mejoramiento de los caminos de acceso, el aseguramiento de la transportación y el aumento del empleo.

Finalmente, en esta evaluación inicial se realizó un estudio de la información disponible sobre los aspectos que pueden condicionar la recuperación de las zonas minadas, entre los que se pueden mencionar la topografía, geología, usos del suelo, redes de comunicación y flora y fauna.

El área que se encuentra actualmente en explotación es Guaos II. En la tabla 9 se muestran las principales actividades de la cantera, los factores que se ven afectados por la misma y los impactos que producen al medio ambiente.

- **Determinación de la cantidad de muestras en el terreno**

Para la determinación de la cantidad de muestras en el terreno, se aplicó el método de muestreo estadístico aleatorio simple a través de los siguientes pasos:

1. Determinación del grado de confiabilidad

Se asumió un grado de confiabilidad de un 95 %, por lo tanto: $z = 1,96$

Tabla 9. Impactos ambientales producidos por la actividad minera en la cantera “Los Guaos”

Acción/Actividad	Factores que se afectan	Impacto
Desbroce	Suelo Flora y Fauna Paisaje	Remoción de la vegetación y deforestación Alteración de la calidad visual Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Destape	Suelo Flora y Fauna	Aumento de los procesos erosivos Remoción de la vegetación y deforestación Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Perforación carga y voladura	Suelo Flora y Fauna Paisaje Atmósfera Aguas superficiales y subterráneas	Alteración de la calidad visual Emisión de gases y polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Alteración de la calidad del agua por deposición de sólidos Remoción de la vegetación y deforestación Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Formación de escombreras	Suelo Paisaje Atmósfera	Aumento de los procesos erosivos Alteración de la calidad visual Emisión de polvo a la atmósfera
Preparación Mecánica	Atmósfera Paisaje Agua	Alteración de la calidad visual Emisión de gases y polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Alteración de la calidad del agua por deposición de sólidos, obstrucción y encenagamiento del río
Extracción y transporte de material	Atmósfera Paisaje Suelo Agua	Alteración de la calidad visual Emisión de gases y polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Alteración de la calidad del agua por deposición

	Flora y fauna	de sólidos, obstrucción y encenagamiento del río Alteración del nivel freático Remoción de la vegetación y deforestación Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna
Construcción de viales	Suelo Paisaje	Aumento de los procesos erosivos Cambios en la topografía

2. Determinación del valor del error asumido en el cálculo

Debido a que el tamaño de la población es igual a 20, se está trabajando con valores de N mayores de 10, por lo que se asume un error de 5 %, entonces: $\varepsilon = 0,05$

3. Determinación del valor de la probabilidad que tiene la muestra de no poseer las mismas cualidades de la población

Como el tamaño de la población es 20, aplicando la tabla para los valores de q, se asume trabajar con el 1 %, luego: $q = 0.01$

4. Cálculo de la probabilidad que tiene la muestra de poseer las mismas cualidades de la población

Obtenido el valor de q, se puede determinar p mediante la expresión: $p = 1 - q$, luego $p = 0,99$

5. Cálculo del tamaño de la muestra teórica

En la expresión (6) se sustituyen los valores de cada variable para determinar el valor de n_0 y se obtiene que $n_0 = 15,21$

6. Cálculo del tamaño de la muestra real

En la expresión (7) se sustituyen los valores de cada variable para determinar el valor de n y se obtiene que $n = 9$

Teniendo en cuenta la cantidad de puntos del plano, al aplicar el método estadístico se obtuvo un tamaño de la muestra de 432 puntos para confeccionar el plano de cada uno de los indicadores propuestos (anexo 25).

➤ **Determinación de la cantidad de muestras en las aguas superficiales**

La cantidad de muestras se determinó según la Norma Técnica de Brasil 9897, “*Planejamento de Amostragem de Efluentes líquidos e Corpos Receptores*” que plantea que el número de muestras depende del volumen de agua de la zona. La cantera “Los Guaos” presenta un volumen superior a 10 000 m³ (Pérez, 2015), por lo que se tomaron 51 muestras de aguas superficiales (anexo 26).

Los análisis físico-químicos de las muestras de agua (pH, Turbidez, Sólidos sedimentables, Coliformes y Aceites y grasas) se efectuaron en el Laboratorio provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Santiago de Cuba y la temperatura se determinó in situ con un medidor digital de oxígeno Toa *Electronics Ltd.*

• **Obtención del plano de degradación ambiental**

Determinados los puntos de muestreo y los indicadores de degradación ambiental se procede a elaborar los planos de cada uno de los indicadores propuestos a través de la metodología propuesta en la figura 1.

Los datos se obtienen por medio de uso del GPS como recurso para complementar la localización de los puntos en el plano de la cantera.

La base de datos se introduce en el programa ArcGis y se obtienen los planos temáticos para cada uno de los indicadores (figuras 7-13) y, finalmente, el plano de degradación ambiental (figura 14), en la escala de 1:2000.

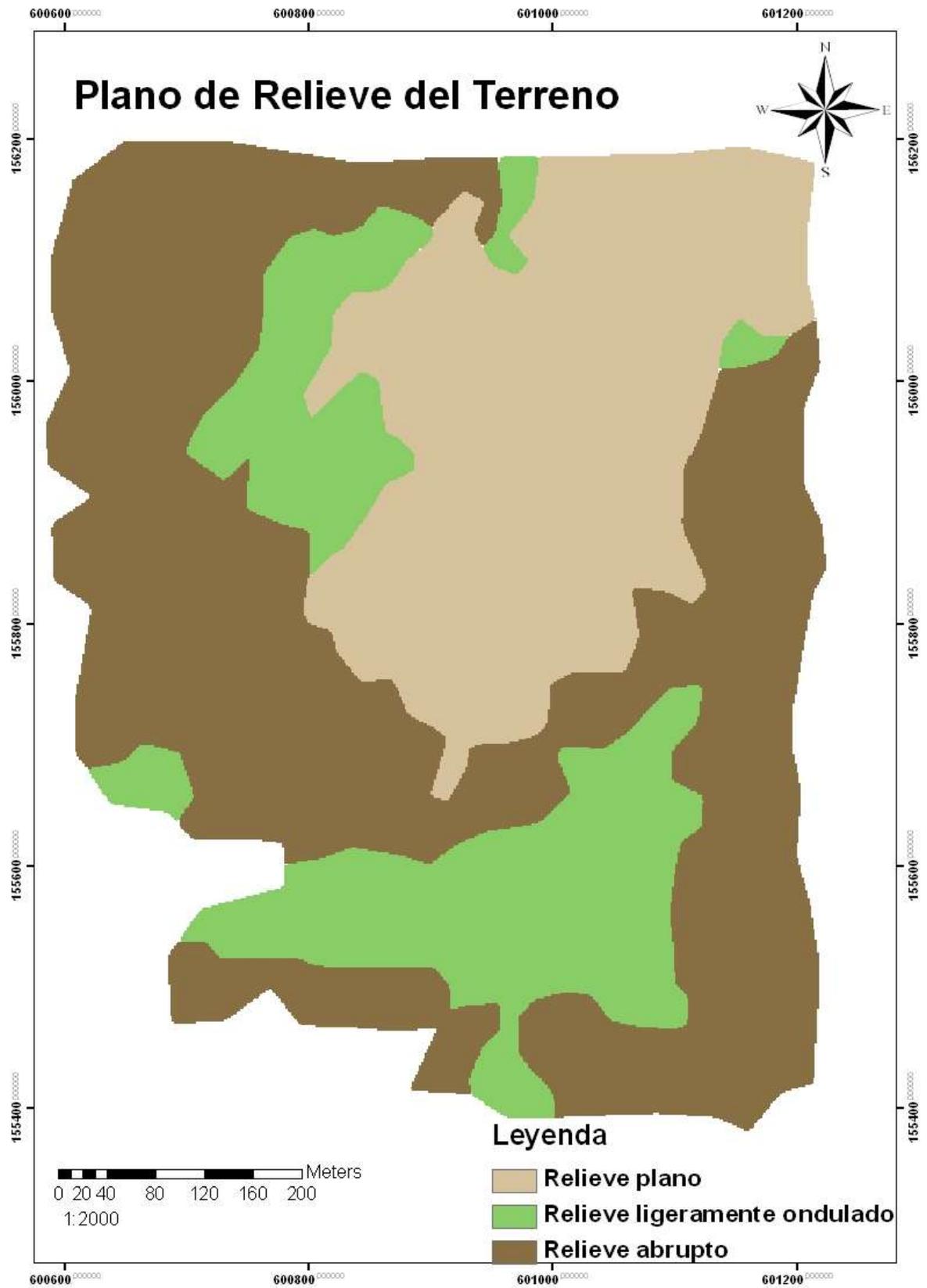


Figura 7. Plano de relieve del terreno.

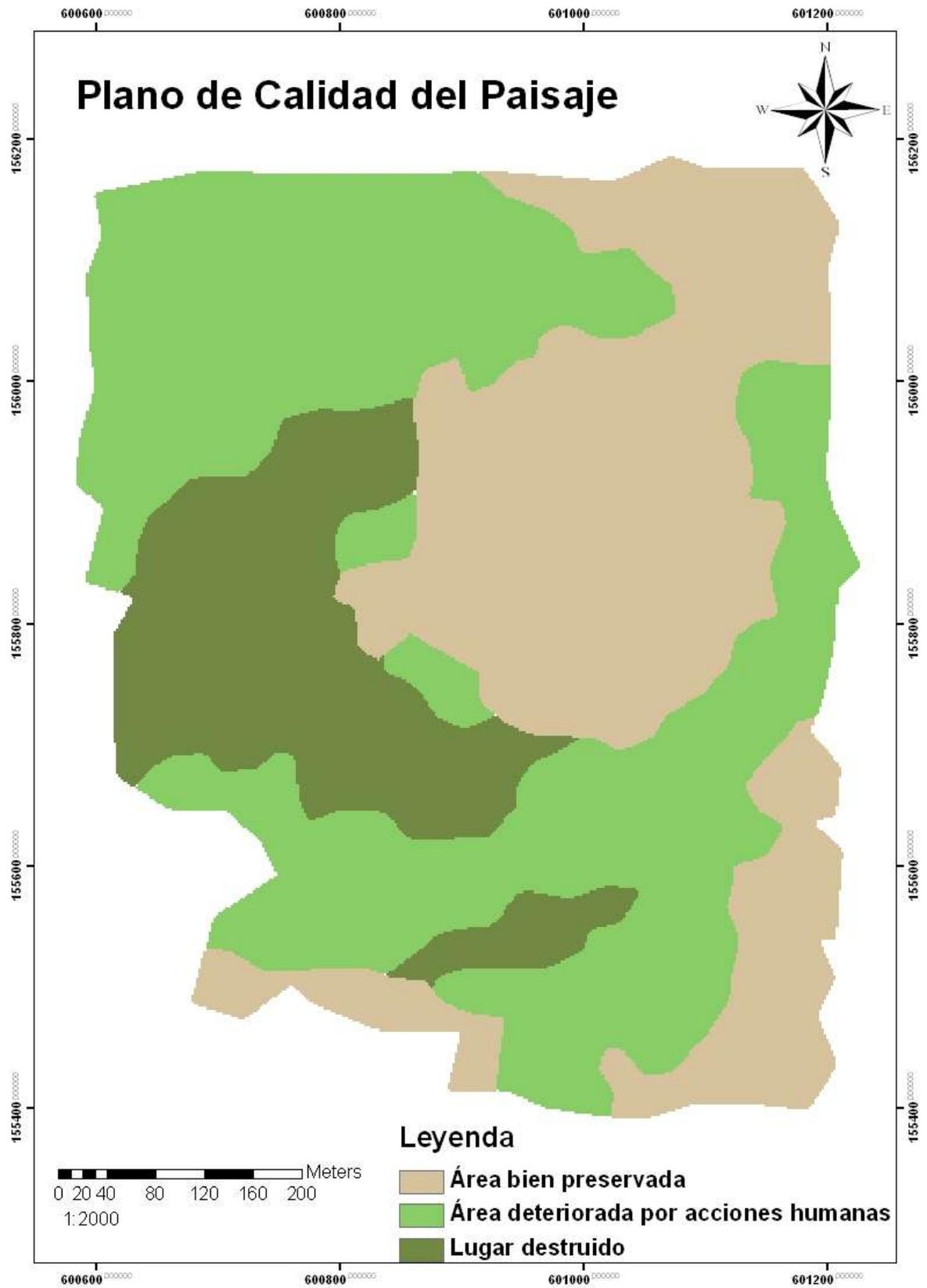


Figura 8. Plano de calidad del paisaje.

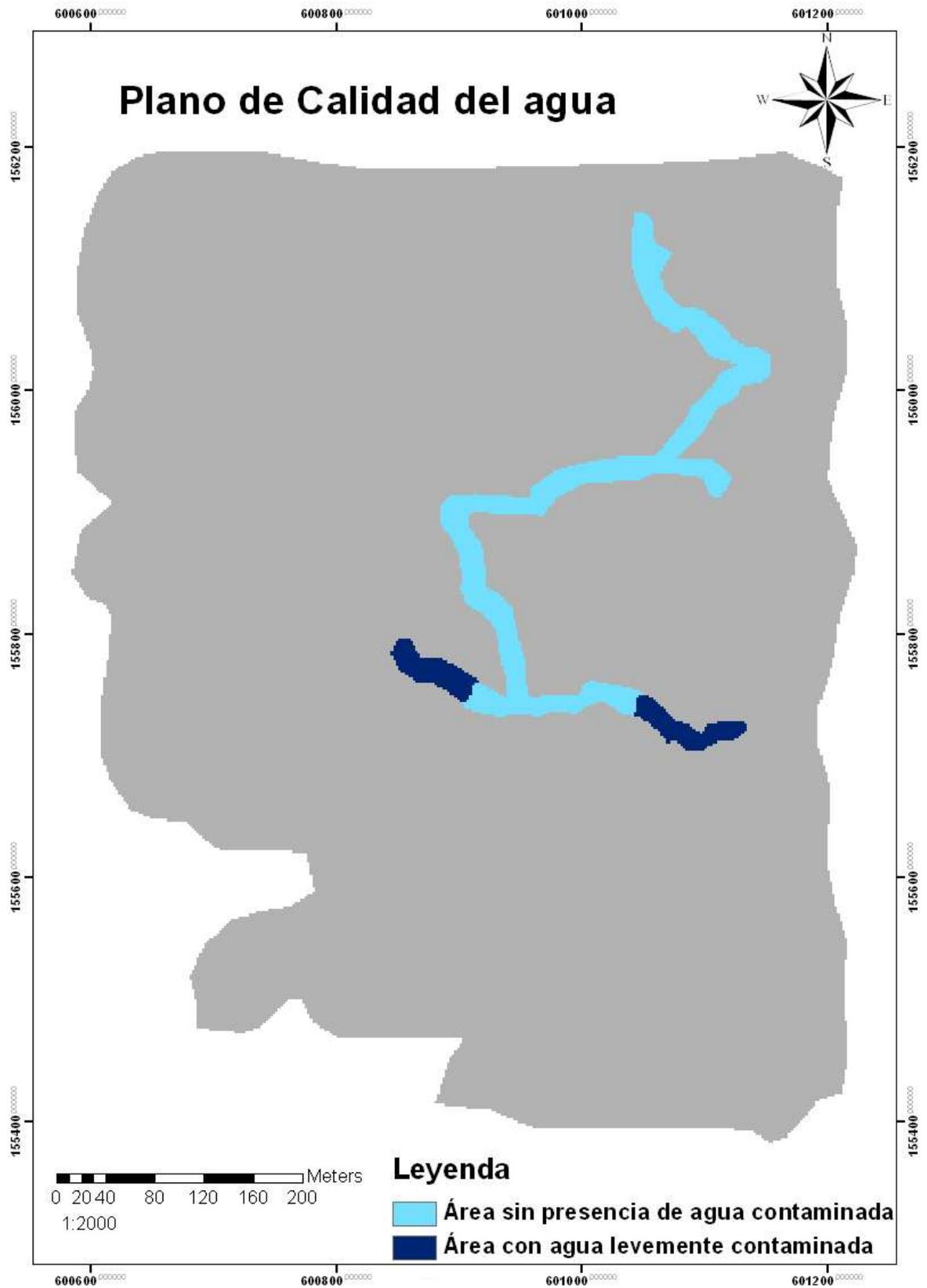


Figura 9. Plano de calidad del agua.



Figura 10. Plano de pendiente del terreno.

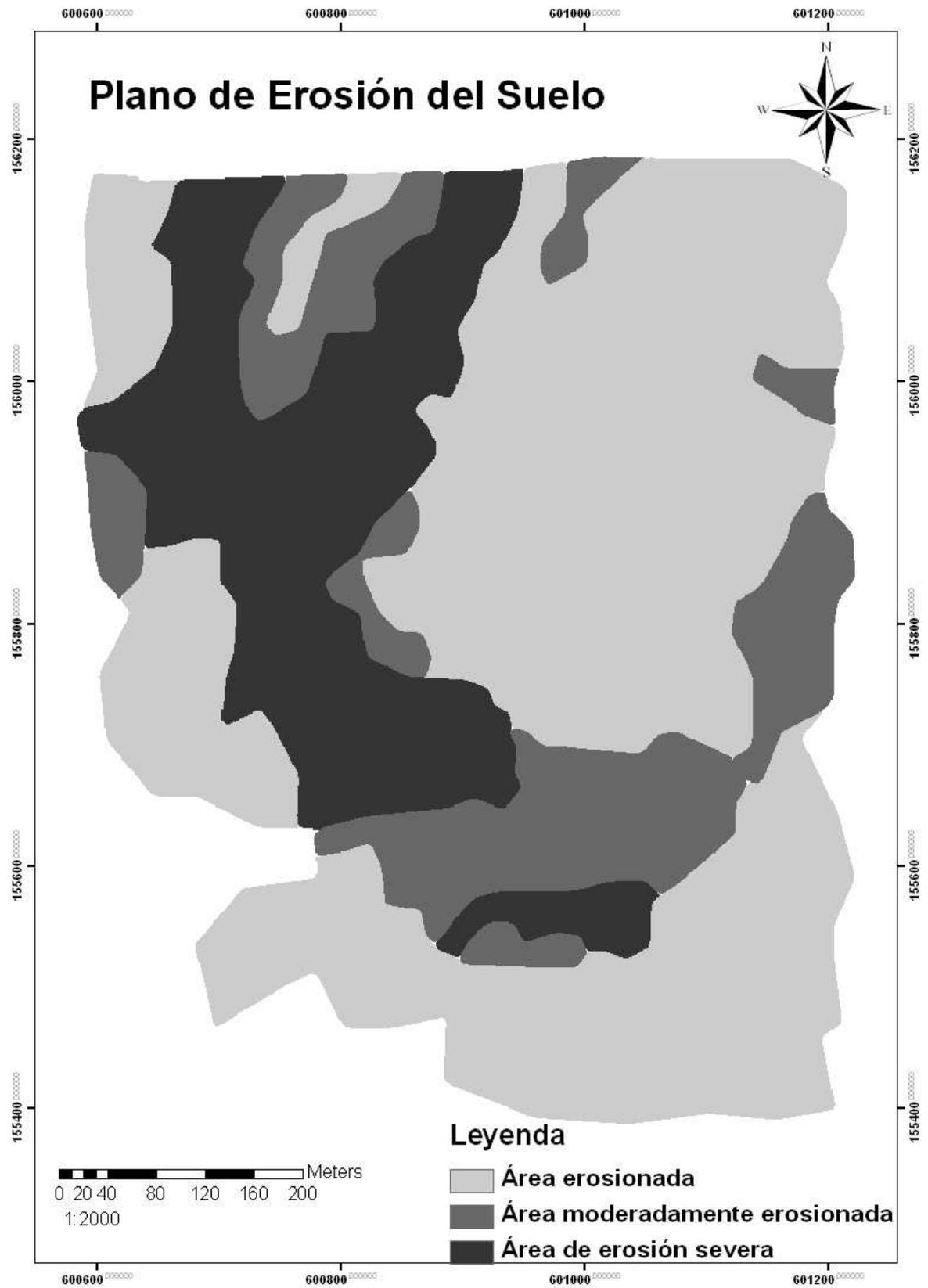


Figura 11. Plano de erosión del suelo.

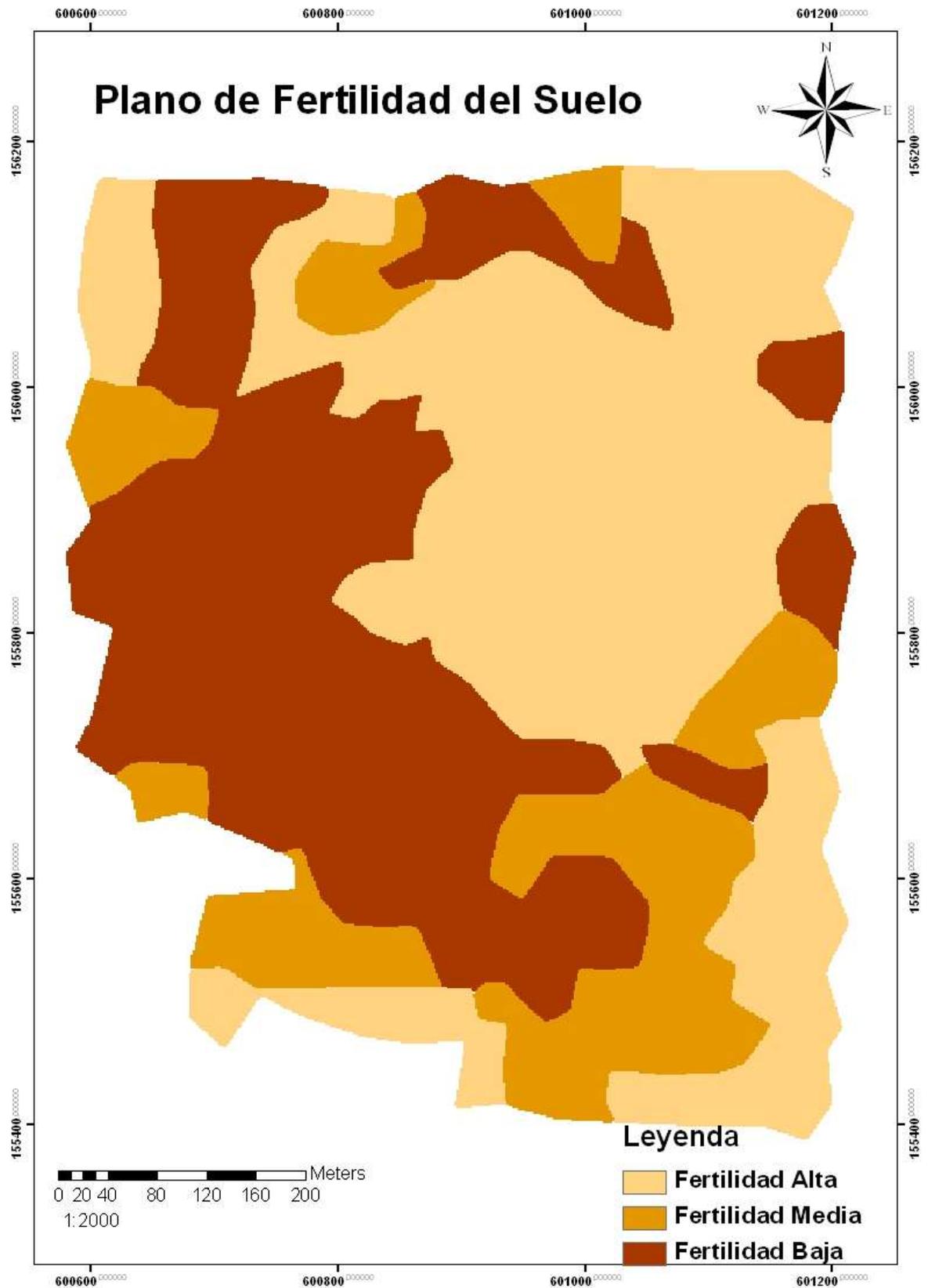


Figura 12. Plano de fertilidad del suelo.

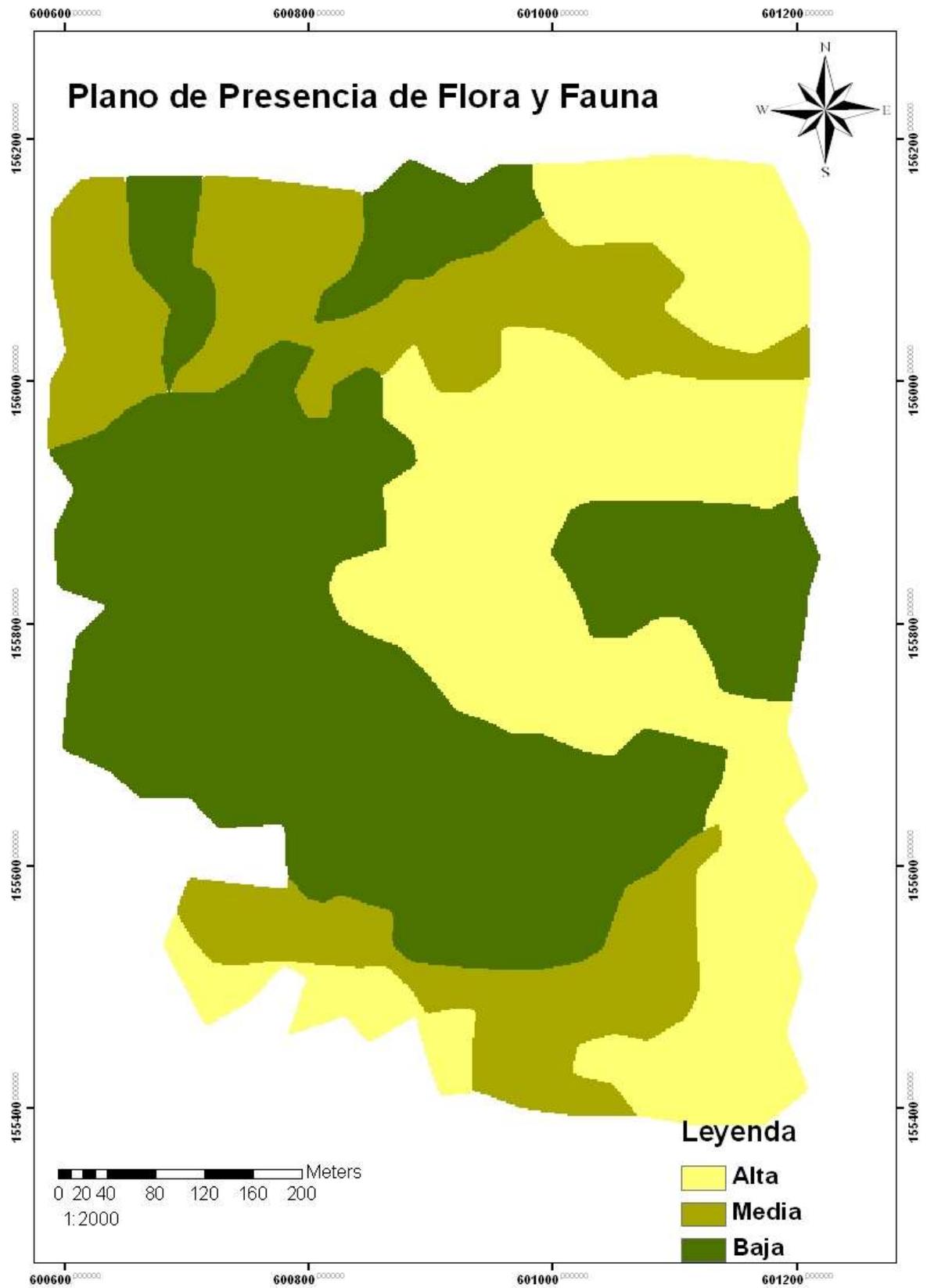


Figura 13. Plano de presencia de flora y fauna.

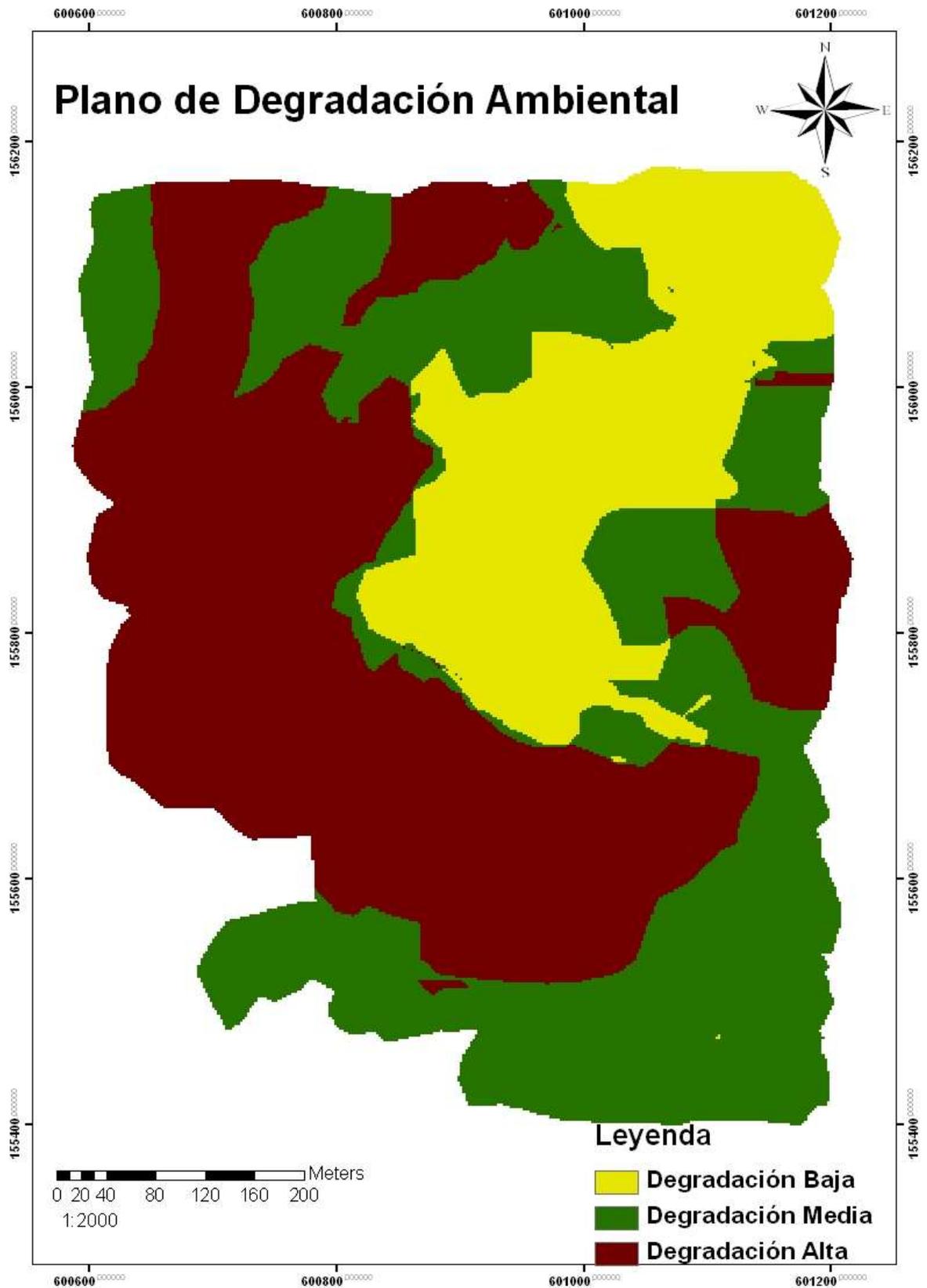


Figura 14. Plano de degradación ambiental.

- **Clasificación de las áreas degradadas**

El plano de degradación ambiental (figura 14) del yacimiento, permitió clasificar en tres las 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.

3.3.2 Planificación y ejecución de la recuperación

- **Determinación del posible uso final del suelo para el área**

Los resultados de la aplicación de la matriz de posibles usos finales para áreas degradadas de la cantera “Los Guaos” se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Determinación de los posibles usos finales del suelo para la cantera “Los Guaos”

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 - Conservación- Depósito de agua - Vertedero

La selección de cualquiera de las variantes de uso final compatibles estará en dependencia de las necesidades de los actores responsables (Planificación Física, CITMA y la comunidad).

En todos los casos deben aplicarse las medidas correspondientes.

- **Propuesta de medidas de recuperación para el área**

Se aplicarán las medidas principales y secundarias de las diferentes prácticas (anexo 15) para la recuperación de áreas degradadas, las cuales son:

- Prácticas edáficas: manejo y protección de suelo
- Prácticas topográficas y geotécnicas
- Prácticas hídricas: protección de los recursos hídricos
- Prácticas ecológicas: manejo de vegetación y fauna

3.3.3 Monitoreo y seguimiento de la recuperación

En función de la variante de recuperación en esta fase se realiza el monitoreo de la calidad ambiental y el seguimiento de la efectividad de la misma, se realizan estudios de supervivencia de flora y se toma muestra de las aguas expuestas a tratamiento para conocer si cumplen con los parámetros ambientales establecidos para vertimiento.

- **Inspecciones a las medidas de recuperación implementadas**

- Monitoreo de las aguas superficiales

Para el desarrollo del proyecto en esta zona es imprescindible preservar, ante todo, la calidad de las aguas de acuerdo con los requerimientos de las normas establecidas ante este factor ambiental. Es recomendable mantener un sistemático monitoreo sobre los afluentes de la zona y establecer los puntos de muestreo en lugares claves. Consultar ficha de indicador calidad del agua (anexo 10.3)

- Monitoreo del suelo

Mantener el seguimiento del comportamiento de la calidad del suelo mediante inspecciones periódicas. En los sectores donde se presentan fenómenos erosivos

se deben tomar medidas para evitar el proceso de destrucción y acarreo. Consultar ficha de indicadores relieve del terreno, erosión, pendiente y fertilidad del suelo (anexos 10.1, 10.4, 10.5 y 10.6).

➤ Monitoreo de la flora y la fauna

Es fundamental mantener el control sobre los deterioros de la biodiversidad. Para ello, antes de que se produzcan los desmontes y desbroces para la explotación proyectada, hay que chequear el inventario florístico de las áreas afectadas.

En caso de tratarse de especies endémicas, comprobar si existen en otras áreas que no serán impactadas por estas obras y proceder a trasplantarlas a otras áreas que se escogerán al efecto. Consultar ficha de indicador de presencia de flora y fauna (anexo 10.7)

➤ Monitoreo del paisaje

Es preciso ser cuidadoso con las vistas panorámicas y la naturaleza, por lo cual se debe estar alerta continuamente ante cualquier acción, ya sea intencional o no, que conlleve fuertes alteraciones del paisaje. Se debe ser particularmente celoso e intransigente ante la ejecución de desbroce, la construcción de escombreras y vertederos de desechos y edificaciones precarias ilegales por parte de la población. Consultar ficha de indicador calidad del paisaje (anexo 10.2).

• **Verificación de los indicadores ambientales**

Esta verificación se realizará por entidades acreditadas y estará avalada por estudios de evaluación de impactos, estudio de supervivencias y estudio de la calidad ambiental del agua. A partir de los resultados obtenidos, se verificará el comportamiento de los indicadores ambientales.

Serán chequeados los parámetros de pH, aceites y grasas y sólidos sedimentables. Con respecto al suelo, se analizará la estabilidad de los taludes, así como la revegetación en taludes y en escombreras. En cuanto al relieve, se analizará cómo este se va integrando al paisaje con la aplicación de todas las medidas recuperadoras.

Conclusiones parciales

1. Con la aplicación de los S.I.G se obtuvieron los planos de cada uno de los indicadores ambientales del área y el plano de degradación ambiental, lo que permitió clasificar por tipos las áreas degradadas en la cantera “Los Guaos”.
2. La aplicación del procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en la cantera “Los Guaos” permitió obtener las variantes de usos: recreativo, urbanístico e industrial, recreativo, conservación, depósito de agua y vertedero; los cuales representan una solución viable a una problemática del territorio.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. El 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 permitió obtener los posibles usos finales para la cantera.
4. La validación del procedimiento en la cantera “Los Guaos” demostró la aplicabilidad del mismo en las zonas afectadas por la actividad minera.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Desarrollar investigaciones para la determinación de indicadores de degradación en otros tipos de yacimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilo, A. M. (1984). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. 6ed. Bogotá.
2. Agudelo, M. J. (2006). Diseño del plan de manejo y recuperación ambiental para la cantera Pozo Azul del Cantón Sur. Tesis de grado, Universidad de la Salle, pp. 114.
3. Alba, D. (1995). *Exploitation: impact et paysages. Alés: École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines d'Alés, v.1.* (Notas de aula de pós-graduação).
4. Andrea, H. P. & Xavier, H. G. (2006). Propuesta de Recuperación Ambiental del Yacimiento Polimetálico Santa Lucía. Tesis de grado. Universidad de Pinar del Río, pp. 96.
5. Anguera, G. M. (2005). El Plan de restauración de una cantera de caliza en Valencia. Tesis de grado. Universidad de Valencia, pp. 121.
6. Arnould, M. (1989). *Estudo do impacto da mineração de agregados sobre o meio ambiente na França: legislação, reabilitação de áreas, balanço de 10 anos de experiência. In: Seminário internacional sobre mineração em áreas urbanas, 1, São Paulo. Anais. São Paulo: DNPM/Pró –minério, pp.21 -24.*
7. Arranz, G. J. (2004). Alteración de la cobertura de suelos por la explotación de rocas industriales en Camargo (Cantabria). Tecnología y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. 2, pp. 22. http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD04_006.pdf
8. Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA) (2006). Manual de Restauración de explotaciones a cielo abierto de Aragón, Gobierno de Aragón.
9. Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA) (2006). Manual de restauración de minas a cielo abierto del Gobierno de Rioja, España.
10. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1987). Norma Brasileira 9897. "Planejamento de Amostragem de Efluentes líquidos e Corpos Receptores". Brasil.

11. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1989). *Degradação do solo - terminologia*- NBR 10.703. Rio de Janeiro.
12. Ávila, M. B.; Contreras, M. E. & Miranda, W. C. (2011). Propuesta de un sistema de indicadores para evaluar la calidad visual del paisaje urbano. *Ecodiseño y Sostenibilidad*. 3, pp. 65-104.
13. Barrera, C.J. (2010). Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del Distrito Capital. Secretaría distrital de ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá, Colombia, pp. 402.
14. Barth, R. C. (1989). *Avaliação da reabilitação de áreas mineradas no Brasil*. Brasil Mineral, (*Edição especial: meio ambiente*), pp.60-72.
15. Bauer, A. M. (1970). *A guide to site development and rehabilitation of pits and quarries*. Toronto: Ontario Department of Mines, pp. 62.
16. Bauer, A. M.(1989). *Mineração planejada e reabilitação de áreas*. Seminário Internacional Sobre Mineração em Áreas Urbanas. São Paulo, pp. 5.
17. Beláustegui, S. (1999). Pendientes del terreno y fundamentos del caudal máximo no erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires – Argentina, pp. 4.
18. Beramendi, B. B. (2013). 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, pp.169.
19. Berger, A. R. & Iams, W. J. (1996). *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: Balkema, pp. 466. Disponible en: <http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>. Acceso el 7 de noviembre de 2014.
20. Bertani, L. A. (2008) Evaluación geoecológica de los paisajes del departamento Minas (Provincia de Neuquén), para el estudio de la degradación de la tierra. Jornada del Doctorado en Geografía. La Plata. Territorios en movimiento: nuevas transformaciones en la Argentina de hoy.
21. Blanco, F. D. (2011). Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos de construcción y demolición (RCD)-forestal.

22. Bohórque, S. S. (2011). Reparación del daño, Aspectos técnicos: Remediación y Restauración, pp.209-235.
23. Botía, C. J. & Castro, L. A. (2011). Sistema de indicadores para el seguimiento de proyectos ambientales aplicado a procesos de recuperación y restauración ambiental de predios mineros. *Revista Azimut*. 3, pp. 15.
24. Box, T. W. (1978). *Reclamation of drastically disturbed land*. In: Symposium Ohio, 1, Wooster. *Proceedings. Wisconsin: American Society of Agronomy*, pp. 3-5.
25. Bradshaw, A.D. (1993). *Restoration of mined Lands-Using Natural Processes. Ecological Engineering*. 8, pp. 255-269.
26. Bradshaw, A.D. (1997). *What do we mean by restoration? In Restoration Ecology and Sustainable Development*, pp. 8-16.
27. Brollo, M. J.; Barbosa, J. M. & Rocha, F. T. (2002). *Programa comum de pesquisa em caracterização e recuperação de áreas degradadas*. CINP/SMA, *Reunião Anual sobre Pesquisa Ambiental a Pesquisa Científica e Tecnológica e a Gestão Ambiental*. São Paulo, pp.74-82.
28. Canut, M. A. (2007). Plan de restauración, recreación y adecuación ambiental de una cantera de piedra caliza en Yepes (Toledo). Tesis de grado. Universidad de Toledo, pp. 89.
29. Carbonell, F. (2003). 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, pp. 88.
30. Carcedo, F. J. & Fernández, L. V. (1989). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. ITGE/MTE. Madrid, pp.321.
31. Carlos, S. (2013). Zonas de acogida para suelos degradados mediante evaluación multicriterio. Trilogía. *Ciencia - Tecnología – Sociedad*.35 (25), pp. 87-103.
32. Cartaya, S.; Méndez, W. & Pacheco, H. (2006). Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. *Revista de Ciencia y Tecnología de América*. 31(9).

33. Cece, G. E.; Juarez de Souza, E. & Matheus, B. V. (2014). *Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Campina, Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantana*. Campo Grande, pp. 10.
34. Cedrón, L. M. (2013). Elaboración de criterios para la transformación de pasivos mineros en activos socio - ambientales sostenibles. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 103.
35. Chambers, V. R. (1979). Diccionario científico y tecnológico. Omega. Barcelona.
36. Chaparro, Á. E. & Catalina M. (2008). Conceptos básicos para entender la legislación ambiental aplicable a la industria minera en los países andinos. CEPAL- Serie Recursos naturales e infraestructura No 134, pp. 46.
37. Chaviano, B. A.; Cervantes, G. Y. & Pierra, C. A. (2011). Algunas consideraciones de rehabilitación minera en la minería del níquel: municipio de Moa, Cuba. DELOS: Desarrollo Local Sostenible. 4(10).
38. Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (CNU-MAD) (1993). Agenda 21. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21>. (Consulta junio, 2015).
39. Coppin, N. J. & Bradshaw, A. D. (1982). *Quarry reclamation: the establishment of vegetation in quarries and open pit non-metal mines*. London: Mining Journal Books, pp. 112.
40. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. (1985). Estudio sobre el uso potencial del suelo, cuenca alta del río Dagua. Cali, Colombia.
41. Corzo, R. L. (2012). La potencialidad del territorio en la restauración ecológica. *Gestión y Ambiente*.15 (3), pp.39-50.
42. Da Silva, G. A. & Aparecido, C. R. (2011). *Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Caminhos de Geografia*.12 (39), pp. 151-166.
43. Decreto Ley No.200. (1999). De las contravenciones en materia de medio ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba.
44. Decreto Ley No.222. (1997). Reglamento de la Ley de Minas. Gaceta Oficial de la República de Cuba.

45. Delgado, S. C. (2009). Proyecto de ampliación de explotación de Lapilli en "Cantera Ta" (Lomo Camacho). Tesis de grado, pp. 87.
46. Díaz, M. B. (2009). Proyecto de recuperación del yacimiento "Carbonato Tanque Viñas". Tercera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias'2009. III Congreso de Minería.
47. Díaz, T. M. (2011). Agro Barrio: Modelo de recuperación de las canteras de los cerros orientales de Bogotá. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana, pp. 41.
48. Devore, J. L. (2000) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. California (Impreso en México): Thomson Editores, pp. 720.
49. Doley, D.; Audet, P. & Mulligan, D. R. (2012). *Examining the Australian context for post-mined land rehabilitation: Reconciling a paradigm for the development of natural and novel ecosystems among post-disturbance landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment.* 163, pp. 85-93.
50. Down, C.G., Stocks, J. (1977). *Environmental impact of mining.* New York: John Wiley, pp. 371.
51. EPM. (1989). Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. Serie: Ingeniería Geoambiental. ITGE. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
52. Fernandes, N. M. & Jose, G. G. (2010). *Avaliação de três diferentes métodos de análise para a determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Corumbataí.* Revista Brasileira de Cartografia. 62(2), pp.169-179.
53. Fernández de Castro, F. A. & López, P. A. (2013). Validación mediante método Delphi de un sistema de indicadores para prever, diseñar y medir el impacto sobre el desarrollo local de los proyectos de investigación en el sector agropecuario. Revista Ciencias Técnicas Agropecuaria. 22, pp. 54-60.
54. Fernández, B. D. (2012). Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos de construcción y demolición (RCD)-forestal.

55. Fernández, G. & Valenzuela, S. (2014). Capacidad de acogida del territorio para usos recreativo-educativos en una cantera inactiva de Tandil. Buenos Aires. Argentina. *Revista Estudios Ambientales*. 2(1).
56. Fernández, T. J. (2012). Aplicación de imágenes satelitales a la restauración de minería a cielo abierto: el caso de la mina de lignito de As Pontes en el NW de España. *La Minería en el Contexto de la Ordenación del Territorio*, pp. 81-92. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/27247/1/P%C3%A1ginas%20de%20OrdenamientoTerritorial_NovaVersao.pdf
57. Ferreira, C. J.; Brollo, M. J. & Eichemberger, U. M. (2008). *Indicadores e quantificação da degradação ambiental em áreas mineradas*, Ubatuba (SP). *Revista Brasileira de Geociencias*. 38(1), pp.141-152.
58. Ferrer, Modolell. A. (1996). Restauración de impactos mineros en zonas semiáridas: el ejemplo de la provincia de Granada. *Revista Geogaceta*.4, pp. 21.
59. Fidalgo, E. C. (2003). *Crítérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais*. *Tese de Doutorado*, UNICAMP, Campinas, pp. 239.
60. Fuentes, S. R. (2014). Procedimiento para la rehabilitación de canteras abandonadas de materiales para la construcción. caso de estudio: Cantera La Zamora, Matanzas. Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río, pp. 129.
61. Galacho J., Benjamín, F., Castaño, A., & Antonio, J. (2013). Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con S.I.G y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*. Vol. 60, pp. 69-85.
62. García, P. F.; Sanfeliu, T.; Meseguer, S. & Jordán, M. M. (2008). Restauración de canteras para su aprovechamiento como vertederos. Conferencia presentada en el I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Castellón, 23-24 de julio de 2008.
63. Gayoso, J. & Alarcón, D. (1999). Guía de conservación de suelos forestales. Programa de producción forestal y medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, pp. 96.

64. Gómez, A. & Alarcón, H. (1975). Erosión. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. CENICAFÉ, Colombia.
65. Gómez, M. & Barredo, J. I. (2005). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Madrid, Ra-Ma Editorial. 2ª edición.
66. Gómez, O. D. (2004). Recuperación de espacios degradados. Ediciones mundi prensa. Madrid.
67. González, Z. P. (1999). Tratamiento normativo de la fase minera post-operacional en los países minero latinoamericanos y la planificación del cierre. Informe Intership.
68. Guerrero, A. D. (2003). Sistema de indicadores mineros para la explotación sostenible de los recursos minerales. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa, pp. 118.
69. Guevara, V. A. (1996). Control de calidad del agua. Análisis de las normas de control de la calidad de las aguas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, pp. 33.
70. Herrero, G.; Bruzón, N.; Batista, K. & Herrera, P. (2009). Reforestación de terrenos degradados por la industria minera a cielo abierto. In: Memorias del XIII Congreso Forestal Mundial realizado del 18 al 23 de octubre del 2009. FAO/ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la República Argentina/Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires, Argentina.
71. Holmberg, G. V. & Henning, S. J. (1983). *Surface mining environmental monitoring and reclamation handbook*. New York: Elsevier, Cap. 3, pp. 279-396.
72. Jayawardena, D. E. (1994). *Mineral resources development and the environment in the Asia/Pacific region*. In: *Seminar on capacity building for environment management in Asian/Pacific mining*, Jakarta. *Proceedings*. Jakarta: UNCTAD, pp.91-99.

73. Joo, N. J. & Alvarado, P. V. (2013). Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a datos sobre educación: una primera aproximación. *Revista Educación y Tecnología*. 3, pp. 112-123.
74. Legrá, L. A. (2012). Aplicación Informática para aplicar el Método de Expertos Delphi. Manual de ayuda, Versión 1.0, pp. 19.
75. Legrá, L. A. & Silva, D. O. (2011). La investigación científica, Conceptos y reflexiones. Habana: Félix Varela, pp.445.
76. Leticia, M. D. (2011). *Proposta de Recuperação Ambiental para uma Pedreira*. Tesis de grado. Universidade de Passo Fundo, pp. 77.
77. Ley No.33 de protección del medio ambiente y del uso racional de los recursos naturales (1981). Gaceta Oficial de la República de Cuba. (Derogada).
78. Ley No.76, Ley de Minas. (1995). Gaceta Oficial de la República de Cuba.
79. Ley No.81, Ley de Medio Ambiente. (1997). Gaceta Oficial de la República de Cuba.
80. Ley No.85, Ley Forestal. (1998). Gaceta Oficial de la República de Cuba.
81. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución (2011), VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, pp.38.
82. Linstone, H. A & Turoff, M. (1975). *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading, MA: Addison Wesley Publishing.
83. Llupíá, A. (2010). Propuesta para la restauración de zonas afectadas por explotación de áridos. *Revista Ciencia*. 5(13), pp. 71-77.
84. Lyle, E. S. (1987). *Surface mine reclamation manual*. New York: Elsevier, pp. 286.
85. Madureira, S. M.; Hermes, C. L. & Soares, C. D. (2011). *Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da uhe de Belo Monte, no Estado do Pará*. *Espaço Plural* Año XII. 25(13).
86. Malczewski, J. (2006). *Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 8, pp. 270–277.

87. Mamin, Alí, M. (2003). Proyecto de Rehabilitación del Yacimiento de Arena “Dorados II”, Sector Bambá. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, pp. 74.
88. Mansur, S. E. & Thomé da Silva, M. F. (2009). *O turismo como alternativa para recuperação de áreas degradadas pela mineração. Turismo & Sociedade*. 2(1), pp. 15.
89. Martin, W. F. (2006). Metodología de la investigación. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Cuba, pp. 345.
90. Mendoza G.A. & Martins H. (2006). *Multicriteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. Forest Ecology and Management*. 230:1-22.
91. Merinero, P. P. (2009). Proyecto de cierre de la explotación minera a cielo abierto “Corta Cervantes”, pp. 146.
92. Milián, M. E. (2014). Procedimiento para la rehabilitación minero-ambiental de los yacimientos polimetálicos de Pinar del Río. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, pp.115.
93. Molina, J. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña Manresa, pp. 288.
94. Montes de Oca, R. A. & Ulloa, C. M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Revista Luna Azul*. 37, pp. 74-88.
95. Montes de Oca, R. A.; Ulloa, C. M. & García, C. S. (2014). Evaluación y recuperación ambiental del ecosistema dañado por la explotación del yacimiento Tibaracón del Toa, Guantánamo, Cuba. *Gestión ambiental*.27, pp. 19-33.
96. Montes de Oca, R. A.; Ulloa, C. M. & García, C. S. (2014). Procedimiento para la recuperación del área minada en el yacimiento grava – arena Río Sagua, Holguín. Cuba. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. 36, pp. 18-25.
97. Montse, J. V. & Vallejo, R. (2010). Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo, pp. 225.
98. Naime, R. & Garcia, A. C. (2005). *Recuperação de áreas degradadas por pedreiras. Uniciências*. 9, pp. 59-71.

99. NC 27 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado (2012). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 14.
100. NC 28 Calidad del suelo. Clasificación de las tierras afectadas para la restauración (1999). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 13.
101. NC 29 Calidad del suelo. Restauración de las tierras. Términos y definiciones (1999). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 10.
102. NC 30 Calidad del suelo. Tierras alteradas. Requisitos generales para la restauración (1999). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 14.
103. NC 31 Calidad del suelo. Requisitos para la protección de la capa fértil del suelo al realizar trabajos de movimiento de tierra (1999). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 6.
104. NC 1020 Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables (2014). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 18.
105. NC 1059 Calidad del aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas (2014). Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 81.
106. Neri, A. & Sánchez L. (2012). *Guia de boas práticas de recuperação ambiental em pedreiras e minas de calcário*. ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, pp. 180.
107. Nieto, H. G. & León, G. M. (2007). Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*. 33(3), pp. 271-279.
108. Ocampo, M. R. (2011). Relevamiento preliminar del estado ambiental actual de las canteras de áridos en Comodoro Rivadavia. *Párrafos Geográficos*. 10(1), pp.615-626.
109. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición, Volumen 1, pp. 408.
110. *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*. (1993) *Environmental indicators for environmental performance reviews*. Paris, Francia, pp. 83.

111. *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*. (2003) *Environmental indicators development, measurement and use*. Paris: OECD, pp. 37. Disponible en: <http://www.oecd.org/env> . Acceso el 17 de enero de 2015.
112. Oyarzún, J. (2008): Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido. Universidad de La Serena.
113. Pages, V. J. & Vega, H. A. (1994). Estudio ambiental para la restauración de una explotación de áridos. Cuaderno Lab. Xeológico de Laxe. 19, pp. 19.
114. Paris, S. M. (2009). Proyecto de restauración de la cantera “El Pascol” en el término municipal de Caldes de Montbui. Tesis de Maestría, pp. 154.
115. Parra, A. J. (2003). Estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos. Tesis de grado, pp. 86.
116. Patil, V. D.; Sankhua, R. N. & Jain, R. K. (2012). *Analytic Hierarchy Process for Evaluation of Environmental Factors for Residential Land Use Suitability. International Journal of Computational Engineering Research*. 2(7), pp. 8.
117. Peirce, F. J. & W. E. Larson (1996). *Quantifying indicators for soil quality*. In Berger, A.R, pp. 98.
118. Pereira, C. J. (2001). *Análise de dados qualitativos: Estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais*. 3ª edição, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
119. Pereira, C. J.; Ferreira, S. G.; Polidoro, M., & Augusto, L. J. (2011). *Análise da fragilidade ambiental em áreas urbanas. O caso do município de Londrina - PR. Paper presented at the Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil*.
120. Pérez, S. A. (2015). 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, pp. 84.
121. Pous, A. A. (1985). Recuperación de zonas devastadas por los trabajos mineros. *Revista Tecnológica*. XV(1).

122. Ramírez, R. M. (2008). Sostenibilidad de la explotación de materiales de construcción en el Valle de Aburrá. Universidad Nacional de Colombia, pp. 145.
123. Rathore, C. S. & Wright, R. (1993). *Monitoring environmental impacts of surface coal mining*. *Inst. J. Remote Sensing*, 14(6), pp. 1021-1042.
124. Rendón, D. C. (2011). Herramientas de Gestión de Transferencia Tecnológica para la Recuperación de áreas degradadas por minería. Tesis de maestría, pp. 123.
125. Resolución 132 (2009) del CITMA "Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental".
126. Reyna, G. P.; Bello, P. J. & Ortíz, L. L. (2014). *Incorporating expert knowledge for development spatial modeling in assessing ecosystem services provided by coral reefs: A tool for decision-making*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2), pp. 279-292.
127. Riverón, M. H. (2003). Propuesta de un plan para la rehabilitación de las áreas degradadas por la extracción de arena en la cuenca hidrográfica Sagua- Miguel. (Sector La Plazuela). Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, pp. 95.
128. Rodríguez, F. P. & Alboreca, A. R. (2011). MPC 2.0, software para la aplicación del método AHP de toma de decisiones multicriterio. *Recursos Rurais*. 7, pp. 27-33.
129. Rodríguez, M. E.; Oviedo, R. & Socarrás, A. A. (2008). Biodiversidad del suelo: importancia para la rehabilitación de zonas degradadas por la minería. *Acta Botánica Cubana*. 201, pp. 31-36.
130. Rojas, G. J. (1981). Informe de la exploración de explotación y adicional del yacimiento de porfiritas "Los Guaos", Santiago de Cuba. Ministerio de la construcción. Empresa Geológico Minera, Establecimiento Oriente, pp 42.
131. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, Inc. New York, USA, pp. 287.
132. Saaty, T. L. (1990). *Decision making for Leaders. The Analitic Herarchy Process for decision in a complex World*. University of Pittsburgh. RWS Publications, Pittsburgh, USA, pp. 292.

133. Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of Decision Making*. RSW Publications.
134. Sabina, C. (1992). El Proceso de Investigación, editorial PANAPO, Caracas.
135. Sánchez, L. E. (1998). *A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica, USP, São Paulo.*
136. Santillán, R. V. (2012). Identificación de zonas de importancia ambiental y vulnerabilidad de ecosistemas mediante métodos de evaluación multicriterio (EMC) en el entorno de los sistemas de información geográfica (S.I.G). Cuenca del Río Paute, Suroriente del Ecuador. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. 4(4), pp. 56-76.
137. Sarmiento, M. Y. (2008). Restauración en explotaciones de minas Calizas. *Revista Luna Azul*. 27(10).
138. Savigear, R. A. (1962). *Some observations on slope development in North Devon and North Cornwall*, *Inst. British Geographers Trans.* 18, pp. 23–42.
139. Somenson, M. (2014) Planificación para la restauración ambiental de canteras viales en desuso. Guía metodológica. Dirección Nacional de Vialidad, pp. 109.
140. Spörl, C. & Sanches R, J. 2004. *Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos*. *GEOUSP - Espaço e Tempo*. 15, pp. 11.
141. Store, R., & J. Kangas. (2001). *Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling*. *Landscape and Urban Planning* 55, pp.14.
142. Taboada, G. J. (2005). Sistemas de información medioambiental. Editorial Netbiblo, pp. 272.
143. Therese, L. B. (1997). *Doing Social Research*. 2ª. ed. MacGraw Hill. USA, pp.54.
144. Ulloa, C. M. (2004). Rehabilitación de áreas en desuso del yacimiento de rocas ornamentales “Rosado del Río” provincia Granma, pp. 15.
145. Urbano, J. (2001). Consideraciones metodológicas para la recuperación de tierras áridas degradadas. *Observatorio Medioambiental*. 4, pp. 41.
146. Vadillo, F. L. (2008). Problemática ambiental de la minería de los áridos naturales. *Tecnoambiente*. 13, pp. 47 – 50.

147. Venegas, V. H. (2014). Modelo de restauración de áreas degradadas por minería en el Bagre – Antioquia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, pp. 172.
148. Viers, G. (1967). *Eléments de géomorphologie*. Paris: Nathan, pp. 342.
149. Willians, D. D. (1990). *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília: Ibama, pp. 58.
150. Yazbek, B. O. (1997). *Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo*. Tesis doctoral. Universidad de São Paulo, pp. 162.
151. Yazbek, B. O. (2006). *Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: Matas Ciliares do interior paulista*. São Paulo: Instituto de Botânica, Barbosa, pp. 193.
152. Yépez, W. (2012). Borrador de la auditoría ambiental del área minera "Jhannyne". pp. 187.

ANEXOS

ANEXO 1. CUESTIONARIO ENVIADO A LOS EXPERTOS

Nombre y apellidos: _____.

Institución a la que pertenece: _____.

Cargo actual: _____.

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor: _____.Licenciado: _____.Especialista: _____.Master: _____.Doctor: _____.

Años de experiencia en el cargo: _____.

Años de experiencia docente y/o en la investigación: _____.

Como parte del tema de tesis de Doctorado en Minería se elaboraron propuestas de indicadores de degradación ambiental en canteras de áridos. Dicha propuesta se anexa a esta encuesta, la cual deseo que usted consulte y ofrezca su opinión con relación a:

1) Seleccione los indicadores que usted considera más importantes que influyen en el nivel de degradación ambiental en canteras de áridos:

- Relieve del terreno
- Pendiente del terreno
- Erosión del suelo
- Fertilidad del suelo
- Calidad del agua
- Calidad del paisaje
- Presencia de flora y fauna
- Clima
- Litología
- Característica del recurso minero

2) Añada otros indicadores que usted considere deben tenerse en cuenta para obtener el nivel de degradación ambiental en canteras de áridos:

3) Valore la importancia de los indicadores elegidos teniendo en cuenta una escala de (valor 0 mínimo) hasta 1 (máximo valor).

Indicador	Valor

Muchas gracias.

ANEXO 2. ENCUESTA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE COMPETENCIA DEL EXPERTO

Nombre y apellidos: _____

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto al grado de relevancia de los indicadores que han sido utilizados por varios investigadores en el proceso de recuperación de áreas degradadas en canteras. Necesitamos antes de realizarle la consulta correspondiente, como parte del método empírico de investigación “consulta a expertos”, determinar su coeficiente de competencia en este tema, a los efectos de reforzar la validez del resultado de la consulta que realizaremos. Por esta razón, le rogamos que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva posible.

1.- Marque con una cruz (X), en la tabla siguiente, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento que usted posee sobre el tema “Recuperación de áreas degradadas en canteras”.

Considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde 1 hasta 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2.- Realice una autovaloración del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación ha tenido en su conocimiento y criterio sobre la “Recuperación de áreas degradadas en canteras”.

Para ello marque con una cruz (X), según corresponda, en A (alto), M (medio) o B (bajo).

Fuentes de argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes		
	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teóricos realizados por usted			
Su experiencia obtenida			
Trabajo de autores nacionales			
Trabajo de autores extranjeros			

Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero			
Su intuición			

Muchas gracias.

ANEXO 3. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE COMPETENCIA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPERTOS SELECCIONADOS

Cálculo de coeficiente de competencia

$K = \frac{1}{2} (kc + ka)$, donde:

kc: coeficiente de conocimiento o información del experto acerca del problema. Se calcula a partir de la valoración ofrecida por el experto sobre su conocimiento de la problemática, expresada en una escala de 1 – 10, que se multiplica por 0,1.

ka: coeficiente de argumentación del experto que se calcula a partir de los puntos obtenidos al sustituir las respuestas ofrecidas por el experto sobre una tabla patrón.

Tabla 1. Patrón para evaluar el coeficiente de argumentación

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	A (alto)	M (medio)	B (bajo)
Análisis teóricos realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Su experiencia obtenida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores nacionales	0,05	0,04	0,03
Trabajos de autores extranjeros	0,05	0,04	0,03
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,04	0,03
Su intuición	0,05	0,04	0,03

Tabla 2. Evaluación de los coeficientes de conocimientos y argumentación de los expertos

<u>Expertos Ci</u>								
	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>	<u>C4</u>	<u>C5</u>	<u>C6</u>	<u>C7</u>	<u>C8</u>
Kc	0,8	0,9	0,8	0,5	0,8	0,9	0,6	0,9
Ka	0,99	1	0,98	0,63	0,86	0,96	0,43	0,94
K	0,89	0,95	0,89	0,57	0,83	0,93	0,51	0,92
ESel	X	X	X		X	X		X

<u>Expertos</u>							
	<u>C9</u>	<u>C10</u>	<u>C11</u>	<u>C12</u>	<u>C13</u>	<u>C14</u>	Valor medio
Kc	0,9	1	0,9	0,8	0,5	0,7	0,79
Ka	0,98	1	0,97	0,85	0,65	0,65	0,85
K	0,94	1	0,94	0,83	0,58	0,68	0,82
ESel	X	X	X	X			

Tabla 3. Características técnico-profesional de los expertos

Calificación profesional			
Centro de trabajo	Cantidad	Descripción	Labor que realizan
Centro docente nacional	1	ISMM	Docencia-investigación
Centro de investigación	4	CITMA-Holguín, CEPRONIQUEL, IGA, EMPRESA DE INVESTIGACIONES, PROYECTOS E INGENIERÍA DE MATANZAS	Investigación-producción
Producción y servicio	5	ONRM, EMC Guantánamo, Empresa Minera del Caribe, EMC Granma, EMC Tunas	Producción
Centro Extranjero	4	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) – Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Universidad Politécnica de Madrid	Docencia-Investigación
Total	14		
Calificación profesional y académica			
Graduados universitarios	Especialidad de postgrado	Maestría	Doctor en Ciencias
	2	5	7
Años de experiencia			

Rangos	Docencia-investigación	Producción	Investigación-producción
1 – 5 años		1	
6 – 10 años		1	
11 – 15 años		1	1
16 – 20 años	1	2	
21 – 25 años	1		
Más de 26 años	3		3
Sub-Total	5	5	4
Total	14		

ANEXO 4. RESULTADOS DE LA SEGUNDA RONDA

Anexo 4.1. Tabla de frecuencia absoluta

Influencia de los indicadores en la degradación de canteras						
TABLA DE FRECUENCIA ABSOLUTA						
	MA	BA	A	PA	I	TOTAL
Relieve del terreno	8	2	0	0	0	10
Pendiente del terreno	8	2	0	0	0	10
Característica del recurso minero	1	0	0	0	9	10
Clima	1	0	0	1	8	10
Fertilidad del suelo	10	0	0	0	0	10
Calidad del agua	9	0	1	0	0	10
Litología	1	2	0	0	7	10
Presencia de flora y fauna	10	0	0	0	0	10
Calidad del paisaje	7	3	0	0	0	10
Erosión del suelo	9	1	0	0	0	10

Anexo 4.2. Tabla de frecuencia acumulada

Influencia de los indicadores en la degradación de canteras					
TABLA DE FRECUENCIA ACUMULADA					
	MA	BA	A	PA	I
Relieve del terreno	8	10	10	10	10
Pendiente del terreno	8	10	10	10	10
Característica del recurso minero	1	1	1	1	10
Clima	1	1	1	2	10
Fertilidad del suelo	10	10	10	10	10

Calidad del agua	9	9	10	10	10
Litología	1	3	3	3	10
Presencia de flora y fauna	10	10	10	10	10
Calidad del paisaje	7	10	10	10	10
Erosión del suelo	9	10	10	10	10

Anexo 4.3. Tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada

Influencia de los indicadores en la degradación de canteras				
TABLA DEL INVERSO DE LA FRECUENCIA ABSOLUTA ACUMULADA				
	MA	BA	A	PA
Relieve del terreno	0,8	1	1	1
Pendiente del terreno	0,8	1	1	1
Característica del recurso minero	0,1	0,1	0,1	0,1
Clima	0,1	0,1	0,1	0,2
Fertilidad del suelo	1	1	1	1
Calidad del agua	0,9	0,9	1	1
Litología	0,1	0,3	0,3	0,3
Presencia de flora y fauna	1	1	1	1
Calidad del paisaje	0,7	1	1	1
Erosión del suelo	0,9	1	1	1

Anexo 4.4. Determinación de los puntos de corte

DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE CORTE							
	MA	BA	A	PA	Suma	Pro. Fil	N - Prom.
Relieve del terreno	0,84	3,49	3,49	3,49	11,31	2,83	-1,07
Pendiente del terreno	0,84	3,49	3,49	3,49	11,31	2,83	-1,07
Característica del recurso minero	-1,28	-1,28	-1,28	-1,28	-5,12	-1,28	3,04
Clima	-1,28	-1,28	-1,28	-0,84	-4,68	-1,17	2,93
Fertilidad del suelo	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-1,73
Calidad del agua	1,28	1,28	3,49	3,49	9,54	2,39	-0,63
Litología	-1,28	-0,52	-0,52	-0,52	-2,84	-0,71	2,47
Presencia de flora y fauna	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-1,73
Calidad del paisaje	0,52	3,49	3,49	3,49	10,99	2,75	-0,99
Erosión del suelo	1,28	3,49	3,49	3,49	11,75	3,94	-1,18
Suma	7,9	19,14	21,35	21,79	70,18	17,56	
Punto de corte (Prom. Columna)	0,79	1,91	2,14	2,18	7,02	1,76 = N (Prom. Gener.)	

Anexo 4.5. Tabla de conclusiones generales

CONCLUSIONES GENERALES					
	MA	BA	A	PA	I
Relieve del terreno	Sí	-	-	-	-
Pendiente del terreno	Sí	-	-	-	-
Característica del recurso minero	-	-	-	-	Sí
Clima	-	-	-	-	Sí
Fertilidad del suelo	Sí	-	-	-	-
Calidad del agua	Sí	-	-	-	-
Litología	-	-	-	-	Sí
Presencia de flora y fauna	Sí	-	-	-	-
Calidad del paisaje	Sí	-	-	-	-
Erosión del suelo	Sí	-	-	-	-

ANEXO 5. RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA

Indicadores que influyen en la degradación de canteras	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7	Ex8	Ex9	Ex10	Sj	Smed	(Sj-Smed)	(Sj-Smed) ²
Calidad del paisaje	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	12	21,14	-9,14	83,59
Pendiente del terreno	3	1	1	2	2	2	1	2	1	2,5	17,5	21,14	-3,64	13,27
Fertilidad del suelo	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	15	21,14	-6,14	37,73
Presencia de flora y fauna	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	21,14	-11,14	124,16
Calidad del agua	3	2,5	3	1	2	2	1	1	1	2	18,5	21,14	-2,64	6,98
Relieve del terreno	6	7	7	7	5	7	6	7	5,5	5	62,5	21,14	41,36	1710,41
Erosión del suelo	1	1	1	2	1	1	1	1	1,5	2	12,5	21,14	-8,64	74,69
Total														2050,85

Cantidad de expertos M = 10

Cantidad de indicadores P = 7

ANEXO 6. MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA

	Presencia de flora y fauna	Calidad del agua	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Erosión del suelo
Presencia de flora y fauna	1	2	2	3	4	6	7
Calidad del agua	0,5	1	2	2	3	6	4
Relieve del terreno	0,5	0,5	1	2	3	4	5
Calidad del paisaje	0,33333	0,5	0,5	1	2	2	4
Fertilidad del suelo	0,25	0,3333	0,3333	0,5	1	2	3
Pendiente del terreno	0,1666	0,1666	0,25	0,5	0,5	1	2
Erosión del suelo	0,1428	0,25	0,2	0,25	0,3333	0,5	1
Σ	2,8928	4,75	6,2833	9,25	13,8333	21,5	26

ANEXO 7. MATRIZ NORMALIZADA

	Presencia de flora y fauna	Calidad del agua	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Erosión del suelo
Presencia de flora y fauna	0,3457	0,4210	0,3183	0,3243	0,2891	0,2791	0,2692
Calidad del agua	0,1729	0,2105	0,3183	0,2162	0,2169	0,2791	0,1538
Relieve del terreno	0,1728	0,1053	0,1592	0,2162	0,2169	0,1860	0,1923
Calidad del paisaje	0,1152	0,1052	0,0795	0,1081	0,1446	0,0930	0,1538
Fertilidad del suelo	0,0864	0,0701	0,0530	0,0541	0,0723	0,0930	0,1154
Pendiente del terreno	0,0576	0,0351	0,0398	0,0541	0,0361	0,0465	0,0769
Erosión del suelo	0,0494	0,0526	0,0318	0,0270	0,0241	0,0233	0,0385
Σ	1	1	1	1	1	1	1

	Presencia de flora y fauna	Calidad del agua	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Erosión del suelo
Presencia de flora y fauna	1	2	2	3	4	6	7
Calidad del agua	0,5	1	2	2	3	6	4
Relieve del terreno	0,5	0,5	1	2	3	4	5
Calidad del paisaje	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	4
Fertilidad del suelo	0,25	0,3333	0,3333	0,5	1	2	3
Pendiente del terreno	0,1666	0,1666	0,25	0,5	0,5	1	2
Erosión del suelo	0,1428	0,25	0,2	0,25	0,3333	0,5	1

**ANEXO 9.
CÁLCULO
DEL
ÍNDICE DE
CONSISTENCIA**

0,32	1	0,22	2	0,18	2	0,11	3	0,08	4	0,05	6	0,04	7
	0,5		1		2		2		3		6		4
	0,5		0,5		1		2		3		4		5
	0,3333		0,5		0,5		1		2		2		4
	0,25		0,3333		0,3333		0,5		1		2		3
	0,1666		0,1666		0,25		0,5		0,5		1		2
	0,1428		0,25		0,2		0,25		0,3333		0,5		1

ANEXO 9. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONSISTENCIA (CONTINUACIÓN)

	Presencia de flora y fauna	Calidad del agua	Relieve del terreno	Calidad del paisaje	Fertilidad del suelo	Pendiente del terreno	Erosión del suelo	Σ	PESO	Σ /PESO
Presencia de flora y fauna	0,3209	0,4479	0,3567	0,3426	0,3110	0,2966	0,3461	2,42	0,32	7,5464
Calidad del agua	0,1604	0,2239	0,3567	0,2284	0,2333	0,2966	0,1977	1,70	0,22	7,5794
Relieve del terreno e	0,1604	0,1119	0,1783	0,2284	0,2333	0,1977	0,2472	1,36	0,18	7,6107
Calidad del paisaje	0,1069	0,1119	0,0891	0,1142	0,1555	0,0988	0,1977	0,87	0,11	7,6564
Fertilidad del suelo	0,0802	0,0746	0,0594	0,0571	0,0777	0,0988	0,1483	0,60	0,08	7,6696
Pendiente del terreno	0,0534	0,0373	0,0445	0,0571	0,0388	0,0494	0,0988	0,38	0,05	7,6802
Erosión del suelo	0,0458	0,0559	0,0356	0,0285	0,0259	0,0247	0,0494	0,27	0,04	7,5528
										λ_{max}
										7,6136

ANEXO 10. CARACTERIZACIÓN DE LOS INDICADORES

Anexo 10.1. Indicador de relieve del terreno

NOMBRE: RELIEVE DEL TERRENO

BREVE DESCRIPCIÓN

El concepto de relieve está basado en la definición que se da comúnmente en la literatura geomorfológica francesa (Viers, 1967).

Relieve: geoforma que resulta de una determinada combinación de topografía y estructura geológica, controlada mayormente por la geodinámica interna.

SIGNIFICADO

La forma del relieve tiene una particular importancia a la hora de realizar un estudio del medio físico. Independientemente del objetivo a alcanzar, siempre hay que tener presente el modelado de la superficie terrestre. Y es importante *per se* y por la influencia que pueda tener en la inventariación de otros elementos y determinados procesos (Aguilo, 1984).

CAUSA HUMANA O NATURAL

Los terrenos pueden ser perturbados tanto por procesos naturales como por actividades humanas. Estas últimas influyen sobre las propiedades de los suelos, al inducir el incremento de su densidad volumétrica mediante la labranza agrícola y operaciones viales, por la acidificación proveniente del uso de fertilizantes inorgánicos y por lluvias ácidas (IUSS, 2007).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Potencialmente, en cualquier superficie de terreno.

SITIOS DE MONITOREO

Sitios representativos en zonas elevadas o tierras bajas.

ESCALA ESPACIAL

De parcela a paisajes.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para la caracterización morfológica de pequeñas áreas se escogió el método de la Sheffield School, basado en las técnicas de Savigear (1952). Según el método se describe el relieve a partir de los siguientes criterios: relieve plano, rasgos aislados de relieve predominantes, relieves abruptos (tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del relieve del terreno

1	Relieve plano	Terreno extenso, plano, no confinado, de posición baja, con poca energía de relieve (1-10 m de diferencia de altura relativa) y pendientes suaves, generalmente menores a 3%. Difluencias de corrientes de agua son frecuentes.
2	Relieve ligeramente ondulado	Terreno relativamente elevado, extenso, comúnmente limitado por lo menos en un lado por una caída brusca (escarpe) a terrenos más bajos. Se origina frecuentemente por levantamiento tectónico de una planicie anterior, subdividida por la incisión de profundas gargantas y valles. La superficie topográfica es tabular o ligeramente ondulada porque la erosión es mayormente de entalle lineal.
3	Relieves abruptos	Terreno quebrado, caracterizado por una repetición de colinas redondas o lomas alargadas con cumbres a alturas variables. Presenta una importante disección interna, que genera una neta energía de relieve entre las áreas montañosas y los valles intercalados.

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

Cada 1 a 10 años.

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

Las propiedades del terreno pueden variar considerablemente tanto verticalmente, a través del perfil del suelo, como horizontalmente, por lo que es difícil seleccionar sitios representativos para el monitoreo.

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

El relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúa como equilibradora de los desniveles; es decir, hace que las zonas elevadas tiendan a caer y colmatar las zonas deprimidas. Estos procesos hacen que el relieve transite por diferentes etapas (Goudie, 2004).

POSIBLES UMBRALES

Los umbrales del relieve del terreno varían en función del uso de los suelos.

REFERENCIAS CLAVES

Agilo, A. M. (1984). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. 6ed. Bogotá.

- Fairbridge, R. W. (1997). *Encyclopedia of geomorphology*. New York: Springer.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Cuarta ed. Roma.
- Goudie, A. S. (2004). *Encyclopedia of geomorphology*. Vol. 2. London: Routledge.
- Huggett, R. J. (2011). *Fundamentals of geomorphology*. London: Routledge.
- IUSS. (2007). *World reference base for soil resources. World Soil Resources Report 103*. Rome: IUSS Working Group WRB / FAO.
- Molina, J. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña Manresa, pp. 288.
- Nelson, A. & Reuter, H. (2012). *Soil projects. Landform classification from EU Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability*. <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/landform/>
- Ruhe, R. V. (1975). *Geomorphology. Geomorphic processes and surficial geology*. Boston: Houghton Mifflin.
- Savigear, R. A. (1952). *Some observations on slope development in South Wales*. Trans. and Papers Inst. Br. Geographers, pp. 18.
- Thornbury, W. D. (1966). Principios de geomorfología. Buenos Aires: Editorial Kapelusz.
- Viers, G. (1967). *Eléments de géomorphologie*. Paris: Nathan.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

PBI (Programa Biológico Internacional), FAO.

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

- Factores bióticos: el efecto de los factores bióticos sobre el relieve suele oponerse a los procesos del modelado, especialmente, se considera la vegetación, sin embargo, existen no pocos animales que colaboran con el proceso erosivo.
- Factores geológicos: tales como la tectónica, el diastrofismo, la orogénesis y el vulcanismo son procesos constructivos y de origen endógeno que se oponen al modelado e interrumpen el ciclo geográfico.
- Factores antrópicos: la acción del hombre sobre el relieve es muy variable, en dependencia de la actividad que se realice. En este sentido es muy difícil de generalizar, lo que puede incidir a favor o en contra de los procesos erosivos (Huggett, 2011).

EVALUACIÓN GENERAL

La forma del relieve permite describir las formas actuales que presenta la superficie terrestre, deducir sus antecedentes y predecir futuras configuraciones.

Anexo 10.2. Indicador calidad del paisaje

NOMBRE: CALIDAD DEL PAISAJE

BREVE DESCRIPCIÓN

Se entiende por paisaje a la unidad territorial integral; objetiva; en constante estado de intercambio de energía, materia e información; constituida por la asociación de sus elementos y formada bajo la influencia de los procesos naturales y la actividad humana a través del tiempo (Bertani, 2008).

Por calidad del paisaje se entiende el grado de excelencia de las características visuales, olfativas, auditivas del área de influencia directa e indirecta del proyecto y su apreciación se realiza de forma subjetiva o plurisensorial (Yépez, 2012).

SIGNIFICADO

El paisaje se considera, dentro del diagnóstico del sistema natural, como un componente con elementos tanto del subsistema físico como del subsistema biótico, ya que incluye las geoformas con su correspondiente cobertura. El paisaje entendido como la percepción del medio a partir de la expresión externa de éste es un indicador del estado de conservación de la geoforma, de la vegetación, de las comunidades animales y del estilo de uso y aprovechamiento del suelo.

Aunque la percepción del paisaje depende de gran variedad de factores como la complejidad topográfica, el relieve, color, presencia de aguas, formas, intervención humana, etc., en este diagnóstico únicamente se consideran los componentes del paisaje de índole geomorfológico. Mediante la geomorfología se puede determinar la calidad de cada unidad paisajística relacionada con un valor extrínseco (Molina, 2007).

Las principales razones por las que se debe preservar el paisaje son:

- Es un recurso natural reflejo del estado de los ecosistemas
- Es el ambiente natural de seres humanos, animales y plantas
- Es una reserva de evidencias históricas y arqueológicas
- Es un recurso que contribuye a mejorar la calidad de vida.

CAUSA HUMANA O NATURAL

El paisaje está en permanente evolución como consecuencia de:

- Procesos dinámicos naturales del medio biótico (evolución de la vegetación, colonización y sustitución) y del medio abiótico (procesos erosivos o sedimentarios, transformaciones de los cursos fluviales y procesos glaciares).
- Procesos antrópicos: roturaciones, talas, transformación de usos de suelo, instalación de infraestructuras, etc (Muñoz, 2004).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

La determinación de la calidad del paisaje se determina en unidades de paisaje que son

áreas del territorio que presentan un carácter paisajístico diferenciado; cada unidad de paisaje tiene una extensión, delimitación y nomenclatura diferenciada, formando áreas compactas y únicas (Muñoz, 2004).

SITIOS DE MONITOREO

En el estudio de la calidad del paisaje se deberán determinar cuáles son los principales puntos de observación desde los que se percibe el paisaje. Los puntos de observación principales son los lugares del territorio desde donde se percibe con mayor probabilidad el paisaje.

Una vez conozcamos cuáles son estos lugares, se estimarán las cuencas visuales desde ellos, para conocer cuáles son los espacios que se perciben con mayor reiteración dentro de la zona de estudio. Se pueden encontrar en el paisaje puntos de observación estáticos, tales como miradores y puntos dinámicos, como pueden ser vías de comunicación o recorridos escénicos identificados en el territorio (Bolós, 1992).

ESCALA ESPACIAL

De sitio a paisaje

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para el estudio de la calidad visual del paisaje se utilizó el método indirecto del Bureau of Land Management BLM (1980). Este método se basa en la evaluación de las características visuales básicas de los componentes del paisaje. Se asigna un puntaje a cada componente según los criterios de valoración y la suma total de los puntajes parciales determina la clase de calidad visual por comparación con una escala de referencia. La tabla 1 presenta los criterios y puntuaciones que fueron aplicados a cada componente del paisaje y la tabla 2 indica la escala de referencia utilizada.

	deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual	2	modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual	0	extensas que reducen o anulan la calidad escénica	-
--	---	---	---	---	---	---

Tabla 2. Clases utilizadas para evaluar la calidad visual

Bien preservado, áreas de calidad alta, áreas con rasgos singulares y sobresalientes (puntaje del 19-33)	1
Deteriorada por acciones humanas que eliminan parte de las características, áreas de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, pero que resultan comunes en la región estudiada y no son excepcionales (puntaje del 12-18)	2
Lugar destruido, áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura. (puntaje de 0-11).	3

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

Cada 3 años

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

Para realizar la evaluación y análisis del paisaje visual o percibido es necesario tener presente que la percepción de la belleza del paisaje es un acto de interpretación por parte del observador a través de sus mecanismos fisiológicos y psicológicos y es el observador el que va a determinar las características fundamentales de su interpretación; sin olvidar que el paisaje es la resultante de las combinaciones geomorfológicas, climáticas, bióticas y antrópicas y que el paisaje actual no es el final del proceso pues este siempre va a estar determinado por modificaciones en el tiempo y se constituye como un conjunto dinámico (Bolós, 1992).

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

El paisaje es cambiante en el tiempo debido a factores naturales y/o antrópicos. La imagen de un territorio en el pasado y la sucesión de modificaciones que se han venido dando, muestran qué aspectos del paisaje permanecen inalterados y cuáles han sufrido modificaciones con el paso del tiempo.

Mediante el análisis de la historia de un lugar se conoce su carácter. De igual modo, anticiparse a los cambios que puede sufrir un paisaje en el futuro, permite entender el escenario sobre el que se ha de desarrollar el proceso de planificación del paisaje (Bolós, 1992).

POSIBLES UMBRALES

En general, las actividades que alteran las características definitorias del paisaje (colores, formas, texturas, información histórico-cultural) deterioran este recurso. Especialmente importantes son los casos de construcciones de grandes volúmenes o de texturas, líneas y colores diferentes a los que proporciona el fondo escénico del paisaje o aquellas que no guardan el estilo constructivo tradicional (Aguilo, 1995).

REFERENCIAS CLAVES

Aguiló M. et al (1995). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Serie Monografía. Ministerio de Medio Ambiente.

Bertani, L. A. (2008) Evaluación geocológica de los paisajes del departamento Minas (Provincia de Neuquén), para el estudio de la degradación de la tierra. Jornada del Doctorado en Geografía. La Plata. Territorios en movimiento: nuevas transformaciones en la Argentina de hoy. Disponible en:

http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.744/ev.744.pdf. Acceso 12 de abril de 2014.

Bertrand, G. & Dollfus, O. (1973). *“Le paysage et son concept”*. *L’Espace Géographique*, 3: 161-164.

B.L.M. (U.S.D.I. Bureau of Land Management). (1980). *Visual resource management program*. Div. of recreation and cultural resource. Government Printing Office. Washington DC, EEUU.

Bolós, M. (1992). Manual de Ciencia del Paisaje. Teorías, métodos y aplicaciones. Masson, Barcelona, 273 pp.

Másmela, D. P. (2010) El paisaje como elemento de la ordenación territorial. Un análisis de paisaje desde su enfoque visual en el borde centro oriental de Medellín, Colombia. Tesis de grado. Escuela de Planeación Urbano-Regional, Facultad de Arquitectura. Universidad de Medellin, pp. 61

Molina, J. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña Manresa, pp. 288.

Muñoz P, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. En Revista Chilena de Historia Natural 77. 139-156.

Yépez, W. (2012). Borrador de la auditoría ambiental del área minera "Jhannyne". pp. 187.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Unión Mundial para la Naturaleza.

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

La calidad del paisaje depende de gran variedad de factores como la complejidad topográfica, vegetación, relieve, color, presencia de agua, formas e intervención humana.

EVALUACIÓN GENERAL

Los estudios de paisaje, desde su enfoque visual, permiten hacer del hecho perceptivo un dato preciso o un término cualitativo que conduzca a la descripción, clasificación y valoración de un paisaje. En este contexto, el estudio del paisaje desde su calidad visual tiene como objetivo clasificar el territorio en función de sus valores estéticos para luego establecer cánones comparativos que conlleven a la valoración del territorio (Másmela, 2010).

Anexo 10.3. Indicador calidad del agua

NOMBRE: CALIDAD DEL AGUA

BREVE DESCRIPCIÓN

Se entiende por calidad del agua a las características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, definida por una o más características físicas, químicas o biológicas, en dependencia del uso y las exigencias del usuario. (NC 1 041, 2014)

SIGNIFICADO

La importancia del agua como recurso vital y como constituyente esencial del entorno es indudable, interviene de una manera o de otra en la mayoría de las actividades humanas, tanto de explotación como de utilización de los recursos, por lo que se convierte en un factor determinante para la organización del territorio. La necesidad de garantizar la satisfacción oportuna de las demandas de agua para consumo humano, industrial y agrícola, y la necesidad de protegerla de la acción del hombre, representan aspectos que determinan la importancia de este recurso (Molina, 2007).

CAUSA HUMANA O NATURAL

Para determinar el modo en que se debe abordar el estudio del recurso hídrico es indispensable identificar los posibles usos potenciales de este recurso en el territorio. En este sentido y, para efectos de la localización de las actividades humanas, el agua ha de considerarse desde tres puntos de vista: como recurso, como medio receptor de residuos y como ecosistema (Molina, 2007).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Los cuerpos de agua de tipo lóxico (ríos, quebradas, manantiales, etc.) o léxico (lagos, lagunas, embalses).

SITIOS DE MONITOREO

La selección del sitio de muestreo debe estar en función del tipo de investigación a efectuar, propósito del estudio y las variaciones físico-químicas que se puedan prever en las fuentes de agua a analizar.

Ríos y corrientes: se debe partir de la necesidad de definir la calidad del agua a lo largo de la sección transversal del río en el punto y en el momento que se hace el muestreo. Si las características físico-químicas son homogéneas a lo largo de la sección transversal, se considera que una muestra tomada en un punto de la sección es representativa y por lo tanto define la calidad del agua. Si, por el contrario, las características del agua no son uniformes a lo largo de la sección transversal, teóricamente, se puede obtener una muestra que represente la composición total de la corriente mezclando varias muestras

captadas simultáneamente en lugares de flujos similares.

En este último caso, el número de muestras requerido puede ser muy elevado, por lo que es deseable que el proceso de captación se simplifique. Una forma de lograr esto, consiste en ubicar sitios de muestreo donde la composición del agua sea uniforme con la profundidad y la sección transversal, de tal manera que una muestra captada en cada centro de flujo sea representativa de la sección en cuestión.

El monitoreo de la calidad de agua permite determinar procedimientos y criterios técnicos para establecer parámetros de evaluación y asegurar la calidad en los cuerpos de agua superficiales (Guevara, 1996).

Las normas ISO proporcionan recomendaciones sobre el diseño de los programas de toma de muestras, un ejemplo de ello es la ISO 5 667:1990. *Guidance on sampling of rivers and streams* (Muestreo. Parte 6: Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes) (WHO, 1995).

ESCALA ESPACIAL

De sitio a paisaje

MÉTODOS DE MEDICIÓN

La determinación de la calidad del agua se realiza a partir de la comparación de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros con los valores exigidos por las normas vigentes NC 22 (1999) y la NC 27 (2012). En esta investigación se seleccionaron aquellos que tienen mayor influencia en la caracterización del estado de la calidad del agua para ser aprovechada en los usos establecidos (Coliformes, Temperatura, Sólidos sedimentables, Aceites y grasas, Turbiedad y pH).

Coliformes: el grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, gram-negativas, no formadoras de esporas; las cuales fermentan la lactosa con formación de gas a 35 °C en un periodo de 48 horas. Su presencia en el agua es considerada como índice adecuado de la ocurrencia de polución fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos.

Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos o animales, erosión del suelo separadamente, o una combinación de las tres fuentes.

Uno de los métodos fundamentales para determinar la presencia de coliformes es el método de Presencia o Ausencia (P-A) Análisis de coliformes, este método es una modificación simplificada del método de tubos múltiples de fermentación, los resultados se obtienen en menos de 48 horas y permite efectuar grandes cantidades de análisis por

unidad de tiempo.

Consiste en inocular una porción de 100 ml de muestra en una botella con medio de cultivo a base de caldo P-A (Caldo Lactosado, Caldo Luril Triptosa, Púrpura de Bromocresol y agua destilada) y después de mezclar por medio de agitación, se incuba a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 25 y 48 horas. En estos períodos de tiempo se observa con el fin de detectar un viraje en el color, indicativo de la reacción ácida (coloración amarilla) debido a la fermentación de la lactosa.

Luego se procede a observar la producción de gas que se manifiesta en la formación de espuma en la superficie del medio de cultivo cuando se agita levemente el frasco que contiene la muestra. La presencia de gas requerirá la realización de la prueba de confirmación en el Caldo Bilis verde Brillante (BGLB), para lo cual se inocular en este medio de cultivo y se procede a su incubación bajo las condiciones de tiempo y temperatura antes mencionadas. La producción de gas a las 48 horas confirmará la presencia de organismos coliformes en la muestra bajo estudio (Guevara, 1996).

Temperatura: normalmente las mediciones de temperatura pueden efectuarse con cualquier buen termómetro centígrado de mercurio. Siempre debe ser registrada en el campo y hasta obtener una lectura constante. Este parámetro afecta fundamentalmente los sistemas de tratamiento biológico de las aguas debido a su efecto sobre el metabolismo bacterial; también afecta la solubilidad de los gases, lo cual es muy importante ya que un aumento de la misma, disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua, lo que desfavorece la aireación del sistema. Por otro lado, la temperatura afecta la velocidad de sedimentación de los sólidos (Guevara, 1996).

Sólidos sedimentables: la determinación de los sólidos es importante para evaluar la calidad del agua y para controlar los procesos de tratamiento en aguas potables y residuales. Los sólidos se clasifican en filtrables y no filtrables, a su vez, cada uno de éstos se dividen en volátiles y no volátiles. La porción volátil representa el material orgánico y la no volátil el material inorgánico presente.

El análisis para obtener los sólidos totales consiste en tomar una muestra del agua a analizar (25-50 ml) que se coloca en un crisol de porcelana de 100ml de capacidad y luego se somete a evaporación a 103°C .

Los sólidos filtrables o disueltos miden la concentración de sólidos disueltos en el agua. Para su determinación se utiliza un filtro de fibra de vidrio, filtro de membrana, papel de filtro lavado con ácido, o un crisol de fondo poroso. Se toma un volumen conocido del filtrado (25-50 ml) y se repite el procedimiento utilizado para medir el residuo total.

Los sólidos no filtrables o suspendidos miden los sólidos suspendidos o que son susceptibles de sedimentar al fondo de los cuerpos de agua. La determinación se hace a

través de un filtro de fibra de vidrio en un volumen conocido de agua, luego se seca el filtro a 103-105 °C y se pesa la materia retenida en el mismo.

El residuo volátil se determina al calcinar la muestra a 550 °C en un horno de mufla. Su medición es importante puesto que da una medida indirecta de la materia orgánica presente.

Los sólidos fijos sedimentables miden el volumen de la materia que se deposita en el fondo de los cuerpos de agua y son útiles para determinar la eficacia de ciertos sistemas de tratamiento de aguas residuales. La determinación se realiza en un Cono Imhoff, el cual consiste en un recipiente de forma cónica graduado en volumen (ml), donde se coloca un litro del líquido a evaluar, se deja en reposo durante 30 min o 1 h y luego se lee el volumen sedimentado, se expresa en mg/l (Guevara, 1996).

Aceites y grasas: en la determinación de grasa se cuantifica un grupo de sustancias con características físicas similares que se basan en su mutua solubilidad en el disolvente usado. Aquí se incluyen las grasas, ceras, aceites y otros materiales no volátiles que se extraen con el hexano de una muestra acidificada de aguas residuales o industriales. En la medición de aceites y grasas se recomiendan los métodos de extracción con un aparato soxhlet, así como la extracción por embudo de separación y por espectrofotometría infrarrojo.

El método de extracción de soxhlet se basa en que los hidrocarburos relativamente no volátiles, tales como: aceites vegetales, grasas animales, ceras, jabones, grasas y materia orgánica, se hidrolizan por acidificación (pH=1) con ácido clorhídrico. Las grasas sólidas o viscosas que se absorben en el auxiliar de filtración, se separan por filtración. Luego se extrae la grasa en un aparato soxhler usando hexano como disolvente y se pesa el residuo remanente después de la evaporación del hexano, para determinar el contenido de grasa de la muestra (Guevara, 1996).

Turbidez del agua: la turbiedad de una suspensión mide la capacidad de un líquido para diseminar un haz luminoso producido por la presencia de material insoluble, tales como partículas de arcillas provenientes de la erosión del suelo y otras sustancias inorgánicas finamente divididas o materias similares y organismos microscópicos. La turbiedad es función tanto de la concentración como del tamaño de la partícula del material y se expresa en “Unidades de Turbiedad”.

En la determinación de la turbiedad se recomienda el método Nephelométrico que mide la fracción de la luz que es dispersada 90 grados con respecto a la luz incidente. Este método consiste en un instrumento llamado Nephelómetro y un patrón de referencia a base de Polímero Formazida que, generalmente, tiene una turbiedad de 400 unidades.

Las suspensiones estándar para valorar la turbiedad de la muestra, se preparan del

patrón de referencia por dilución proporcional directa; por ejemplo, para obtener una suspensión estándar de 40 unidades a partir de la suspensión patrón de 400 unidades, se toman 10 ml de ésta última y se diluyen a 100 ml con agua destilada.

Otro método muy utilizado para medir la turbiedad es el denominado turbidímetro de bujía (o de vela) Jackson que puede ser empleado satisfactoriamente en aguas superficiales; sin embargo, es inadecuado para la evaluación de la calidad del agua potable ya que solamente mide turbiedades mayores de 25 unidades. La medición con este método se hace introduciendo en forma progresiva una fracción del líquido a analizar en el tubo calibrado o turbidímetro Jackson. La lectura mínima que no permita ver al otro lado la bujía o vela, determina la turbiedad buscada (Guevara, 1996).

pH: es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua y determina el contenido de ácidos o álcalis. El pH de las aguas naturales fluctúa entre 5,5 y 9; cuando es inferior a 6 se puede producir intensa corrosión y al superar el valor de 8 se produce una disminución de la eficacia del proceso de desinfección con cloro.

La medición del pH se realiza por el método electrométrico usando un electrodo de vidrio en combinación con el potencial de referencia dado por un electrodo saturado de calomel. El sistema de electrodo de vidrio está basado en que, a 25 °C, un cambio de una unidad de pH produce un cambio eléctrico de 59,1 milivoltios. La determinación de pH debe ser realizada preferiblemente en el campo; si no es posible, la medición de laboratorio debe hacerse unas pocas horas después de la captación de la muestra (Guevara, 1996).

Tabla 1. Límites máximos permisibles promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos

Parámetro	Unidades	LMPP		
		<35	=35	>35
Temperatura	°C	1	2	3
		<35	=35	>35
pH	Unidades	1	2	3
		6-8	4-5	>8 y <6
Sólidos Sedimentables	mg/l	1	2	3
		<30	=30	>30
Aceites y grasas	mg/l	1	2	3
		<30	=30	>30
Turbidez del agua	Unidades de turbidez	1	2	3
		<25	=25	>25
Coliformes	mg/l	1	2	3
		<500	=500	>500

Teniendo en cuenta la presencia o no de estos parámetros, para determinar la calidad de las aguas se toman los siguientes criterios:

Tabla 2. Escala para determinar la calidad del agua según el LMPP

Agua no contaminada	6- 10
Agua levemente contaminada	11-15
Agua muy contaminada	16-18

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

El monitoreo de la calidad del agua se realizará con una frecuencia trimestral

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

Existen una serie de factores de carácter operacional que pueden afectar la frecuencia y selección de los sitios de muestreo y, por ende, la representatividad y exactitud de los estudios realizados. Estos factores son: acceso al lugar de muestreo, disponibilidad de equipos de recolección confiables, recursos humanos capacitados, disponibilidad de energía de recolección y registros, disponibilidad de registros de flujos o caudales de las fuentes a muestrear (WHO, 1995).

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

El agua superficial no conserva un registro de los cambios del pasado debido al rápido escurrimiento y las tasas de mezcla. Sin embargo, es importante reconocer que existen estrechos vínculos entre la química del agua superficial y la de los sedimentos de fondo que se encuentran en contacto con el agua.

Por ejemplo, muchos metales de transición, y quizás algunos contaminantes micro-orgánicos, están presentes en captaciones urbanas e industriales debido a una herencia histórica de la minería y actividad urbana desde tiempos de la Revolución Industrial y anteriores a la misma.

En consecuencia, el análisis de la columna de sedimentos puede proporcionar datos invaluable sobre las tendencias pasadas de la calidad del agua. Las tendencias crecientes o decrecientes en parámetros claves pueden alertar sobre la aproximación a umbrales críticos que requieren acciones de remediación (Metcalf & Eddy, 1998).

POSIBLES UMBRALES

Para la mayoría de los parámetros medidos, organizaciones nacionales y internacionales (por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (WHO-OMS) han establecido los umbrales en función del uso que se le da al agua. Existe una posibilidad de que los umbrales sean traspasados cuando los sedimentos del fondo y de llanura de inundación son perturbados y las sustancias sepultadas en el pasado son removilizadas, lo que

degrada la calidad del agua.

REFERENCIAS CLAVES

Guevara, V. A. (1996). Control de calidad del agua. Análisis de las normas de control de la calidad de las aguas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, pp. 33.

Metcalf, E. (1981). Tratamiento y depuración de las aguas residuales. España, pp. 837
Organización Mundial de la Salud. 1985. Guías para la calidad del agua potable. Washington, E.U.A, Vol I. Publicación científica No. 481, pp. 50-91.

Metcalf, E. & Eddy (1998). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Ed. McGraw-Hill. Madrid.

Molina, J. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña Manresa, pp. 288.

NC 1041: 2014 Calidad del suelo—Manejo sostenible de tierras—Términos y definiciones.

OMS (1997). *Guidelines for drinking-water quality*, 2nd ed. Vol. 3. *Surveillance and control of community supplies*. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud. Disponible (en inglés) en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines4/es/index.html

PAHO (Organización Panamericana de la Salud - OPS). (1990). Conferencia Regional sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento. Evaluación del Decenio Internacional del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento. Puerto Rico, 4-6 Setiembre. Volumen 1.

Rivas, G. (1978). Tratamiento de aguas residuales. 2ª. Edición. Madrid, Ediciones Vega
Norma Cubana NC.22 (1999). Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico-sanitarios.

Norma Cubana NC.27 (2012). “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones”.

WHO. (1995). Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. Segunda edición. WHO, Geneva, 1995.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Instituciones relacionadas con el ambiente, agua/hidrología, salud pública y recursos hídricos, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), GEMS (Proyecto Mundial para el Monitoreo de la Calidad del Agua, *Global Water Quality Monitoring Project*), *International Association of Hydrogeologists* (IAH), *International Association of Hydrological Sciences* (IAHS), *World Health Organization* (WHO).

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

Algunos de los aspectos ambientales relacionados con la calidad de las aguas

superficiales son la calidad de las aguas subterráneas y su nivel, además de la biodiversidad acuática presente.

EVALUACIÓN GENERAL

El monitoreo de las aguas es de gran importancia para determinar su calidad.

Anexo 10.4. Indicador pendiente del terreno

NOMBRE: PENDIENTE DEL TERRENO

BREVE DESCRIPCIÓN

La pendiente se refiere al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados. Es la forma normal de expresar la medición de un ángulo utilizando el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos). Otra forma conocida y de uso corriente de expresar la pendiente es en porcentaje, con este método se abrevian bastante los cálculos y se indica un determinado número de metros que tiene de desnivel el terreno (Beláustegui, 1999).

SIGNIFICADO

La pendiente se aplica con diversos fines; por ejemplo, para determinar la capacidad agrológica de los suelos en obras ingenieriles (aeropuertos, carreteras, urbanizaciones, sistemas de alcantarillado) o en geomorfología (en relación con fenómenos de erosión e inestabilidad de laderas) (NOAA, 2002).

CAUSA HUMANA O NATURAL

La pendiente del terreno es un proceso que puede ser inducido o acelerado por acciones humanas. Son muchas las causas involucradas, como: remoción del soporte lateral por efecto del poder erosivo de las corrientes de agua, olas, corrientes marinas y mareas; el intemperismo y los ciclos de humedecimiento-desecamiento de los materiales superficiales, debido a subsidencia o fallamiento que originan nuevas laderas; y a través de acciones humanas, tales como el corte de taludes para caminos y otras estructuras, explotación de canteras, remoción de muros de contención y descenso del nivel de agua de los reservorios (Lugo, 1988).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Se puede medir la pendiente de cualquier superficie de terreno, en términos de topografía.

SITIOS DE MONITOREO

Una consideración importante al determinar dónde muestrear, es la variabilidad del área. Las propiedades del suelo naturalmente varían a lo largo de un terreno y a lo largo de un mismo tipo de suelo (NOAA, 2002).

Las características generales a considerar dentro de este indicador son:

- Áreas de surcos y de intersurcos,
- Diferencias en el tipo de suelo,
- Diferencias de manejo,
- Áreas con y sin paso de maquinarias,

- Diferencias en el crecimiento de cultivos,
- Áreas afectadas por salinidad versus áreas no afectadas,
- Diferencias en la pendiente,
- Áreas húmedas versus áreas no húmedas (drenaje).

ESCALA ESPACIAL

Parcela a regional.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Existen diferentes clasificaciones, cada una con enfoques diferentes, en dependencia del tipo de uso que se le va a dar al territorio en estudio, puesto que la utilidad principal de una clasificación de pendiente está en disponer de un terreno parcelado para decidir la asignación de actividades a desarrollar en la zona o su impacto sobre ésta.

Para la investigación se adaptaron los rangos de pendientes propuestos por Zuidam (1986).

Tabla 1 clases de pendiente

Clase	Valor	Condiciones del terreno
0-15° plano a ligeramente plano	1	Las zonas con pendientes inferiores al 5% que se corresponden con las zonas llanas, pueden ser calificadas como aptas para la gran mayoría de usos urbanos, las dificultades que se pueden presentar son mínimas y fácilmente superables.
15-35° inclinado	2	Si la pendiente en otras zonas es más elevada, correspondiéndose con las pendiente suaves y moderadas, que van desde el 5% al 25%, las dificultades aumentan de forma progresiva. Las actuaciones a realizar para su adecuación son mayores, lo que aumenta el costo económico y los riesgos que en él se pueden producir.
>35° escarpados	3	Se considera que los terrenos con pendientes superiores al 25%, de pendiente fuerte o muy fuerte, aún siendo técnicamente viable su ocupación por usos urbanos, no son terrenos recomendables para la urbanización, sobre todo, cuanto mayor sea la pendiente, dado el impacto ambiental y los riesgos derivados que se pudieran producir con las actuaciones requeridas en los procesos de implantación urbana. Es sabido que impactos como la pérdida de cobertura vegetal y posterior inicio de mecanismos de erosión y pérdida de suelo, en los que se incluye conjuntamente los riesgos de movimientos gravitacionales, son comunes en este tipo de actuaciones sobre pendientes pronunciadas.

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

La frecuencia del monitoreo estará fundamentalmente determinada por los cambios en el ritmo de deformación del terreno.

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

La pendiente del terreno puede variar considerablemente en los diferentes tipos de suelos, por lo que es difícil seleccionar sitios representativos para el monitoreo.

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

La medición de la pendiente y la toma de niveles es una de las técnicas más antiguas y precisas que ha desarrollado la humanidad a lo largo de su historia, lo que permitió construir grandes obras de la ingeniería como las pirámides de Egipto y de Guatemala, además grandes ciudades como la antigua Roma y la ciudad de Machupicchu del imperio inca en Perú, las cuales poseían sofisticados sistemas de acueducto por gravedad.

También esta técnica se utilizó y es utilizada actualmente en los cultivos de arroz de las culturas milenarias de los países del oriente como China. La medición de la pendiente y la toma de niveles son de gran importancia para la estabilización de las obras físicas como edificios. En el campo de la agricultura son importantes para la construcción de sistemas de riego por gravedad, creación de terrazas, zanjas y obras como trinchos en pro de la conservación de los suelos (Villota, 1997).

POSIBLES UMBRALES

Los umbrales de la pendiente del terreno varían en función del uso de los suelos.

REFERENCIAS CLAVES

Beláustegui, S. (1999). Pendientes del Terreno y Fundamentos del Caudal Máximo No Erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires – Argentina, pp. 4.

Demek, J. (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping, International Geographical Union, Commission on Geomorphological Survey and Mapping, Prague*, pp. 344.

Lugo, J. I. (1988), Elementos de geomorfología aplicada (Métodos cartográficos), Instituto de Geografía, UNAM, pp. 128.

Marsh, W. M. (1991). *Landscape Planning: Environmental applications*, John Wiley & Sons, New York, pp. 339.

Melendez, J. (2009). Guía para la elaboración del mapa de pendientes. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima: Perú.

Mitchell, C. W. (1973). Terrain Evaluation, Longman, pp. 221.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2002). *Technical Memorandum. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3.0.* <http://archive.orr.noaa.gov/esi/guidelines/guidelines.html>, consultado en septiembre de

2013.

Thornbury, D. W. (1960). Principios de Geomorfología. Editorial Kapelugz. Buenos Aires, pp. 627.

Villota, H. (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Revista CIAF, volumen 15, N° 1. pp 83 - 115.

Zuidam, R. A. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smith Publischers. The Hague.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

FAO, ISRIC.

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve. Prácticamente todas ellas tienen un umbral límite que las clasifica o jerarquiza de acuerdo con su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno (Villota, 1997).

EVALUACIÓN GENERAL

El monitoreo de la pendiente del suelo puede ayudar en la predicción del valor de los suelos para su uso.

Anexo 10.5. Indicador erosión del suelo

NOMBRE: EROSIÓN DEL SUELO

BREVE DESCRIPCIÓN

La erosión, es el desprendimiento de partículas del suelo, de sedimentos superficiales y de rocas, ocurre por procesos hidrológicos (fluviales) de erosión laminar, lineal y en cárcavas, por desgaste de masas y por la acción del viento.

La erosión, tanto fluvial como eólica, generalmente es mayor en regiones áridas y semiáridas, donde el suelo está pobremente desarrollado y la vegetación proporciona una protección relativamente pequeña.

Donde el uso de la tierra causa perturbaciones en el suelo la erosión puede incrementarse muy por encima de sus tasas naturales. La erosión del suelo también reduce los niveles de nutrientes básicos que necesitan los cultivos, los árboles y otras plantas e induce la disminución de la diversidad y abundancia de los organismos del suelo (Gayoso & Alarcón, 1999).

IMPORTANCIA

La erosión del suelo es un importante problema social y económico y un factor esencial en la evaluación de la salud y funcionamiento de los ecosistemas. Los estimados de la erosión son esenciales para asuntos de manejo de aguas y suelos, incluyendo el transporte y depósito de sedimentos en tierras bajas, reservorios, estuarios y sistemas de irrigación (Gayoso & Alarcón, 1999).

CAUSA HUMANA O NATURAL

La erosión es un proceso natural fundamental y complejo que es fuertemente modificado (generalmente incrementado) por las actividades humanas, tales como la deforestación, la agricultura (roturación, riego, pastoreo), la deforestación, la actividad forestal, las construcciones, la minería superficial y la urbanización.

Se estima que las actividades humanas han degradado alrededor de un 15% de los suelos de la superficie terrestre. Un poco más de la mitad de esto es resultado de la erosión hídrica inducida por el hombre y cerca de un tercio se debe a la erosión eólica (ambos tipos conducen a la pérdida del suelo superior), con lo cual la mayor parte del balance es el resultado del deterioro químico y físico (Schumm, 1984).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Potencialmente, es aplicable en cualquier superficie de terreno pero, especialmente, donde esté perturbado por cualquier razón y en áreas inclinadas cubiertas con suelos o sedimentos sueltos.

SITIOS DE MONITOREO

Sitios representativos en zonas elevadas o bajas.

ESCALA ESPACIAL

De sitio a paisaje

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Tabla 1. Calificación de la erosión del suelo según su intensidad

1	Sin erosión: no se aprecia pérdida de suelo por arrastre superficial
2	Moderadamente erosionado: la capa de suelo se adelgaza uniformemente y en algunos lugares ha perdido espesor. Hay presencia de erosión laminar
3	Erosión severa: pérdida casi total del horizonte orgánico; se presentan surcos frecuentes y cárcavas aisladas, derrumbes, deslizamientos y coladas de barro

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

Anualmente a una vez por década, dependiendo de las condiciones locales y de los parámetros medidos.

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

La erosión está muy irregularmente distribuida en el tiempo y en el espacio, por lo que es difícil determinar cuán representativo es un sitio.

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

El conocimiento de las tasas pretéritas de erosión bajo condiciones alteradas provee una buena base para entender la morfología y los procesos de las cuencas superiores e inferiores.

Cuando ya existe perturbación superficial, la información acerca de las tasas presentes y posibles aplicaciones al futuro, de la erosión, proporciona una base para reducir los efectos adversos de la acelerada erosión de los suelos (Schumm, 1984).

POSIBLES UMBRALES

La erosión en cárcavas puede aumentar según ciclos periódicos de acumulación local a regional, durante los cuales se desarrolla una pendiente crítica límite para los conductos de drenaje. Cuando estas pendientes o umbrales críticos de pendiente son excedidos, los suelos de fondo, adyacentes a los canales o conductos de drenaje pueden convertirse en inestables y sujetos a erosión.

El ángulo de la pendiente por encima del cual se produce la inestabilidad depende de las condiciones locales de distribución de los sedimentos y del tamaño de las partículas sedimentarias sometidas a transporte. Uno de los resultados es una alternancia natural del relleno de cárcavas con la evacuación de los sedimentos, especialmente en zonas

áridas y a lo largo de períodos decenales.

Otro resultado puede ser la erosión intensa en arroyuelos y cárcavas cuando el uso del suelo ha reducido o destruido la cubierta vegetal (vegetación, derrubios y fragmentos de roca) o ha incrementado la escorrentía y sus efectos erosivos (Schumm, 1984).

REFERENCIAS CLAVES

Commission on Applied Geomorphology (1967). Field methods for the study of slope and fluvial processes. Revue de Geomorphologie dynamique, pp. 152-58.

Foster, G. R., & Lane, J. L (1987). *User requirements - USDA Water Erosion Prediction Project (WEPP) . NSERL Report 1, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, West Lafayette, IN: National Soil Erosion Research Laboratory.*

Gayoso, J. & Alarcón, D. (1999). *Guía de conservación de suelos forestales. Programa de producción forestales y medio ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, pp. 96*

Osterkamp, W. R., Emmett, W. W. & Leopold, L. B. (1991). *The Vigil Network - a means of observing landscape change in drainage basins. Hydrological Sciences Journal 36, pp. 331-344.*

Osterkamp, W. R. & Schumm, S. A. (1996). *Ge indicators for river and river-valley monitoring. In Berger, A. R. & W. J. Iams (eds). Ge indicators: Assessing rapid environmental changes in earth systems :83-100. Rotterdam: A.A. Balkem.*

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. & Yoder, D. C. (1995). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agricultural Handbook 703, Washington DC: U.S. Department of Agriculture.*

Schumm, S. A. (1984). *Incised channels: morphology, dynamics and control . Littleton, Colorado: Water Resources Publications.*

Wolman, W. G. & Riggs, H. C. (1990). *Surface water hydrology. The Geology of North America vol. 0-1, Boulder, Colorado: Geological Society of America (especialmente el artículo de Meade, R.H., T.R. Yuzyk & T.J. Day, Movement and storage of sediment in rivers of the United States and Canada, pp. 255-280.*

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Agencias ambientales, hidrológicas y de recursos hídricos, instituciones relacionadas con la agricultura y los suelos: FAO, *International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), The United Nations Environment Programme (UNEP).*

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

El depósito de las partículas erosionadas de suelo con contaminantes absorbidos puede

poner en peligro ecosistemas íntegros a lo largo de márgenes continentales, en estuarios, humedales y llanuras aluviales, así como en otras áreas de poca pendiente. La erosión del suelo afecta y es afectada por la vegetación y por la cubierta vegetal (Wolman, 1990).

EVALUACIÓN GENERAL

El monitoreo de la erosión de suelos es de gran importancia para determinar las tasas de degradación de tierras.

Anexo 10.6. Indicador fertilidad del suelo

NOMBRE: FERTILIDAD DEL SUELO

BREVE DESCRIPCIÓN

Equilibrio armónico entre el estado físico del suelo y el medio circundante o medio físico que permite el desarrollo adecuado de un eco sistema vegetal. Se conoce como la capacidad de los suelos para producir abundantes cosechas y frutos (NC 1 041, 2014).

SIGNIFICADO

El uso de indicadores de la fertilidad del suelo puede ser una herramienta rápida para la toma de decisiones, ya que estos son sensibles al manejo en el corto, mediano y largo plazo, en dependencia de la propiedad y del suelo que se evalúe (Arnold et al., 1990).

CAUSA HUMANA O NATURAL

La fertilidad de los suelos se puede ver afectada tanto por procesos naturales como por actividades humanas. Estas últimas influyen sobre las propiedades de los suelos, al inducir el incremento de su densidad volumétrica mediante la labranza agrícola y operaciones viales por la acidificación proveniente del uso de fertilizantes inorgánicos y por lluvias ácidas. La degradación de los suelos es una de las mayores amenazas para la sustentabilidad ambiental (Mortola & Lupi, 2011).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Es aplicable a cualquier superficie de terreno, especialmente áreas agrícolas y sin bosques.

SITIOS DE MONITOREO

Los lugares para la obtención de las muestras de suelo en los lotes homogéneos no superiores a 10 ha son determinados aleatoriamente en un camino zigzagueante. Se tiene cuatro tipos de muestreo: a). Aleatorio simple, b). Aleatorio estratificado, c).Rejilla rectangular y d). Rejilla circular (Peirce & Larson, 1996).

ESCALA ESPACIAL

De parcela a paisajes / regional.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Según la FAO, algunas de las características de la fertilidad de los suelos son:

Fertilidad alta

- Su consistencia y profundidad permiten un buen desarrollo y fijación de las raíces
- Contiene los nutrientes que la vegetación necesita
- Es capaz de absorber y retener el agua, conservándola disponible para que las plantas la utilicen

- Está suficientemente aireado
- No contiene sustancias tóxicas
- No presentan problemas de pedregosidad, erosión o salinidad.

Fertilidad media

- Suelos con poca vegetación
- Pueden ser suelos delgados y/o presentar moderadas limitaciones de: textura, microrelieve, drenaje, pedregosidad, susceptibilidad a la erosión y salinidad; pueden presentar inundaciones temporales u ocasionales
- Pueden tener un nivel de agua subterránea que afecta el desarrollo de las raíces.

Fertilidad baja

- Tienen muchas rocas, mucha arena y muy poco humus. En ellos solo pueden crecer plantas que necesitan poca agua, como captus y algarrobos
- Terrenos con limitaciones de pendiente; alta susceptibilidad a la erosión; de mucha pedregosidad, alcalinidad o salinidad; de drenaje pobre. En general, son suelos que no están adaptados a producción regular de cultivos.

Tabla 1. Escala de clasificación de la fertilidad del suelo

Fertilidad alta	1
Fertilidad media	2
Fertilidad baja	3

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

La frecuencia del muestreo del suelo es dependiente de la intensidad de uso del área, principalmente con relación a los criterios usados para corregir la acidez y fertilización de los suelos. Se recomienda de 1 a 10 años (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985).

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos pueden variar considerablemente tanto, verticalmente, a través del perfil del suelo, como, horizontalmente; por lo que es difícil seleccionar sitios representativos para el monitoreo (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985).

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

La morfología y la química de los suelos, tal como aparecen en los perfiles, pueden registrar cambios pasados ocurridos en el ambiente, como, por ejemplo, óxidos de hierro

acumulados por inundaciones de áreas bajas, restos de carbón vegetal producto de incendios forestales, o fragmentos de alfarería realizada por los primitivos humanos. Las propiedades de los suelos antiguos (paleosuelos), soterrados o no, son indicadores de climas pasados y pueden ser usados para predecir los impactos de futuros cambios climáticos (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985).

POSIBLES UMBRALES

El desarrollo de nuevos métodos, facilitado por el desarrollo de la tecnología analítica, equipo adecuado y conocimientos definidos sobre los objetivos y técnicas requeridas ha permitido identificar, en forma más precisa, compuestos, elementos, minerales, coloides, etc, asociados con la evolución de los suelos.

En este aspecto hay que destacar metodologías y técnicas que sustentan las hipótesis de evolución de los suelos, entre ellas: identificación de minerales en las fracciones arcillosa, limosa y arenosa; la caracterización bioquímica de compuestos húmicos; la micromorfología de suelos; las técnicas de datación, tanto absolutas como relativas. Estas últimas están asociadas con el desarrollo de la geomorfología, en cuanto a su relación de apoyo a los estudios de suelos, en especial, al conocimiento de su distribución geográfica (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 1985).

REFERENCIAS CLAVES

Acton, D. F. & L. J. Gregorich (1995). *The health of our soils - toward sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Ottawa: Agriculture and Agri Food Canada.*

Arnold, R. W. et al. (1990). *Global soil change: report of an International Institute for Applied System Analysis, International Society of Soil Science, United Nations. Environmental Programme: task force on the role of soil in global change. International Society of Soil Science, UNEP. Laxenburg, Austria, pp. 110.*

Batjes, N. H. & E. M. Bridges (1992). *A review of soil factors and processes that control fluxes of heat, moisture and greenhouse gases. Technical paper 23, Wageningen: International Soil Reference and Information Center.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (1980). *Estudio Semidetallado de suelos del Valle Geográfico del río Cauca. Cali, Colombia.*

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. (1985). *Estudio sobre el Uso Potencial del Suelo, Cuenca alta del Río Dagua. Cali, Colombia.*

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC - Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca. Imprenta Nacional, Bogotá D.C., Colombia.*

Mortola, N. & Lupi, A. M. (2011). Indicadores de calidad de suelo para el manejo sustentable de los agroecosistemas productivos en Argentina. VI Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. México.

NC 1041: 2014 Calidad del suelo—Manejo sostenible de tierras—Términos y definiciones.

Peirce, F. J. & W. E. Larson (1996). *Quantifying indicators for soil quality*. In Berger, A.R.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

FAO, ISRIC, Ministerios/departamentos de agricultura, servicios geológicos.

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

La fertilidad del suelo es un indicador sensible de las perturbaciones ambientales naturales e inducidas por el hombre. Los cambios pueden afectar la calidad del agua superficial y subterránea.

EVALUACIÓN GENERAL

El monitoreo de los cambios en las propiedades del suelo puede ayudar en la predicción del valor futuro de los suelos destinados a la agricultura, la silvicultura y otros propósitos.

Anexo 10.7. Indicador presencia de flora y fauna

NOMBRE: PRESENCIA DE FLORA Y FAUNA

BREVE DESCRIPCIÓN

Se entiende por flora el manto vegetal de un territorio dado, es por tanto, la flora uno de los elementos del medio más aparente y, en la mayor parte de los casos, uno de los más significativos (Molina, 2007).

Según el diccionario Chambers (1979), fauna es el término que se emplea para designar los animales que viven en una región o país determinado. Muchos autores identifican fauna con “vida silvestre”.

SIGNIFICADO

La flora y la fauna son importantes en el proceso de ordenamiento territorial, toda vez que ellos cumplen una serie de funciones que favorecen y/o afectan el bienestar de la sociedad. Por lo tanto, garantizar la sostenibilidad de sus funciones requiere de un conocimiento detallado y práctico (Molina, 2007).

CAUSA HUMANA O NATURAL

La flora y la fauna, como estructura viva, están sujetas a diversos procesos dinámicos estudiados dentro de la teoría ecológica de sucesión (Aguilo, 1984).

AMBIENTE DONDE ES APLICABLE

Cualquier superficie de terreno.

SITIOS DE MONITOREO

La toma de datos de campo, si el área de estudio es pequeña, puede extenderse a toda la superficie, pero si es grande, como ocurre con frecuencia, esto resulta prácticamente imposible y ha de recurrirse a un muestreo en el que queden suficientemente representados los diferentes sistemas bióticos de la zona. Este muestreo puede hacerse por parcelas elegidas de forma aleatoria o por itinerarios (Aguilo, 1984).

ESCALA ESPACIAL

De parcela a paisajes.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para la valoración de este indicador se consideró la variable estado de conservación y para cuantificarlo se aplicó el concepto de número de organismos de diferentes especies por unidad de área (tabla 1).

Tabla 1. Criterios de valoración para el indicador de presencia de flora y fauna

1	Alto: se presenta la totalidad de las especies existentes en la región
2	Medio: se presentan hasta el 50 % de las especies existentes en la región
3	Bajo: no aparecen ninguna de las especies presentes en la región

FRECUENCIA DE MEDICIÓN

Todos los años.

LIMITACIONES DE LOS DATOS Y DEL MONITOREO

La dificultad de acceso a las parcelas localizadas al azar constituyen un imponderable para la realización de este tipo de muestreo.

APLICACIONES AL PASADO Y AL FUTURO

La flora y la fauna representan un factor que normalmente es difícil de cartografiar, valorar y predecir su evolución, debido básicamente a las características propias de las comunidades florísticas y faunísticas (variación en el tiempo, gran pluralidad de especies existentes y el carácter migratorio de muchas especies importantes en el caso de la fauna).

El futuro de las comunidades florísticas y faunísticas está en analizar el pasado y el presente para pretender prever el futuro. El pasado lo presidió la influencia del hombre que ha intervenido con su gran poder de adaptación y su gran capacidad para modificar el entorno (Aguilo, 1984).

POSIBLES UMBRALES

Para Dajoz (1974), el equilibrio biológico significa simplemente que dentro de su área geográfica las poblaciones se multipliquen sin traspasar un límite superior que conduciría a la autodestrucción, ni el límite inferior que provocaría la extinción.

La naturaleza de las alteraciones, causantes de las fluctuaciones que pueden experimentar los ecosistemas es muy diversa; se distinguen fundamentalmente las originadas por la invasión o la extensión de especies. En el primer caso una comunidad natural está sujeta a continuos intentos de invasión natural por las especies que viven en las proximidades y, de igual modo a una invasión provocada por el hombre.

REFERENCIAS CLAVES

- Aguilo, A. M. (1984). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. 6ed. Bogotá.
- Cain, S. A. & Castro, G. M. (1959). *Manual of vegetation analysis*. Harper, New York.
- Chambers, V. R. (1979). Diccionario científico y tecnológico. Omega. Barcelona.
- Dajoz, R. (1974). *Dynamique des populations*. Masson, París.
- Molina, J. (2007). Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña Manresa, pp. 288.
- Noon, B. R. (2003). *Conceptual issues in monitoring ecological resources*. En: Busch, D.E. y Trexler J.C. (Editores). *Monitoring ecosystems. Interdisciplinary approaches for evaluating ecoregional initiatives*. Island Press. Washington, Covelo, London.

Pielou, E. C. (1975). *Ecological Diversity*, Wiley. New York.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

UNESCO, FAO.

ASPECTOS AMBIENTALES Y GEOLÓGICOS RELACIONADOS

La flora es estabilizadora de pendientes, retarda la erosión, influye en la cantidad y calidad del agua, mantiene microclimas locales, filtra la atmósfera, atenúa el ruido, es el hábitat de las especies animales.

EVALUACIÓN GENERAL

La clasificación de la flora y fauna silvestre permite evaluar el estado de conservación de la diversidad biológica.

ANEXO 11. CUESTIONARIO A EXPERTOS

Nombre y apellidos: _____.

Institución a la que pertenece: _____.

Cargo actual: _____.

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor: _____.Licenciado: _____.Especialista: _____.Master: _____.Doctor: _____.

Años de experiencia en el cargo: _____.

Años de experiencia docente y/o en la investigación: _____.

Como parte del tema de Tesis de Doctorado en Minería se necesita su colaboración para determinar la influencia que tienen los indicadores de degradación ambiental sobre el uso final que se propone a las canteras de áridos, para ello es necesario que responda a la pregunta realizada de la forma más coherente posible.

1. Valore la influencia de los indicadores de degradación ambiental sobre los diferentes usos que se le pueden asignar a las canteras teniendo en cuenta una escala de 1 (sin influencia) hasta 2 (influencia máxima).

Criterios	Urbanístico Industrial	Recreativo	Agrícola	Forestal	Conservación	Depósito de Agua	Vertedero
Presencia de flora y fauna							
Relieve del terreno							
Calidad del paisaje							
Fertilidad del suelo							
Pendiente del terreno							
Calidad del agua							
Erosión del suelo							

Muchas gracias.

ANEXO 12. RESULTADOS DE LA SEGUNDA RONDA

TABLA DE FRECUENCIA ABSOLUTA																					
Influencia de los indicadores en los diferentes usos																					
Indicadores	Urbanístico			Recreativo			Agrícola			Forestal			Conservación			Depósito de agua			Vertedero		
	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I
Relieve del terreno	8	1	1	9	1	0	9	1	0	7	3	0	8	2	0	9	1	0	7	2	1
Pendiente del terreno	7	2	1	8	2	0	10	0	0	10	0	0	1	1	8	8	0	2	9	1	0
Fertilidad del suelo	1	1	8	7	2	1	8	2	0	8	2	0	1	0	9	1	0	9	1	0	9
Calidad del agua	9	1	0	10	0	0	10	0	0	9	1	0	10	0	0	7	3	0	7	3	0
Presencia de flora y fauna	1	3	6	10	0	0	1	0	9	1	0	9	1	0	9	1	0	9	1	1	8
Calidad del paisaje	8	1	1	9	0	1	8	1	1	1	1	8	9	1	0	1	1	8	1	1	8
Erosión del suelo	7	1	2	8	1	1	10	0	0	10	0	0	9	0	1	9	0	1	9	0	1

TABLA DE FRECUENCIA ACUMULADA

Influencia de los indicadores en los diferentes usos

Indicadores	Urbanístico			Recreativo			Agrícola			Forestal			Conservación			Depósito de agua			Vertedero		
	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I	A	MA	I
Relieve del terreno	8	9	10	9	10	10	9	10	10	7	10	10	8	10	10	9	10	10	7	9	10
Pendiente del terreno	7	9	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	1	2	10	8	8	10	9	10	10
Fertilidad del suelo	1	2	10	7	9	10	8	10	10	8	10	10	1	1	10	1	1	10	1	1	10
Calidad del agua	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	7	10	10	7	10	10
Presencia de flora y fauna	1	4	10	10	10	10	1	1	10	1	1	10	1	1	10	1	1	10	1	2	10
Calidad del paisaje	8	9	10	9	9	10	8	9	10	1	2	10	9	10	10	1	2	10	1	2	10
Erosión del suelo	7	8	10	8	9	10	10	10	10	10	10	10	9	9	10	9	9	10	9	9	10

TABLA DEL INVERSO DE LA FRECUENCIA ABSOLUTA ACUMULADA

Influencia de los indicadores en los diferentes usos

Indicadores	Urbanístico		Recreativo		Agrícola		Forestal		Conservación		Depósito de agua		Vertedero	
	A	MA	A	MA	A	MA	A	MA	A	MA	A	MA	A	MA
Relieve del terreno	0,8	0,9	0,9	1	0,9	1	0,7	1	0,8	1	0,9	1	0,7	0,9
Pendiente del terreno	0,7	0,9	0,8	1	1	1	1	1	0,1	0,2	0,8	0,8	0,9	1
Fertilidad del suelo	0,1	0,2	0,7	0,9	0,8	1	0,8	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calidad del agua	0,9	1	1	1	1	1	0,9	1	1	1	0,7	1	0,7	1
Presencia de flora y fauna	0,1	0,4	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Calidad del paisaje	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,1	0,2	0,9	1	0,1	0,2	0,1	0,2
Erosión del suelo	0,7	0,8	0,8	0,9	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

TABLA DE DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE CORTES

	Urbanístico				Recreativo				Agrícola				Forestal			
	A	I	Pr. F	N - Pr.	A	I	Pr. F	N - Pr.	A	I	Pr. F	N - Pr.	A	I	Pr. F	N - Pr.
Relieve del terreno	0,84	1,28	1,06	-0,45	1,28	3,49	2,39	-0,28	1,28	3,49	2,39	-0,27	0,52	3,49	2,01	-0,41
Pendiente del terreno	0,52	1,28	0,9	-0,29	0,84	3,49	2,17	-0,06	3,49	3,49	3,49	-1,37	3,49	3,49	3,49	-1,89
Fertilidad del suelo	-1,28	-0,84	-1,06	1,67	0,52	1,28	0,9	1,21	0,84	3,49	2,17	-0,05	0,84	3,49	2,17	-0,57
Calidad del agua	1,28	3,49	2,39	-1,78	3,49	3,49	3,49	-1,38	3,49	3,49	3,49	-1,37	1,28	3,49	2,39	-0,79
Presencia de flora y fauna	-1,28	-0,25	-0,77	1,38	3,49	3,49	3,49	-1,38	-1,28	-1,28	-1,28	3,4	-1,28	-1,28	-1,28	2,88
Calidad del paisaje	0,84	1,28	1,06	-0,45	1,28	1,28	1,28	0,83	0,84	1,28	1,06	1,06	-1,28	-0,84	-1,06	2,66
Erosión del suelo	0,52	0,84	0,68	-0,07	0,84	1,28	1,06	1,05	3,49	3,49	3,49	-1,37	3,49	3,49	3,49	-1,89
Suma	1,44	7,08	4,26		11,74	17,8	14,78		12,15	17,45	14,81		7,06	15,33	11,21	
Punto de corte	0,21	1,01	N=0,61		1,68	2,54	N=2,11		1,74	2,49	N=2,12		1,01	2,19	N=1,6	

TABLA DE DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE CORTES (Continuación)

	Conservación				Depósito de agua				Vertedero			
	A	I	Pr. F	N - Pr.	A	I	Pr. F	N - Pr.	A	I	Pr. F	N - Pr.
Relieve del terreno	0,84	3,49	2,17	-1,2	1,28	3,49	2,39	-1,98	0,52	1,28	0,9	-0,45
Pendiente del terreno	-1,28	-0,84	-1,06	2,03	0,84	0,84	0,84	0,43	1,28	3,49	2,39	-1,94
Fertilidad del suelo	-1,28	-1,28	-1,28	2,25	-1,28	-1,28	-1,28	1,69	-1,28	-1,28	-1,28	1,73
Calidad del agua	3,49	3,49	3,49	-2,52	0,52	3,49	2,01	-1,6	0,52	3,49	2,01	-1,56
Presencia de flora y fauna	-1,28	-1,28	-1,28	2,25	-1,28	-1,28	-1,28	1,69	-1,28	-0,84	-1,06	1,51
Calidad del paisaje	1,28	3,49	2,39	-1,42	-1,28	-0,84	-1,06	1,47	-1,28	-0,84	-1,06	1,51
Erosión del suelo	1,28	1,28	1,28	-0,31	1,28	1,28	1,28	-0,87	1,28	1,28	1,28	-0,83
Suma	3,05	8,35	6,81	-5,84	0,08	5,7	2,9		-0,24	6,58	3,18	
Punto de corte	0,44	1,19	N=0,97		0,01	0,81	N=0,41		-0,03	0,94	N=0,45	

ANEXO 13. RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA

Uso Urbanístico Industrial

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	1	1	6	6	3	1	1
Experto 2	1	4	7	7	2	1	2
Experto 3	2	1	6	6	1	2	2
Experto 4	1	2	7	6	3	4	1
Experto 5	1	2	6	7	3	2	2
Experto 6	3	1	7	6,5	4	2	1
Experto 7	2	3	5	7	5	2	3
Experto 8	1	2	6	6	2	4	2
Experto 9	2	2	7	6	4	4	2
Experto 10	1	1	6	7	3	3	1
Sj	15	19	63	64,5	30	25	17
Smed	33,3571						
(Sj-Smed)	-18,3571	-14,3571	29,6428	31,1428	-3,3571	-8,3571	-16,3571
(Sj-Smed) ²	336,9846	206,1275	878,6989	969,87755	11,2704	69,8418	267,5561
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2740,3571						
Ken	0,9787						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso recreativo

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	1	2	7	3	2	1	1
Experto 2	2	2	6	1	2	1	1
Experto 3	2	2	7	2	1	2	1
Experto 4	1	1	7	3	1	1	1
Experto 5	1	2	7	2	1	1	1
Experto 6	3	1	6	2	1	1	2
Experto 7	3	2	7	3	1	1	1
Experto 8	2	1	6	1	2	2	1
Experto 9	1	2	5	2	1	1	1
Experto 10	1	1	5	1	1	1	1
Sj	17	16	63	20	13	12	11
Smed	21,7142						
(Sj-Smed)	- 4,7143	- 5,7143	41,2857	- 1,7143	- 8,7143	- 9,7143	- 10,7143
(Sj-Smed) ²	22,2245	32,6531	1704,5102	2,9388	75,9388	94,3673	114,7959
Σ (Sj-Smed) ²	2047,4286						
Ken	0,7312						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso Agrícola

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	4	1	5	7	2	3	2
Experto 2	2	1	4	7	1	4	1
Experto 3	2	2	4	6	2	5	2
Experto 4	5	2	5	7	1	3	1
Experto 5	4	1	4	7	1	3	1
Experto 6	3	1	4	7	2	4	1
Experto 7	3	1	5	7	2	3	1
Experto 8	2	1	5	6	1	5	2
Experto 9	4	1	5	7	1	5	1
Experto 10	5	1	4	6	1	4	1
Sj	34	12	45	67	14	39	13
Smed	32						
(Sj-Smed)	2	-20	13	35	-18	7	-19
(Sj-Smed) ²	4	400	169	1225	324	49	361
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2532						
Ken	0,9043						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso Forestal

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	4	3	6	7	1	7	1
Experto 2	5	4	5	5	1	6	1
Experto 3	4	4	5	5	1	6	1
Experto 4	4	3	5	7	2	5	1
Experto 5	4	3	5	6	2	7	1
Experto 6	4	5	6	6	1	6	1
Experto 7	5	5	4	7	1	7	2
Experto 8	5	4	5	5	1	5	1
Experto 9	5	5	5	5	1	6	1
Experto 10	4	5	6	7	1	7	2
Sj	44	41	52	60	12	62	12
Smed	40,4286						
(Sj-Smed)	3,5714	0,5714	11,5714	19,5714	-28,4286	21,5714	-28,4286
(Sj-Smed) ²	12,7551	0,3265	133,8979	383,0408	808,1837	465,3265	808,1837
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2611,7142						
Ken	0,9328						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso Conservación

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	5	7	7	7	1	4	4
Experto 2	3	7	7	6	1	5	4
Experto 3	4	8	7	6	1	4	5
Experto 4	4	6	7	7	1	4	5
Experto 5	5	6,5	7	6	1	5	4
Experto 6	5	6	7	7	1	6	4
Experto 7	6	7	7	7	1	4	4
Experto 8	4	7	7	7	1	3	5
Experto 9	4	7	7	7	1	5	5
Experto 10	3	8	7	7	1	4	4
Sj	43	69,5	70	67	10	44	44
Smed	49,6429						
(Sj-Smed)	-6,6429	19,8571	20,3571	17,3571	-39,6429	-5,6429	-5,6429
(Sj-Smed) ²	44,1276	394,3061	414,4133	301,2704	1571,5561	31,8418	31,8418
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2789,3571						
Ken	0,9962						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso Depósito de Agua

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	5	7	7	7	1	4	4
Experto 2	3	7	7	6	1	5	4
Experto 3	4	7	7	6	1	4	5
Experto 4	4	6	7	7	1	4	3
Experto 5	5	7	7	7	1	5	4
Experto 6	5	7	7	7	1	6	4
Experto 7	6	7	7	6	1	4	4
Experto 8	4	7	7	7	1	3	5
Experto 9	4	6	6	7	1	3	5
Experto 10	3	7	7	7	1	4	4
Sj	43	68	69	67	10	42	42
Smed	48,7143						
(Sj-Smed)	-5,7143	19,2857	20,2857	18,2857	-38,7143	-6,7143	-6,7143
(Sj-Smed) ²	32,6531	371,9388	411,5102	334,3673	1498,7959	45,0816	45,0816
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2739,4286						
Ken	0,9784						

RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA (Continuación)

Uso Vertedero

	Relieve del terreno	Pendiente del terreno	Fertilidad del suelo	Presencia Flora y Fauna	Calidad del agua	Calidad del paisaje	Erosión del suelo
Experto 1	2	1	7	7	4	7	3
Experto 2	3	4	7	7	3	6	6
Experto 3	3	3	6	7	4	6	3
Experto 4	3	3	6	7	5	6	4
Experto 5	2	3	7	6	4	5	4
Experto 6	4	1	7	6	3	7	5
Experto 7	5	1	7	7	4	7	4
Experto 8	3	3	7	7	5	7	5
Experto 9	3	2	6	6	4	6	5
Experto 10	2	2	7	7	4	7	3
Sj	30	23	67	67	40	64	42
Smed	47,5714						
(Sj-Smed)	-17,5714	-24,5714	19,4286	19,4286	-7,5714	16,4286	-5,5714
(Sj-Smed) ²	308,7551	603,7551	377,4693	377,4694	57,3265	269,8979	31,0408
$\Sigma(Sj-Smed)^2$	2025,7142						
Ken	0,7235						

ANEXO 15. MEDIDAS PARA LA RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN CANTERAS

PRÁCTICAS EDÁFICAS: MANEJO Y PROTECCIÓN DE SUELO	Medidas principales	Medidas secundarias	Medidas complementarias
Remoción y la separación de la capa superficial del suelo			
Extracción selectiva del suelo y otros sustratos		X	
La capa superior del suelo se debe retirar por separado del material subyacente (estéril o mineral)	X		
Evitar la degradación del suelo por el lavado y los servicios de mantenimiento de la maquinaria en el campo (tales como cambios de aceite) y el tráfico en la zona			X
La maquinaria a utilizar en el desbroce de la capa vegetal debe ser inspeccionada periódicamente por posibles fugas de aceite, lubricantes y otros		X	
Almacenamiento temporal de la capa superficial del suelo			
La capa superficial del suelo se debe utilizar inmediatamente después de su retirada			X
La capa superficial del suelo se debe almacenar en lugares bien drenados donde no haya tráfico (peatones, vehículos o animales)		X	
La capa superficial del suelo se debe almacenar en pilas de hasta 2 m de altura			X
Si fuera necesario el almacenamiento de la capa superficial de suelo durante largos períodos de tiempo, las pilas de almacenamiento deben ser revegetadas con gramíneas o leguminosas			X
El plazo de almacenamiento de la capa superficial de suelo no debe exceder de 2 años			X
La capa superficial de suelo almacenado debe ser removida periódicamente			X
Colocación de la capa superficial del suelo			
La capa superficial de suelo debe estar dispuesta sobre las superficies a ser recuperadas	X		
Si no hay suficiente capa vegetal para el tratamiento de la superficie final, se debe utilizar material estéril o muy similares			X
Definir el espesor requerido de la capa			X

superficial de suelo para cada área de acuerdo con el volumen disponible			
La capa superficial de suelo debe disponerse regularmente, de acuerdo con la conformación topográfica del terreno		X	
Tratamiento de la superficie final del suelo			
Reducir al mínimo el movimiento de equipos en las áreas que ya han recibido la capa fértil del suelo		X	
Siempre que sea posible, se debe aplicar fertilizante orgánico			X
Control de la contaminación del suelo			
Las zonas sospechosas de contaminación del suelo deben confirmarse por investigación		X	
En caso de fuga de aceite o algún derivado del petróleo, los suelos contaminados deben ser retirados y enviados a destinos adecuados o remediados in situ		X	
El material sólido recogido en trampas de separación de aceites y grasas y los efluentes del lavado deben ser almacenados en lugares adecuados y enviados a destinos apropiados		X	
Los tanques de almacenamiento de combustible deben estar instalados en suelo protegido		X	
El lugar donde se encuentran los tanques aéreos de almacenamiento de combustible deben estar provistos de una cubeta de contención			X
Los derivados del petróleo deben ser almacenados en un lugar con suelo impermeable y capacidad de retención de la totalidad del volumen de almacenamiento		X	
Los talleres mecánicos, áreas de lavado de equipos, de almacenamiento y de suministro de combustible se deben ubicar lejos de los cursos de agua			X
El suelo de los talleres mecánicos, de las áreas de suministro y del lavado de equipos debe ser impermeabilizado y equipado con un sistema de recogida de líquido, conectado a los sistemas de tratamiento y separación	X		
Control de los procesos de la dinámica superficial en vías de circulación y áreas de apoyo			
Las vías de acceso o rutas de tránsito internas	X		

deben tener sistemas de drenaje			
Los canales excavados en suelos erosionables deben recubrirse			X
El agua proveniente de las vías de acceso o de las rutas de tránsito internas debe ser conducida a la presa de cola antes de ser liberados al medio ambiente		X	
PRÁCTICAS TOPOGRÁFICAS Y GEOTÉCNICAS:			
Estabilidad de taludes			
El ángulo del talud debe conformarse de acuerdo con las características geológicas y geotécnicas de las rocas, siempre se debe tener en cuenta la configuración final de la explotación		X	
Se debe implementar un sistema de drenaje de aguas pluviales en los taludes del terreno	X		
En los taludes las bermas deben tener inclinación transversal y longitudinal		X	
Los bancos ubicados en las cotas más altas de la explotación, deben ser recuperados hasta llegar a su posición final			X
En los frentes mineros que ya están en proceso de recuperación se deben limpiar y eliminar los bloques sobremedidos y sobrantes			X
PRÁCTICAS TOPOGRÁFICAS Y GEOTÉCNICAS:			
Estabilidad de las escombreras			
Deben ejecutarse en orden ascendente		X	
Cuando sea posible, una vez agotado el yacimiento, los huecos deben ser rellenados con material estéril			X
En el caso que la escombrera intercepte al flujo natural del agua, se deben implantar dispositivos de drenajes internos		X	
Se deben implementar sistemas de drenaje de las aguas pluviales en los taludes	X		
Las bermas deben tener inclinación transversal y longitudinal para el drenaje de las aguas superficiales		X	
Las aguas provenientes de las baterías y del material de rechazo de las plantas de beneficio deben ser conducidos a las cuencas de sedimentación antes de ser expulsados al medio ambiente	X		
Las escombreras se pueden utilizar como barrera visual			X

PRÁCTICAS HÍDRICAS: PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS			
Se deben implantar sistemas de drenaje de aguas pluviales con el fin de desviar el agua superficial de las zonas donde se desarrollarán las actividades mineras (drenaje perimetral)		X	
Se debe retener los sedimentos arrastrados por la escorrentía con la implantación de presas de cola, filtros agregados u otros dispositivos antes de que el agua se libere a las zonas exteriores a la cantera	X		
Las presas de cola deben instalarse fuera de los cursos de agua permanentes o temporales		X	
Los sedimentos deben ser retirados de la balsa de residuos antes de que se alcance el límite de la capacidad		X	
Se debe revegetar el entorno de los cursos de agua permanentes e intermitentes (manantiales, arroyos, ríos)	X		
En el caso de que el yacimiento intercepte el curso de agua, se debe proteger mediante el desvío o construyendo canales			X
La descarga de efluentes debe estar libre de aceite y grasa	X		
Si la retención a través de los depósitos de sedimentación no son suficientes para garantizar la calidad del agua, se debe realizar un tratamiento adicional por floculación o cualquier otro proceso físico-químico		X	
El área de lavado de los equipos de minería debe tener su sistema de tratamiento del drenaje	X		
Los efluentes aceitosos deben ser recogidos y dirigidos al sistema de tratamiento	X		
Periódicamente hay que revisar la posible reducción del flujo en los pozos de agua y manantiales		X	
PRÁCTICAS ECOLÓGICAS: MANEJO DE VEGETACIÓN Y FAUNA			
Eliminación de la vegetación			
La eliminación de la vegetación debe ser realizada de manera concatenada con el plan de desarrollo minero	X		
El área de eliminación de la vegetación nativa se debe delimitar físicamente, con la ayuda de			X

cintas fosforescentes o algún dispositivo equivalente			
En el caso de los pastos naturales su eliminación se hará junto con la capa fértil del suelo			X
La eliminación de la vegetación arbustiva o arbórea no debe quemarse al aire libre		X	
Las plantas epífitas deben ser retiradas manualmente de forma selectiva y reinsertadas en las zonas que se recuperan			X
Las especies vegetales de valor paisajístico significativo deben ser identificadas y trasplantadas			X
Minimización del impacto visual			
Los fragmentos remanentes de la vegetación natural se deben utilizar como barreras visuales			X
Se debe utilizar la replantación como complemento para las barreras visuales			X
Para las barreras vegetales, se deben elegir las plantas que tengan rápido crecimiento		X	
Restablecimiento de la cobertura vegetal y hábitats de vida salvaje			
El restablecimiento de la vegetación en las zonas de recuperación debe seguir un plan preestablecido		X	
Los bosques ribereños deben ser revegetados con especies nativas	X		
Las semillas de especies nativas deben seleccionarse preferiblemente cerca de la zona de la cantera			X
La cantera debe mantener un vivero con especies nativas			X
Si hay presencia de animales domésticos, se debe cercar el área		X	
En los taludes se deben plantar especies de rápido crecimiento para la protección contra la erosión			X
En el caso de que existan especies invasoras en la zona a revegetar, deben ser eliminadas antes de plantar o sembrar			X

ANEXO 16. CUESTIONARIO A EXPERTOS PARA LA VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Nombre y apellidos: _____.

Institución a la que pertenece: _____.

Cargo actual: _____.

Calificación profesional, grado científico o académico:

Profesor: _____.Licenciado: _____.Especialista: _____.Master: _____.Doctor: _____.

Años de experiencia en el cargo: _____.

Años de experiencia docente y/o en la investigación: _____.

Como parte del tema de tesis de Doctorado en Minería se necesita su colaboración para determinar la validez del procedimiento elaborado en la investigación, para ello es necesario que responda a la pregunta realizada de la forma más coherente posible.

1. Valore la importancia de los parámetros elegidos teniendo en cuenta una escala de (valor 0 mínimo) hasta 1 (máximo valor).

Criterios	Valor
El procedimiento está científicamente sustentado	
Sencillo y comprensible	
Flexible y dinámico	
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	
Reproducible	
Congruente con las normativas ambientales	
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	

Muchas gracias.

ANEXO 17. ENCUESTA PARA LA SEGUNDA RONDA

A continuación le presentamos una tabla que contiene los criterios que determinan la validez del procedimiento elaborado. A la derecha aparece la escala:

MA: Muy adecuado

BA: Bastante adecuado

A: Adecuado

PA: Poco adecuado

I: Irrelevante

- Marque con una X en la celda que se corresponda con el grado de relevancia que usted otorga a cada criterio.

Le agradecemos anticipadamente el esfuerzo que sabemos hará para responder, la presente encuesta con la mayor fidelidad posible a su manera de pensar.

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado					
Sencillo y comprensible					
Flexible y dinámico					
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos					
Reproducible					
Congruente con las normativas ambientales					
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis					
Generalizable para su uso en otras regiones del país.					

Muchas gracias.

ANEXO 18. RESULTADOS DE LA SEGUNDA RONDA

Anexo 18.1. Tabla de frecuencia absoluta

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento						
TABLA DE FRECUENCIA ABSOLUTA						
	MA	BA	A	PA	I	TOTAL
El procedimiento está científicamente sustentado	7	2	1	0	0	10
Sencillo y comprensible	9	1	0	0	0	10
Flexible y dinámico	1	2	7	0	0	10
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	8	2	0	0	0	10
Reproducible	9	1	0	0	0	10
Congruente con las normativas ambientales	10	0	0	0	0	10
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	1	3	6	0	0	10
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	10	0	0	0	0	10

Anexo 18.2. Tabla de frecuencia acumulada

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento					
TABLA DE FRECUENCIA ACUMULADA					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado	7	9	10	10	10
Sencillo y comprensible	9	10	10	10	10
Flexible y dinámico	1	3	10	10	10
Adecuado para la recuperación en canteras para materiales de construcción	8	10	10	10	10
Reproducible	9	10	10	10	10

Congruente con las normativas ambientales	10	10	10	10	10
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	1	4	10	10	10
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	10	10	10	10	10

Anexo 18.3. Tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada

Influencia de los criterios para determinar la validez del procedimiento				
TABLA DEL INVERSO DE LA FRECUENCIA ABSOLUTA ACUMULADA				
	MA	BA	A	PA
El procedimiento está científicamente sustentado	0,7	0,9	1	1
Sencillo y comprensible	0,9	1	1	1
Flexible y dinámico	0,1	0,3	1	1
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	0,8	1	1	1
Reproducible	0,9	1	1	1
Congruente con las normativas ambientales	1	1	1	1
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	0,1	0,4	1	1
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	1	1	1	1

Anexo 18.4. Tabla de determinación de los puntos de corte

DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE CORTE							
	MA	BA	A	PA	Suma	Pro. Fil	N - Prom.
El procedimiento está científicamente sustentado	0,52	1,28	3,49	3,49	8,78	2,2	0,37
Sencillo y comprensible	1,28	3,49	3,49	3,49	11,75	2,94	-0,37
Flexible y dinámico	-1,28	-0,52	3,49	3,49	5,18	1,3	1,27
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	0,84	3,49	3,49	3,49	11,31	2,83	-0,26
Reproducible	1,28	3,49	3,49	3,49	11,75	2,94	-0,37
Congruente con las normativas ambientales	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-0,92
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	-1,28	-0,25	3,49	3,49	5,45	1,36	1,21
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	3,49	3,49	3,49	3,49	13,96	3,49	-0,92
Suma	8,34	17,96	27,92	27,92	82,14	20,55	
Punto de corte (Prom. Columna)	1,04	2,25	3,49	3,49	10,27	2,57 = N (Prom. Gener.)	

Anexo 18.5. Conclusiones generales

CONCLUSIONES GENERALES					
	MA	BA	A	PA	I
El procedimiento está científicamente sustentado	Sí	-	-	-	-
Sencillo y comprensible	Sí	-	-	-	-
Flexible y dinámico	-	Sí	-	-	-
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	Sí	-	-	-	-

Reproducible	Sí	-	-	-	-
Congruente con las normativas ambientales	Sí	-	-	-	-
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	-	Sí	-	-	-
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	Sí	-	-	-	-

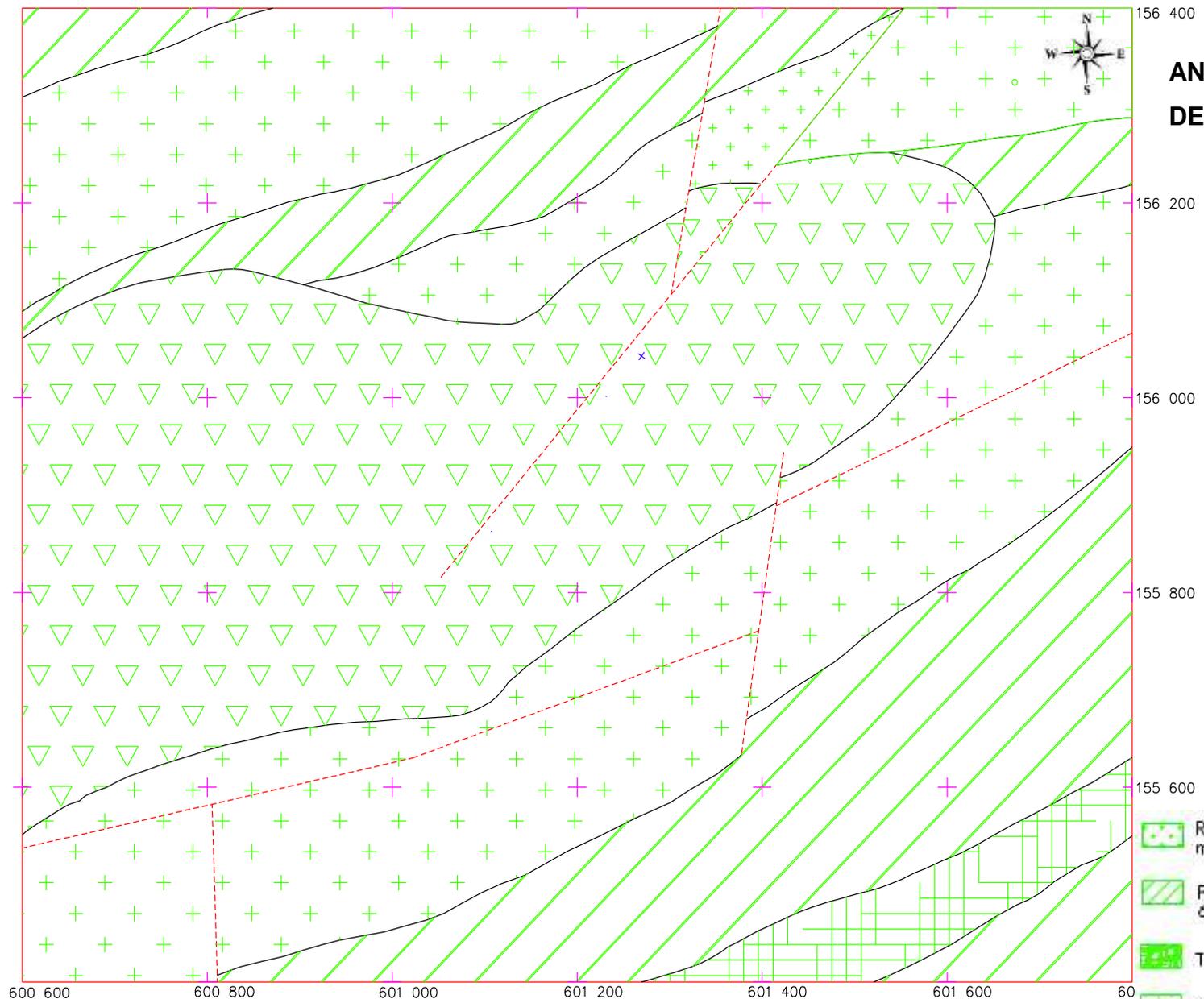
ANEXO 19. RESULTADOS DE LA TERCERA RONDA

	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7	Ex8	Ex9	Ex10	Sj	Smed	(Sj-Smed)	(Sj-Smed) ²
El procedimiento está científicamente sustentado	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	11	25,625	-14,63	213,8906
Sencillo y comprensible	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	11	25,625	-14,63	213,8906
Flexible y dinámico	3	8	5	3	4	6	5	4	8	5	51	25,625	25,38	643,8906
Adecuado para la recuperación en canteras de áridos	4	5	4	5	6	3	4	6	5	4	46	25,625	20,38	415,1406
Reproducible	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	11	25,625	-14,63	213,8906
Congruente con las normativas ambientales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	25,625	-15,63	244,1406
Nivel de aprobación del procedimiento objeto de análisis	4	8	4	5	7	5	6	6	6	4	51	25,625	29,38	862,8906
Generalizable para su uso en otras regiones del país.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	25,625	-15,63	244,1406
Total														

M = 10

P = 8

ANEXO 21. PLANO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO "LOS GUAOS"



SIMBOLOGÍA

-  Rocas Vulcanógenas sedimentarias de composición media, Tobas de diferentes granulometrías
-  Rocas Vulcanógenas Sedimentarias de composición ácida, Tobas de granos fino a medio
-  Tufitas de granos finos
-  Cuerpo Intrusivo de porfirita andecítica - dacítica
-  Contactos Litológicos
-  Fallas Geológicas



1:2000

ANEXO 22. FRENTES DE LA CANTERA CON TALUDES INESTABLES



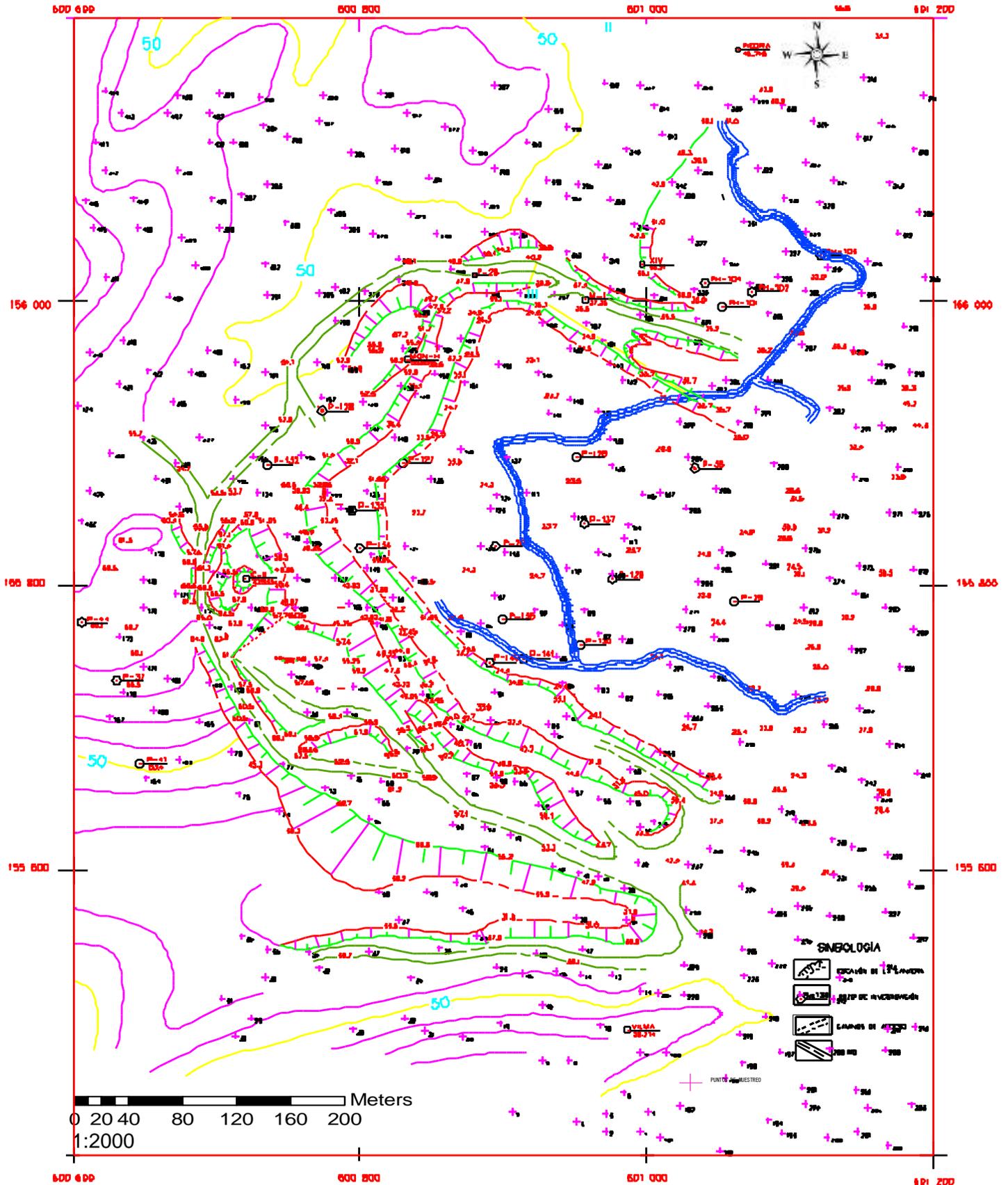
ANEXO 23. CONTAMINACIÓN POR POLVO PRODUCIDA POR LAS PLANTAS DE PREPARACIÓN MECÁNICA



ANEXO 24. IMAGEN SATELITAL DE LA CANTERA “LOS GUAOS”



ANEXO 25. PLANO TOPOGRÁFICO CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA CANTERA "LOS GUAOS"



ANEXO 26. PLANO DEL RÍO "LOS GUAOS" CON LOS PUNTOS DE MUESTREO

600 800

601 000

601 200

