

Indicadores minero ambientales para la determinación de la degradación en canteras a través de los Sistemas de Información Geográficos

Alexis Montes de Oca Risco¹; Mayda Ulloa Carcassés²; Suraymi García Cruz³; Angel L. Silot Castañeda⁴

Recibido: 12 de mayo del 2017 / Enviado a evaluar: 13 de septiembre del 2017 / Aceptado: 9 de diciembre del 2019

Resumen. Las actividades de extracción minera afectan drásticamente todos los elementos del ecosistema. En los últimos años se ha incrementado la demanda de materiales de construcción, esta situación contribuye al aumento de los niveles de contaminación generados por la ejecución de explotaciones mineras. El presente trabajo tuvo como objetivo la determinación de los indicadores minero ambientales para la obtención del plano de degradación ambiental en canteras de áridos a través de los S.I.G. A través del método de expertos se obtuvieron los indicadores de degradación ambiental. Como resultado, se elaboraron los planos de cada uno de los indicadores y el plano de degradación ambiental, lo que permitió obtener el nivel de degradación del área degradada en la cantera "Los Guaos". Palabras clave: Indicadores ambientales; Indicadores mineros; Canteras de áridos; S.I.G.

[en] Environmental mining indicators for the determination of degradation in quarries through Geographic Information Systems

Abstract. Mining activities drastically affect all elements of the ecosystem. In recent years the demand for construction materials has increased, this situation contributes to the increase of pollution levels generated by the execution of mining operations. The present work had as objective the determination of the environmental mining indicators for obtaining the environmental degradation plan in arid quarries through the G.I.S. Through the expert method, the indicators of environmental degradation were obtained. As a result, the plans for each of the indicators and the environmental degradation plan were elaborated, which allowed to obtain the level of degradation of the degraded area in the "Los Guaos" quarry.

Keywords: Environmental Indicators; Mining Indicators; Aggregate Quarries; G.I.S.

¹ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM). Cuba.
E-mail: amontes@ismm.edu.cu

² Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM).

³ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM).

⁴ Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL).

[fr] Indicateurs miniers environnementaux pour la détermination de la dégradation dans les carrières grâce aux systèmes d'information géographique

Résumé. Les activités minières affectent considérablement tous les éléments de l'écosystème. Ces dernières années, a augmenté la demande pour les matériaux de construction, cette situation contribue à l'augmentation des niveaux de pollution générés par l'exécution des opérations minières. Cette étude visait à déterminer le plan minier des indicateurs environnementaux pour obtenir la dégradation de l'environnement dans les carrières arides par S.I.G. Grâce à des indicateurs de méthode experts dégradation de l'environnement ont été obtenus. En conséquence, les plans de chacun des indicateurs et le niveau de dégradation de l'environnement ont été mis au point, ce qui a permis d'obtenir le niveau de dégradation dégradé dans la carrière « Los Guaos » région.

Mots clés: Indicateurs environnementaux; Indicateurs miniers; Carrières d'agrégats; S.I.G.

Cómo citar. Montes de Oca Risco, A.; Ulloa Carcassés, M.; García Cruz, S.; Silot Castañeda, Á. (2020): Indicadores minero ambientales para la determinación de la degradación en canteras a través de los Sistemas de Información Geográficos. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 40(1), 97-114.

Sumario. 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Determinación de los indicadores minero ambientales. 2.1.1. Elaboración del cuestionario. 2.1.2 Determinación del número de expertos. 2.1.3. Selección de los expertos. 2.1.4. Realización de las rondas para obtener el consenso de los expertos. 2.1.5. Evaluación de los resultados a partir de la prueba de hipótesis. 2.2. Determinación del peso de los indicadores. 2.3. Criterios de valoración del sistema de indicadores para las canteras. 2.4. Determinación del tamaño de la muestra. 2.5. Determinación del plano de degradación ambiental. 3. Resultados y discusión. 3.1 Área de estudio. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas

1. 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 (Oyarzún, 2008).

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).

Desde la Declaración de Estocolmo en 1972, posteriormente ratificada en la Declaración de Río de Janeiro en 1992, la preocupación por llevar a cabo acciones para proteger el medio ambiente y emprender un desarrollo sostenible ha venido creciendo día a día. A partir de esto, surgió la necesidad de valoración y medición del

daño que se venía haciendo al medio ambiente, o de impactos ambientales, así como del estado de los recursos y condiciones ambientales.

Con relación a proyectos de desarrollo y el ordenamiento territorial se realizan análisis matriciales por dimensiones y se hace uso de sistemas de información geográfica (SIG) que permite la superposición de mapas temáticos, que pueden representar cada una de las dimensiones ambientales, por medio de criterios técnicos para definir áreas apropiadas para los diferentes tipos de actividades humanas o áreas de manejo especial (Suárez, 2003).

Para tener términos más concretos de la valoración y evaluación ambiental aparecen los indicadores ambientales. Estos son mediciones científicas de la trayectoria de las condiciones ambientales a través del tiempo; ayudan a medir el estado del aire, agua y suelo, la presión sobre ellos y los efectos resultantes sobre la salud ecológica y humana; muestran el progreso en la limpieza del aire, purificación del agua y protección del suelo (EPA, 2002). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) define un indicador ambiental como un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros, que ofrece información sobre un fenómeno, con un significado dado por una definición clara de su función (OECD, 2003).

Los indicadores ambientales 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. Lo anterior también ha conducido a la necesidad creciente de contar con información que facilite la formación de una opinión a la hora de tomar decisiones públicas o privadas, a través de la formulación de políticas ambientales para la asignación de recursos a esta área. Los indicadores ambientales aparecen cargados de una urgencia política y de unos desarrollos informáticos que los hacen más factibles de construir que otro tipo de indicadores que han tenido mayores dificultades en su conceptualización y construcción (Manteiga, 2000).

A más de 30 años del desarrollo de los primeros indicadores ambientales existen importantes avances, con múltiples propuestas en el área internacional e incluso nacional. Sin embargo, hay que señalar que estas iniciativas han sido de tipo descriptivo de la situación ambiental o de evaluación de desempeño, y aunque han sido de gran utilidad, ahora es necesario contar con indicadores que permitan vincular en forma integral los aspectos económicos y sociales con los procesos de cambio ambiental, para poder evaluar la efectividad de las políticas públicas. Lo importante aquí es comentar que no existe un modelo único para establecer un sistema de indicadores, dado que éste está determinado por el uso que se le da (Perevochtchikova, 2013).

Para el caso de la recuperación de áreas degradadas en canteras de áridos los indicadores ambientales proveen una visión agregada del estado ambiental, coherente con los intereses sociales dominantes y útiles para la toma de decisiones, que responden además a las especificidades y necesidades locales.

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.

El presente trabajo tuvo como objetivo la determinación de los indicadores minero ambientales para la obtención del plano de degradación ambiental en canteras a través de los S.I.G, lo que permitirá contar con una herramienta práctica e integral para apoyar la evaluación y gestión ambiental de actividades mineras de alto impacto ambiental.

2. Metodología

2.1 Determinación de los indicadores minero ambientales

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

2.1.1 Elaboración del cuestionario

Para determinar los indicadores que serían sometidos a consideración de los expertos, se realizaron trabajos de campo en 40 canteras de áridos, 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.

2.1.2 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 (2011):

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

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)

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

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

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.

2.1.3 Selección de los expertos

Para determinar el coeficiente de competencia de los 14 expertos seleccionados preliminarmente, se envió el cuestionario elaborado y se calculó su coeficiente de competencia.

Finalmente, fueron escogidos 10 expertos, según su grado de competitividad y se analizaron sus características técnico-profesionales. 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 $K_c = 0,81$.

2.1.4 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, 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 (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) que pasaron a la siguiente ronda.

Segunda ronda para determinar los indicadores que influyen en la degradación

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

Se seleccionaron siete indicadores (Relieve del terreno, Pendiente del terreno, Erosión del suelo, Fertilidad del suelo, Calidad del agua, Calidad del paisaje, Presencia de flora y fauna) que pasaron a la tercera ronda.

Tercera ronda para obtener la influencia de cada indicador seleccionado

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 (K), tomado de Martin (2006), cuyo valor oscila entre 0 y 1.

2.1.5. 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.

Siendo 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.

2.2 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. 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) (Beramendi, 2013). Una vez obtenido el peso de los indicadores (tabla 1) se procedió a caracterizarlos y a proponer los criterios para su valoración.

2.3. Criterios de valoración del sistema de indicadores para las canteras

La escala de evaluación de los criterios se tomó en una escala variable entre 1 y 3, siendo 3 el valor que más influye en la degradación y 1 el que menos influye (tabla 2).

Tabla 1. Peso de los indicadores

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

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. 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° plano a ligeramente plano
	2	15-35° inclinado
	3	> 35° 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)

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Determinación del tamaño de la muestra

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

Para la obtención de la base de datos para confeccionar los planos, se determinan los puntos a través del método estadístico 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).

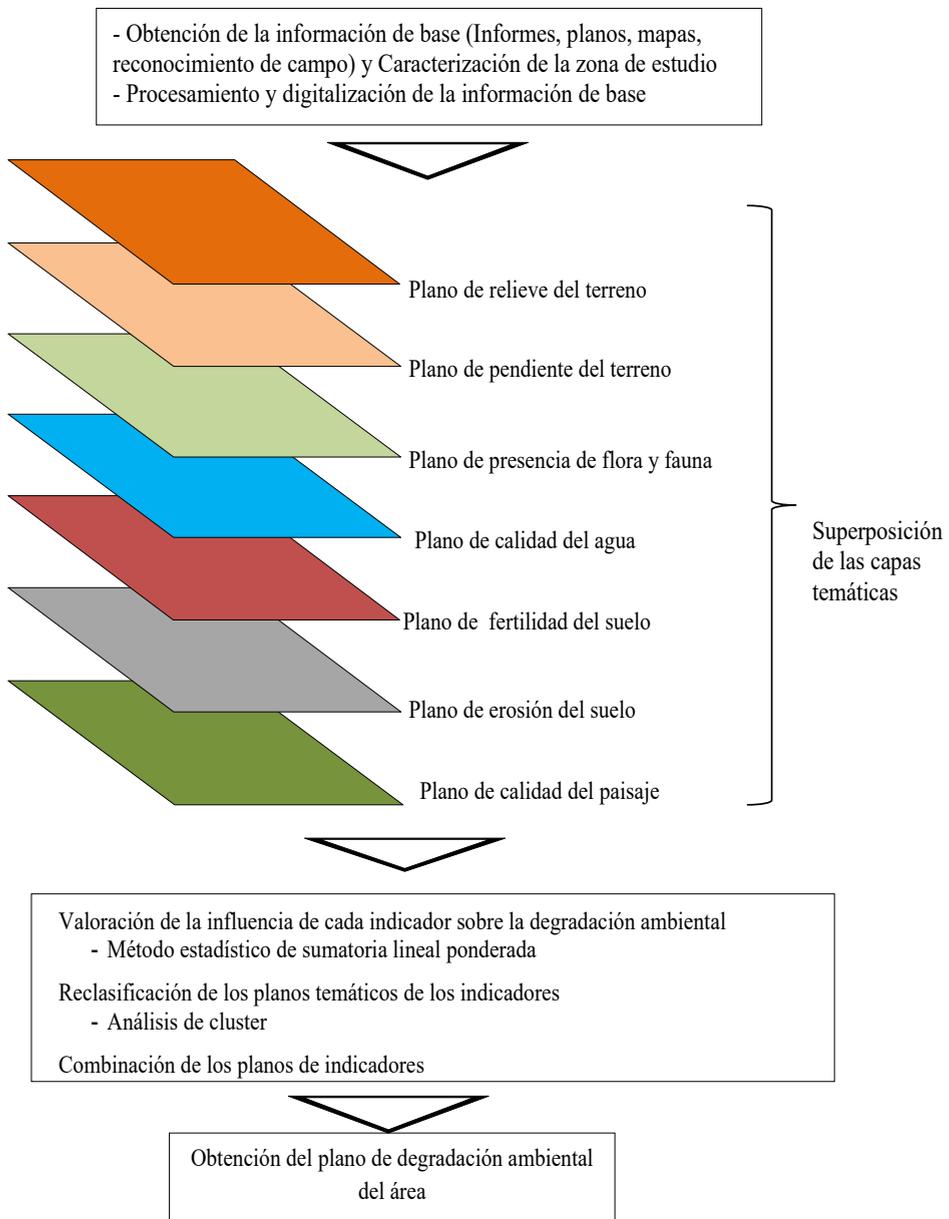
2.5 Determinación del plano de degradación ambiental

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

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

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

Figura1. Metodología empleada para la obtención del plano de degradación ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

3.1 Área de estudio

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 (40) 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, 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.

- Ubicación y caracterización del yacimiento Los Guaos

El yacimiento se encuentra ubicado en la provincia de Santiago de Cuba, a 5 km al oeste de la ciudad (figura 2) y ocupa una extensión de 400 km². El área se encuentra en explotación desde enero de 1972 y sus plantas constituyen las principales abastecedoras de áridos en la provincia Santiago de Cuba (Parra, 2003).

Las coordenadas geográficas del yacimiento son las siguientes: 200 41' 22" latitud norte y 750 53' 20" longitud oeste

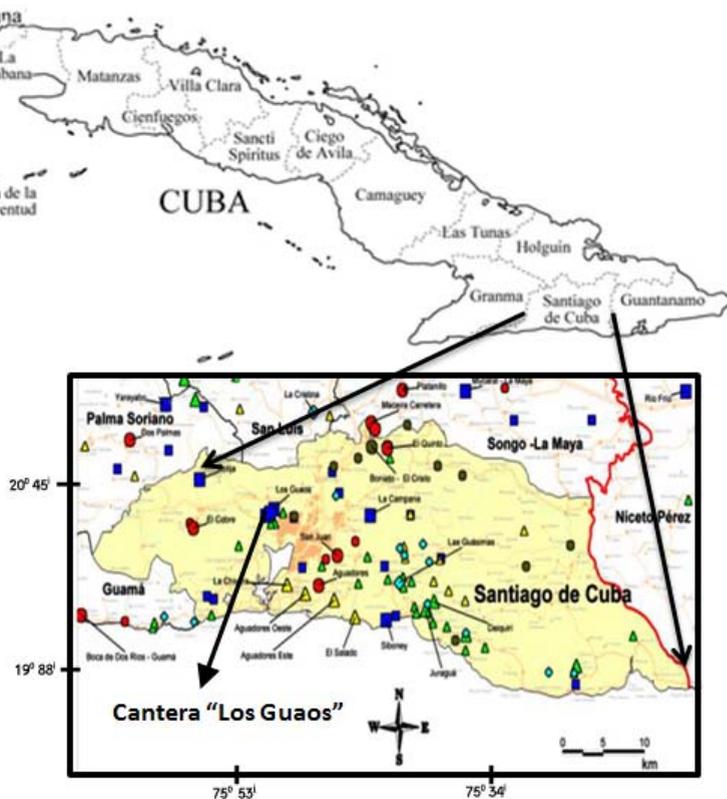
- Relieve

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

- Clima

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

Figura 2. Ubicación de la cantera “Los Guaos”.



Fuente: Elaboración propia.

- Hidrografía

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

- Descripción del medio biológico

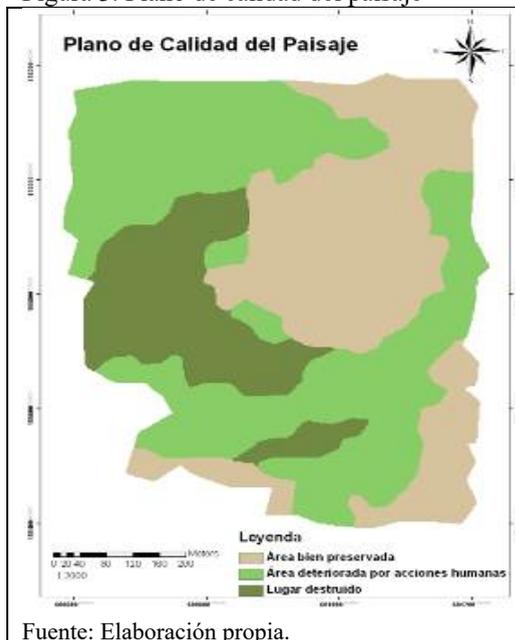
En la zona en que se encuentra enmarcado el yacimiento Los Guaos se puede encontrar una gran variedad de plantas y animales que conforman la diversidad biológica del yacimiento. Entre la variedad de la flora se puede mencionar el Mango (*Mangifera indica* L), el Marabú (*Dichrostachys cinerea*), el Almendro (*Terminalia catappa* L.), el Guao (*Comocladia dentata* Jacq.), el palo bobo (*Cochlospermum vitifolium*), el almendrillo (*Reynosia revoluta*) y la malagueta (*Anonáceas*). Entre los ejemplares de la fauna se puede encontrar la rana toro (*Lithobates catesbeianus*), el sapo común (*Bufo bufo*), la lagartija verde (*Teius teyou*), el majá de Santamaría (*Epicrates angulifer*), el jubito (*Arrhyton vittatum vittatum*), la jutía conga (*Capromys pilorides pilorides*), la bayoya (*Leiocephalus stictigaster*), el zunzún (*Chlorostilbon ricordii*), el bobito (*Contopus caribaeus*), el negrito (*Melopyrrha nigra*), el totí (*Dives atrovioleaceus*), la tojosa (*Columbina passerina*), el aura tiñosa (*Cathartes aura*), el sinsonte (*Toxostoma rufum*), el murciélago (*Chiroptera*) (Montes de Oca, 2013).

3.2 Determinación de plano de degradación ambiental

- Determinación de la cantidad de muestras en el terreno

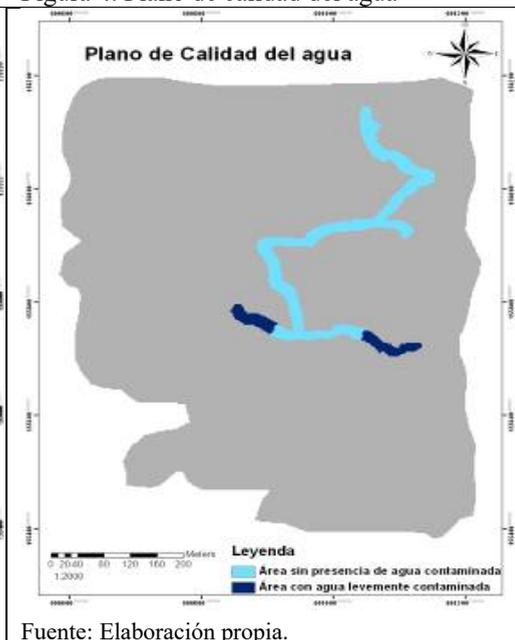
Para la determinación de la cantidad de muestras en el terreno, se aplicó el método de muestreo estadístico aleatorio simple. Teniendo en cuenta la cantidad de puntos del plano, al aplicar el método estadístico se obtuvo un tamaño de la muestra de 432 puntos para confeccionar el plano de cada uno de los indicadores propuestos.

Figura 3. Plano de calidad del paisaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Plano de calidad del agua

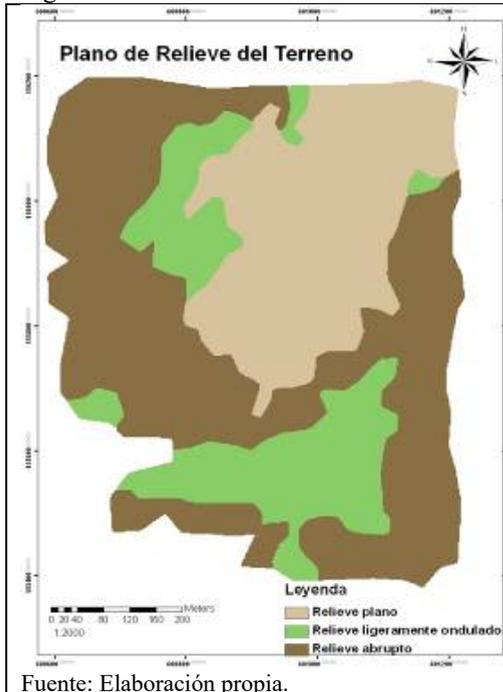


Fuente: Elaboración propia.

- Determinación de la cantidad de muestras en las aguas superficiales

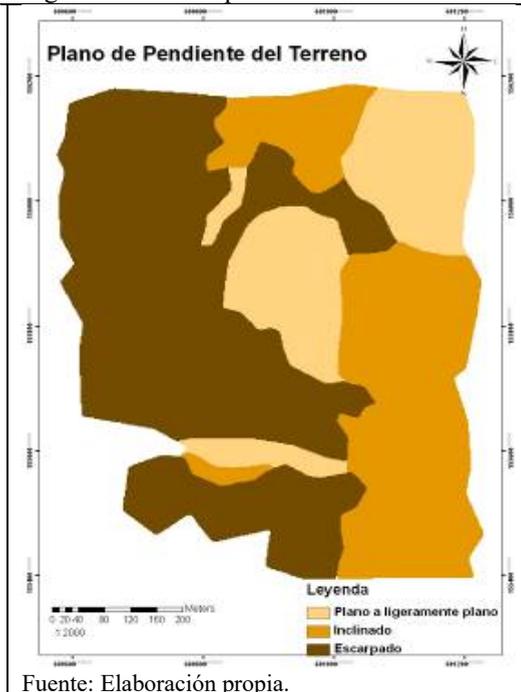
La cantidad de muestras se determinó según la Norma Técnica de Brasil 9897, “Planejamiento de Amostragem de Efluentes líquidos e Corpos Receptores” que plantea que el número de muestras depende del volumen de agua de la zona. La cantera “Los Guaos” presenta un volumen superior a 10 000 m³ (Pérez, 2015),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

Figura 5. Plano de relieve del terreno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Plano de pendiente del terreno.



Fuente: Elaboración propia.

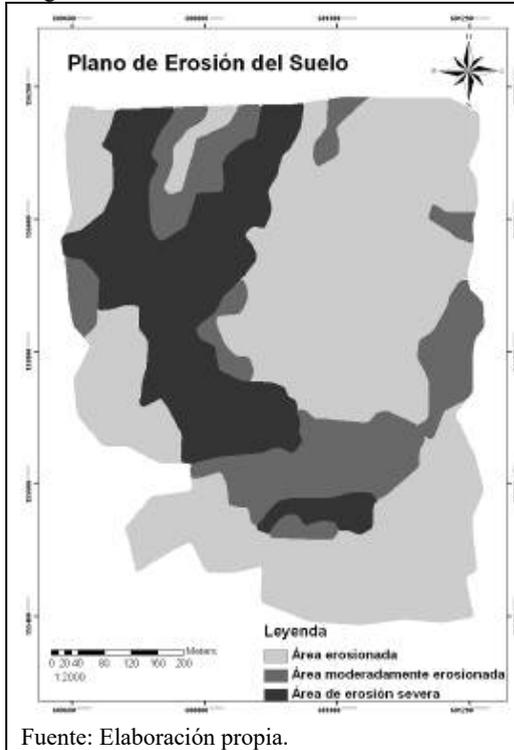
- Obtención del plano de degradación ambiental

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.

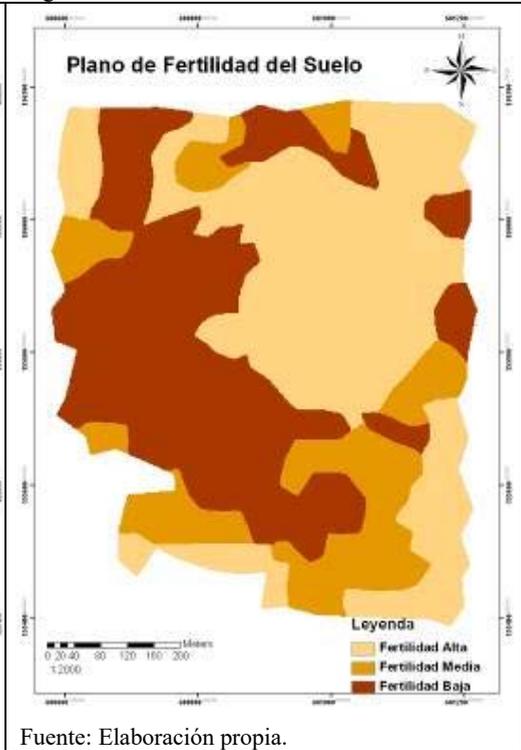
La base de datos se introduce en el programa ArcGis y se obtienen los planos temáticos para cada uno de los indicadores (figuras 3-9) y, finalmente, el plano de degradación ambiental (figura 10), en la escala de 1:2000.

Figura 7. Plano de erosión del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

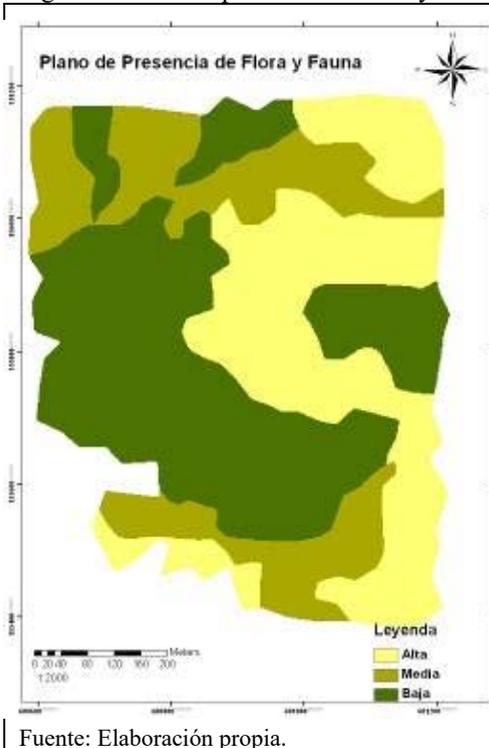
Figura 8. Plano de fertilidad del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

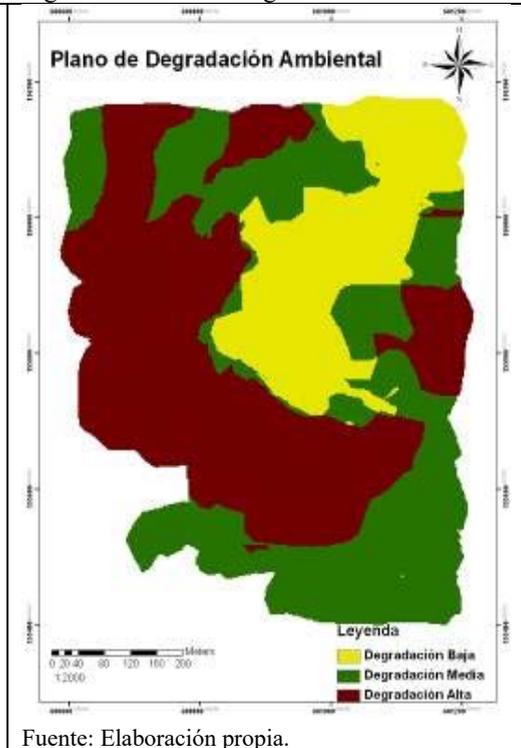
La importancia de la obtención del conjunto de indicadores minero ambientales en términos generales sirvió para evaluar la gestión y calidad ambiental en un periodo de tiempo dado en la cantera objeto de estudio. El análisis integral de estos indicadores minero ambientales permite la toma de decisiones respecto a la formulación de políticas, la definición y priorización de proyectos ambientales y la evaluación de acciones correctivas asociadas con aspectos socioeconómicos presentes en el territorio.

Figura 9. Plano de presencia de flora y fauna.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Plano de degradación ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente del plano de degradación ambiental (figura 10), se pudo clasificar la cantera en tres áreas, las cuales son: degradación alta con 174 km^2 degradación media con 84 km^2 y degradación baja con 142 km^2 .

Del área total de 400 km^2 , el 43,5% pertenece a degradación alta.

4. Conclusiones

A través del conjunto de indicadores minero ambientales determinados, con el propósito de obtener la degradación ambiental en la cantera objeto de estudio, permitieron obtener una visión holística, coherente y consistente de una problemática ambiental presente en el área. Este conjunto de indicadores minero ambientales se desarrolla dentro del marco planteado por la legislación ambiental nacional e internacional y los estándares de calidad ambiental.

La metodología empleada para la obtención de la degradación ambiental en canteras es una de las pocas que se basa en indicadores minero ambientales haciendo

uso de los S.I.G, dicha metodología es de gran importancia para la planificación y el ordenamiento territorial.

En el área de estudio con una extensión de 400 km², se aplicó la metodología propuesta y demostró que más del 60% de área presenta algún tipo de degradación, dicha información servirá de gran ayuda a los organismos encargados del manejo de estas áreas para la propuestas de actividades de recuperación a corto, mediano y largo plazo.

5. Referencias bibliográficas

- Arentze, T. A., Borgers, A. W. J. y Timmerman, H. P. (1996): "Integrating GIS into the Planning Process", en M. Fischer, H. J. Scholten y D. Unwin (eds.): *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. Londres, Taylor and Francis, pp. 187-198.
- Barba Romero, S. y Pomerol, J. C. (1997): *Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá. 420 pp.
- Barredo Cano, J. I. (1996): *Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio*. Madrid, Editorial RA-MA, 264pp.
- Beramendi, 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, 178pp.
- Bosque J. y García R. (2000): El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 20: 49-67
- Bradshaw, A. (1993): Restoration of mined Lands-Using Natural Processes. *Ecological Engineering*, 8, 255-269.
- Brinardello L. (1997) Proposición metodológica para la evaluación y zonificación integrada de riesgos naturales mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica. *Revista de Geograffa None Grande*, 24, 91-102.
- Carabassa V.; Ortiz O. y Alcañiz J. (2015): Evaluación y seguimiento de la restauración de zonas afectadas por minería. Recuperado en 10 de marzo de 2017, de http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/restauracio_dactivitats_extractives/restocat/documents/Restocat_Castellano.pdf
- 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 maestría, Universidad de Pinar del Río, 76pp.
- Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (CNU-MAD). (1993): *Agenda 21*. Disponible en: http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda_21. (Consulta junio, 2015).
- Devore, J. L. (2000). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. California (Impreso en México): Thomson Editores, 720pp.
- EPA. Environmental Protection Agency, Environmental Indicators Initiative (2002): Web page: <http://www.epa.gov/indicators/>.

- Galacho F. B. y Arrebola C. (2013): Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio respecto a la implantación de edificaciones en espacios rurales. *Investigaciones Geográficas*, 60, julio - diciembre, pp. 69 - 85.
- Galacho, F. B. y Ocaña, M. C. (2006): “Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales”, *Actas del XII Congreso Nacional De Tecnologías de la Información Geográfica*, Cd-Rom. Granada, pp. 1.509 -1.525
- García S. y Guerrero M. (2006): Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 35, 45-57.
- Guillén C. Murugan V. y Dávila M. (2015): Aplicación de teledetección y SIG para el levantamiento cartográfico de los suelos de la cuenca Solani, India. *Revista Geográfica Venezolana*, 56(2), 185-204.
- Legrá, L.A. & Silva, D.O. (2011): *La investigación científica, Conceptos y reflexiones*. Editorial Félix Varela, Habana, 445pp.
- Linstone, H.A & Turrof, M. (1975): *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading, MA: Addison Wesley Publishing.
- 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, p. 270–277.
- Manteiga, L. (2000): Los Indicadores Ambientales como Instrumento para el Desarrollo de la Política Ambiental y su Integración en otras Políticas, TERRA centro para la policía ambiental. www.terracentro.org/Terraweb/Doc-es/San%20Lucar%20indicadores.PDF.
- Martin, W.F. (2006): *Metodología de la investigación*. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Cuba, 345pp.
- Melgar M.C. (2011). *Proyecto Mejora de la Gestión Ambiental y de los Recursos Naturales de la Mancomunidad, Colosua*.
- Montes de Oca Risco, A. (2013): *Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba*. Luna Azul, 37, julio - diciembre, p.74-88.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (1993): *Environmental indicators for environmental performance reviews*. Paris, Francia, 83pp.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2003): *Environmental indicators development, measurement and use*. Paris, p. 37. Disponible en: <http://www.oecd.org/env> . Acceso el 17 de enero de 2015.
- Oyarzún, J. (2008): *Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido*. Universidad de La Serena.
- Parra, J. (2003): *Estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos*. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Holguín.
- Parrota, J.A. & Knowles, O.H. (2001): *Restoring tropical forests on lands mined for bauxita: Examples from the Brazilian*. *Ecological Engineering*, 17, p 219-239.
- Perevochtchikova, M. (2013): La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312. Recuperado en 20 de

- abril de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&tlng=es.
- 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. Holguín.
- Reinoso J.; Michalón R. y Avilés J. C. (2005): Recopilación de Información Base para el Mapa Geoambiental del Área Urbana del Gran Guayaquil y Mapas en formato SIG. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Tesis de grado deferencia
- Saaty, T. (1990): Decision making for Leaders. The Analitic Herarchy Process for decision in a complex World. University of Pittsburgh. RWS Publications, Pittsburgh, USA, p. 292.
- Sabina, C. (1992): El Proceso de Investigación, editorial PANAPO, Caracas.
- Suárez O. (2003): Indicadores e índices ambientales, marco teórico de indicadores. Programa de información e indicadores de gestión de riesgos de desastres naturales. Banco Interamericano de Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 20pp.
- Therese, L.B. (1997): Doing Social Research. 2ª. ed. MacGraw Hill. USA, 54pp.
- Zulaica L. y Omadoni M. (2015): Indicadores de sostenibilidad ambiental en el periurbano de la Ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 35(2). 195-216.