



Diagnóstico del desempeño de la cantera de áridos La Inagua, Cuba, utilizando una matriz de evaluación

Diagnostic of the aggregate quarry “La Inagua”, Cuba performance through the use of an evaluation matrix

Naisma Hernández-Jatib*, Isnel Guilarte-Cutiño

RESUMEN

La creciente demanda de áridos para la construcción, en Cuba, es una de las principales fuentes de crecimiento económico. Ante el incremento en la extracción de esta materia prima, se han desarrollado algunos estudios sobre diagnósticos tecnológicos, desde diferentes enfoques disciplinarios, aristas y denominaciones. Sin embargo, aún son insuficientes los estudios científicos con registros de datos oficiales sobre el crecimiento nacional de dicho sector, el desarrollo tecnológico, ambiental y de seguridad, que emplean para su producción en las canteras. El objetivo del presente trabajo fue hacer un diagnóstico que analice de forma integral las tecnologías existentes, y determine el nivel técnico y el desempeño ambiental y de seguridad, así como el aspecto socioeconómico de la cantera La Inagua, ubicada en Cuba oriental, utilizando parcialmente la matriz de evaluación de canteras de áridos (mECA), que compara el grado de implementación de las mejores técnicas disponibles, para cada uno de los aspectos valorados. En este diagnóstico se usó la variable carga y transporte, y sus respectivos indicadores que componen la matriz. Los resultados mostraron que el estado tecnológico de esta cantera es catalogado como regular, de acuerdo a un valor de 100 %, obtenido en el aspecto técnico. El valor de 73 %, alcanzado en el aspecto medioambiental y de seguridad, reflejó deficiencias en el empleo de técnicas adecuadas para mitigar los impactos medioambientales, así como insuficiencia de medios de seguridad individual. La inexistencia de inversiones en la cantera se muestra a partir del valor de 6 %, derivado del aspecto socioeconómico; y finalmente, se obtuvo el valor del índice mECA de 43.6 %, en la evaluación de la cantera, lo que permitió observar que el desempeño de esta fue regular, por lo que se requiere elevar la eficiencia y calidad de su producción y disminuir su impacto ambiental.

PALABRAS CLAVE: diagnóstico de cantera, matriz de evaluación, carga y transporte, La Inagua, Cuba oriental.

ABSTRACT

The growing demand for construction aggregates in Cuba is one of the main sources of economic growth. Given the increase in the extraction of this raw material, some studies on technological diagnostics have been developed, from different disciplinary approaches, edges, and denominations. However, there are still insufficient scientific studies with records of official data on the national growth of this sector and the technological, environmental, and safety development that they use for their production in quarries. The objective of the present work was to make an integral technological diagnosis that analyzes the existing technologies and determines the technical level, and the environmental and safety performance as well as the socio-economic impact of “La Inagua” quarry, located in Eastern Cuba. To achieve this aim, we partially used the matrix of evaluation of aggregate quarries (mECA), which compares the degree of implementation of the best available techniques, for each of the aspects assessed. In this diagnosis, the load and transport variable and the indicators that constitute the matrix were used. The results obtained showed that the technological status of this quarry can be classified as regular, since a value of 100 % was obtained in the technical aspect. The value of 73 %, reached in the environmental and technological aspect, revealed deficiencies in the use of adequate techniques to mitigate the environmental impacts, as well as an insufficiency of individual safety equipment. The inexistence of investments in the quarry is shown from the value of 6 %, derived from the socio-economic aspect. Finally, a 43.6 % value of the quarry evaluation matrix index was obtained, indicating a regular performance of the studied quarry. Therefore, it is necessary to increase the efficiency and quality of its production and reduce its environmental impact.

KEYWORDS: diagnostic quarries, assessment matrix, charge and transport, La Inagua, Eastern Cuba.

*Correspondencia: nhjatib@ismm.edu.cu/ Fecha de recepción: 29 de marzo de 2017/ Fecha de aceptación: 6 de octubre de 2017

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, Avenida Calixto García Iñiguez núm. 15, 7 de Diciembre y calle Reinaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe, Moa, Holguín, Cuba, C.P. 83300.

INTRODUCCIÓN

Los áridos son el producto más consumido por el hombre, después del agua, a la vez que constituyen un insumo fundamental para la construcción, una de las principales fuentes de crecimiento económico y por tanto de bienestar para la sociedad (Dellero y El Kharim, 2013; Farhana y col., 2013; Chiemela y col., 2014; Zongjin, 2014; Sulymon y col., 2017). Estos materiales representan la porción de menor costo en una obra y constituyen el mayor volumen de los componentes del producto final (Martínez-Segura, 2009; Ganiron, 2015; Barbachi y col., 2017). Así que, con el aumento de su demanda en el sector de la construcción, durante los últimos años, se ha generado un incremento en la extracción de esta materia prima, requiriendo de diagnósticos integrales que analicen las tecnologías existentes y determinen el nivel técnico y el desempeño ambiental de las canteras en explotación. Por esta razón, se han desarrollado estudios sobre diagnósticos tecnológicos, desde diversos enfoques disciplinarios, aristas y denominaciones. Esto se evidencia en la diversidad de nomenclatura que se utiliza como sinónimo de diagnóstico tecnológico: gestión tecnológica, auditoría, mejora continua y otros. Garzón-Gaitán (2002), aborda el diagnóstico tecnológico desde el punto de vista estratégico y de competencias, mientras que otros autores analizan dicho diagnóstico, considerando el aspecto social (Shinn, 1982; Lad y Samant, 2014). Otras investigaciones han realizado el diagnóstico tecnológico de forma integral, considerando algunos aspectos que componen el sistema de producción (Ahmed y Rafiq, 1998; Trigueros, 2006; Appelgren, 2008), o todos los aspectos que componen dicho sistema, es decir, la organización de los recursos humanos, la eficiencia de los procesos o la disposición en planta, maquinarias y efectos sobre el medio ambiente (Martínez-Segura, 2009; Ismail y col., 2013; Balleto y col., 2015; Danielsen y Kuznetsova, 2015; Ruiz y col., 2015).

Este último enfoque, considerando todos los aspectos del sistema de producción, utiliza una metodología basada en la denominada matriz

de evaluación de canteras de áridos (mECA), a partir de la cual, se valoran aspectos técnicos, medioambientales y de seguridad y socioeconómicos.

Particularmente en Cuba, a partir del triunfo de la Revolución, se ha acrecentado la demanda de nuevas obras de construcción, de carácter social, y con ello, se ha intensificado el desarrollo de la actividad minera (Alfaro, 2003). Asociado con esta actividad, se han realizado diversas investigaciones en el país, principalmente relacionadas con diagnósticos ambientales de canteras (Milián-Milián y col., 2012; Montes-de-Oca y Ulloa-Carcassés, 2013), sin embargo, se presentan limitaciones en la industria de materiales para la construcción, relacionadas con el desarrollo tecnológico, ambiental y minero. Tales limitaciones se relacionan con la carencia de estudios científicos sobre el tema, el insuficiente registro de datos oficiales sobre el crecimiento nacional de este sector y la falta de equipamiento para realizar la minería selectiva. Este último factor ha sido reportado por Castellanos (2014) como altamente determinante en el incumplimiento de los planes de producción.

En Cuba se explotan más de 100 canteras de áridos, la mayoría de ellas se localizan en la región oriental, con producciones que ascienden a 200 000 m³. La cantera La Inagua, ubicada en el municipio Niceto Pérez, de la provincia Guantánamo, en el oriente de Cuba (Figura 1), es de gran importancia para el desarrollo socioeconómico de la región, debido al volumen de áridos que aporta a las distintas construcciones que se desarrollan. A pesar de su valor en el desarrollo social y económico, en la misma, no se ha realizado una evaluación de su desempeño, considerando las distintas variables e indicadores que intervienen en el manejo y explotación de las canteras de áridos.

El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico tecnológico de la cantera La Inagua, utilizando la mECA con la variable carga y transporte, y sus respectivos indicadores, pa-

ra evaluar sus aspectos técnico, medioambiental y de seguridad, y socioeconómico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características geológicas del área de estudio

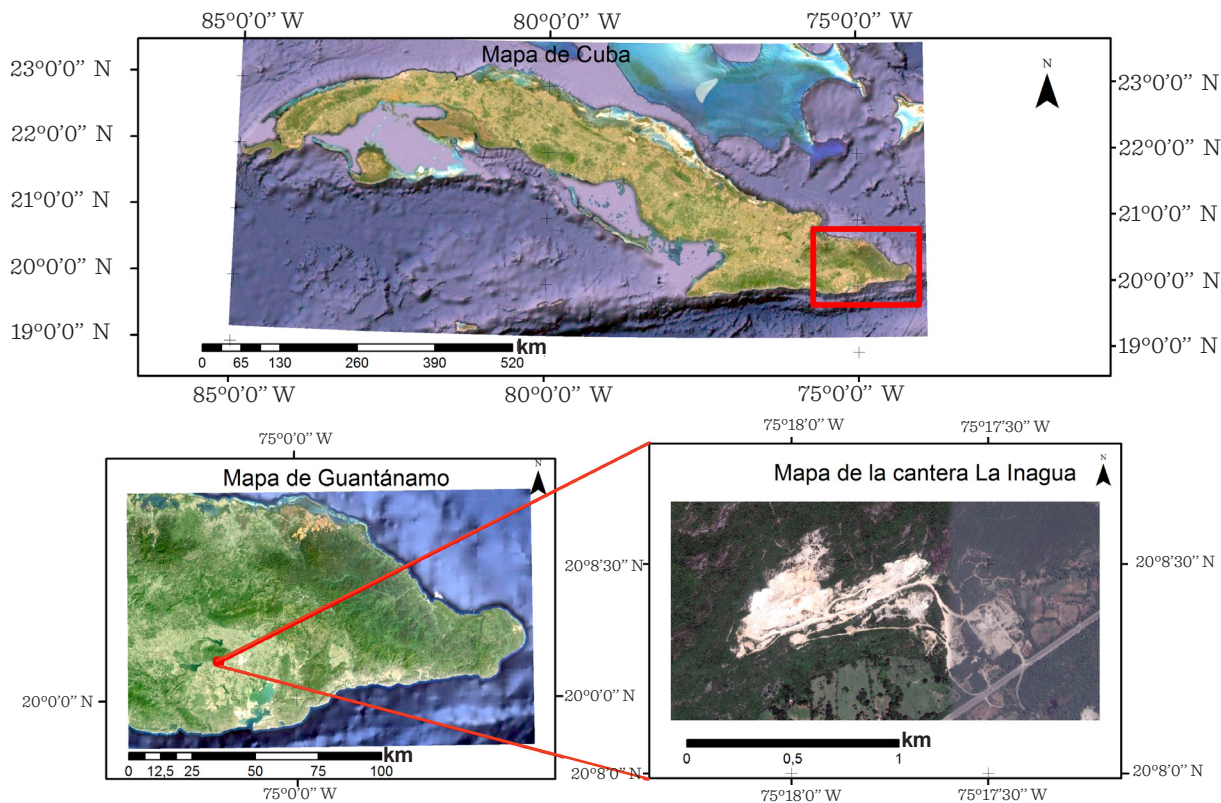
En el área de estudio, específicamente en la cantera La Inagua, afloran varias formaciones (Fm) geológicas de tipo sedimentarias (Fm. Camarones, Fm. San Luis, Fm. Charco Redondo, Fm. Puerto Boniato) (Figura 1). Estas se componen principalmente de calizas organógenas, organodetríticas y macrocristalinas, con coloración blanco-crema típica y generalmente con textura masiva.

Matriz de evaluación de canteras de áridos (mECA)

En la presente investigación se utiliza la metodología mECA, elaborada por Martínez-Segura (2009), la cual, es una herramienta que permite obtener una imagen integral del estado de una explotación de áridos, teniendo en cuenta todos los aspectos que afectan la

cantera. Se analiza el estado tecnológico y se comparan los parámetros característicos de cada explotación, con una cantera de referencia. Se considera que, para definir una explotación de una cantera o proceder a su apertura, se debe realizar un análisis de viabilidad económica, tecnológica (eficiencia y calidad), medioambiental y de seguridad y social (aceptación). La matriz utilizada (mECA) es un cuestionario elaborado para las evaluaciones de canteras, contempla 15 variables y 200 indicadores. Las 15 variables utilizadas en dicha matriz se mencionan a continuación: cantera, límites de explotación, frente de cantera, estado de las plataformas, estado de las pistas, perforación, voladura, carga y transporte, planta de tratamiento, empleo, accidentes, formación, inversión, transporte, incidentes medio ambientales.

Cada variable contiene un número de indicadores propios de la actividad minera. Para la valoración parcial del aspecto técnico de la



■ Figura 1. Ubicación geográfica de la cantera La Inagua.
Figure 1. Geographic location of the “La Inagua” quarry.

cantera, se muestra la variable frente de cantera, la cual posee 5 indicadores: altura total del frente, altura de los bancos, sistema de explotación, nivel de rehabilitación e impacto visual (Tabla 1), los cuales se registran en los proyectos de explotación (documentos legales afines con este propósito, que varían en función del país y las leyes mineras establecidas).

La cuantificación de los indicadores de cada variable se explican a continuación (Tabla 2). Inicialmente, en la subcolumna “c”, se introducen los datos recopilados en campo. La subcolumna “v”, se denomina valoración y se le confiere valores entre 0 y 5, quedando sin valor los indicadores que no tienen influencia o importancia en el aspecto analizado (en ese caso el aspecto técnico). La influencia o importancia de las variables, dentro del conjunto global de los aspectos, se identifica con la letra “i”, y se evalúa entre el 10 % a 100 %, valorando como 0 % los indicadores que no tienen influencia con el aspecto. La puntuación final del aspecto analizado se muestra en la subcolumna “p”. Esta se obtiene al multiplicar la valoración “v” por la

importancia “i”. En la última subcolumna, denominada “valor”, se muestran tres valores finales obtenidos a partir de las subcolumnas anteriores.

- Valor máximo del campo (VMCe): corresponde con la máxima puntuación que una cantera puede obtener al sumar los valores de la subcolumna “p”, y que corresponde, lógicamente, con el caso de una valoración igual a 5, en todos los aspectos susceptibles de evaluación de la columna “v”.

- Valor obtenido del campo (VCe): se consigue al sumar los valores de la subcolumna “p” para el caso concreto.

- Porcentaje (PCe): corresponde al porcentaje obtenido en la valoración VCe y lo máximo que se podría haber logrado VMCe.

Para la valoración parcial de los aspectos medioambiental y de seguridad, y socioeconómico, se sigue la misma secuencia anteriormente descrita para el aspecto técnico.

■ **Tabla 1. Descripción horizontal de la mECA.**

Table 1. Horizontal mECA description.

Variables e indicadores	Aspecto técnico					Aspecto medioambiental y de seguridad				Aspecto socioeconómico			
	c	v (0 a 5)	i (%)	p	Valor	v (0 a 5)	i (%)	p	Valor	v (0 a 5)	i (%)	p	Valor
Frente de cantera													
Altura total del frente	60		0 %	0.00									
Altura de los bancos	20	4	30 %	1.20									
Sistema de explotación	BD	4	50 %	2.00	VMCe				VMCe				VMCe
Nivel de rehabilitación	Malo		0 %	0.00	VCe				VCe				VCe
Impacto visual	Grande		0 %	0.00	PCe				PCe				PCe
				*			*				*		

■ Tabla 2. Cálculo de la mECA en la cantera La Inagua, utilizando la variable carga y transporte, y valoración final de la variable carga y transporte.

Table 2. Calculation of the mECA in “La Inagua” quarry, using the load and transport variable, and final valuation of the load and transport variable.

Indicadores	Aspecto técnico					Aspecto medioambiental y de seguridad				Aspecto socioeconómico					
	Carga y transporte	c	v (0 a 5)	i (%)	p	Valor	v (0 a 5)	i (%)	p	Valor	v (0 a 5)	i (%)	p		Valor
1	Camión +carga			0	0			0	0			0	0		
2	Si	5	80	4		5	20	1			0	0			
3	Si	5	80	4		5	20	1			0	0			
4	1200		0	0			0	0			0	0			
5	1	5	80	4			0	0			0	0			
6	1.49	5	40	2.0			0	0			0	0			
7	Si	5	40	2			0	0			0	0			
8	Si	5	50	2.5			0	0			0	0			
9	Si	5	70	3.5		5	80	4			0	0			
10	Si		0	0		5	70	3.5			0				
11	No		0	0	22*	0	50	0	13*		0	0	2.5*	37.5%****	
12	No		0	0	22**	0	20	0	9.5**		0	0	2.5**	34%*****	
13	No		0	0	100%***		0	0	73%***	5	50	2.5	100%***	91%*****	

C: Cuestionario; v(0 a 5): valoración; i: importancia; p: puntuación; valor; 1: Sistema de carga y transporte; 2: Sistema de carga es el adecuado; 3: Sistema de transporte es el adecuado; 4: Distancia del frente de la tolva del primario (m); 5: Acoplamiento carga y transporte; 6: Consumo de petróleo (l/m³); 7: Dispone de sistema de control de la carga; 8: Dispone de sistema de control de los consumos; 9: Equipos cumplen normativa vigente; 10: Sistema de apantallamiento natural; 11: Los equipos de transporte presentan sistemas para reducir o eliminar el ruido en la carga; 12: Se cubre de la carga en la cantera; 13: Se circula a través de una población.

*VMCe: Valor máximo del campo (suma de los valores de la columna p)**VCe: Valor obtenido del campo (suma de v * p)

***PCe: Porcentaje (porcentaje de lo obtenido de VCe/ VMCe)

****VMC: Valor máximo del campo obtenido de VMCe

*****VC: Valor del campo obtenido de VCe en la horizontal

*****PC: Relación porcentual entre lo obtenido y lo máximo

Para terminar el análisis de la variable considerada, se suman los valores de la evaluación de los aspectos analizados, integrándolos en uno solo, donde se indica la situación de cada variable que ha sido evaluada (Tabla 2).

•Valor máximo del campo (VMC): se consideran todos los criterios de evaluación. Se suman todos los VMCe en horizontal.

•Valor obtenido del campo (VC): es la suma de los valores obtenidos en todas las valoraciones VCe en la horizontal.

•Porcentaje entre lo obtenido y lo máximo (PC): es el resultado de dividir VC por VMC.

•El resultado final (*) corresponde a la suma de todas las puntuaciones finales (p) de los indicadores en cada aspecto.

En el proceso de cálculo hasta el resultado final de la calificación de cada uno de los aspectos evaluados, se pondera, en relación con el peso que se desea que tenga.

Con el objetivo de mantener una misma escala de información, todos los pesos asignados a los aspectos que integran las variables se consideran entre los valores de 10 y 30 (escala que se toma de forma racional, de acuerdo a los intereses del investigador), otorgándose el menor o mayor valor en dependencia de la importancia o nivel de significación que tenga.

Para obtener el índice mECA, de los aspectos evaluados (técnico, medio ambiental y de seguridad y socioeconómico), se tienen en cuenta los siguientes índices:

Índice específico: se obtiene al sumar la puntuación final de cada uno de los aspectos y representa el 100 %. Después de obtenido dicho valor se determina el porcentaje que representa este del 100 %.

Índice global: es el resultado de multiplicar la importancia de cada ponderador por el índice específico (ecuación 1).

Para obtener los valores de ponderación no se confiere la misma importancia a cada conjunto de criterios, por lo que, cada circunstancia de evaluación puede aconsejar un cambio de dichos ponderadores, lo que puede ocurrir si se cambia de zona o país de aplicación. Posteriormente, se suman todos los índices globales, obteniendo valores entre 0 % y 100 % para el índice mECA. El 100 % corresponde a una explotación que cumple con todos los criterios establecidos por Martínez-Segura (2009), es decir, con todos los criterios técnicos, medioambientales y de seguridad, y socioeconómicos. Considerando las particularidades de la cantera estudiada, se decidió establecer varios rangos para clasificar la explotación de la misma. Estos son: 91 % a 100 % (Excelente), 70 % a 90 % (Muy Bien), 50 % a 69 % (Bien), 21 % a 49 % (Regular) y 0 % a 20 % (Mal).

$$\text{índice mECA} = \varphi_1 \times \sum itec + \varphi_2 \times \sum (iamb + iseg) + \varphi_3 \times \sum isoe \quad (1)$$

Donde:

φ_1 : Índice global aspecto técnico

$itec$: Índice técnico

φ_2 : Índice global aspecto medioambiental-seguridad

$iamb$: Índice ambiental

$iseg$: Índice seguridad

φ_3 : Índice global aspecto socioeconómico

$isoe$: Índice socioeconómico

La secuencia que se ha seguido, hasta obtener los resultados globales (índice mECA), ubicará la cantera analizada en relación con una explotación que utiliza todos los medios conocidos para eliminar riesgos laborales, y que además emplea técnicas apropiadas para mitigar los impactos medioambientales. Desde el punto de los tres aspectos, el resultado obtenido debe conducir a la evaluación de la cantera, relacionado con la existencia de métodos adecuados de explotación y consumos, en función de las normas generales y un adecuado uso de la energía (Martínez-Segura, 2009).

Cálculo de la mECA para la cantera La Inagua

Para el cálculo de la mECA, se utilizaron los datos obtenidos de la empresa y de la cantera, a través del cuestionario aplicado y de los informes de la empresa, y se analizaron cada uno por separado. A partir de las características particulares de la cantera La Inagua y la disponibilidad de información, se seleccionó una sola variable, es decir, carga y transporte, y sus 13 indicadores (Columna 1: Tabla 2), empleados para la evaluación de los tres aspectos (técnico, medioambiental y de seguridad, y socioeconómico) durante el diagnóstico tecnológico de la cantera.

En el aspecto técnico, se utilizaron los datos sobre maquinarias, las voladuras y la geometría de la explotación de la cantera. Se tomaron datos de las fragmentaciones resultantes de las voladuras que inciden sobre la proporción de piedras sobre medidas y los ciclos de trabajo, según la disposición de las diferentes zonas de la cantera y planta. También se tuvieron en cuenta las capacidades de producción que permiten los equipos de carga y transporte de que

se dispone, así como los consumos energéticos y el costo por metro cúbico del procesamiento de la materia prima.

En el aspecto medioambiental y de seguridad, se tomaron los datos de los informes de la cantera y se comprobó la existencia de medidas encaminadas a eliminar o reducir los impactos ambientales, ruido, polvo y visual, así como, la correcta gestión del agua y la existencia y señalización de peligros en zonas de presencia de trabajadores.

En el aspecto socioeconómico, se analizó el número medio de empleos directos e indirectos y se realizó una valoración de los impactos y de los índices técnicos que se miden en la cantera.

Considerando los aspectos antes descritos, el diagnóstico tecnológico sólo se aplicó de forma parcial, tomando como muestra la variable carga y transporte con todos los indicadores que corresponden a la variable (13) precisando el cálculo del índice mECA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los aspectos que intervienen en el diagnóstico tecnológico de la cantera La Inagua

Aspecto técnico

La cantera La Inagua cuenta con máquinas de extracción, carga y transporte, así como planta de tratamiento. Cada uno de estos equipos posee los datos necesarios para operar, los cuales están reflejados en los catálogos obtenidos en la empresa. En estos se describen los modelos, marcas y capacidad de los equipos.

El parque de máquinas está constituido por equipos que realizan las distintas etapas de la actividad minera que se describen a continuación: un buldócer de marca China-Hubei, serie (TY-220, China), para desbroce y acarreo, un Volvo (Liu-Gong, China) de 4.2 m³ de capacidad para carga y un Belaz ruso (7540-B) de 20 m³ de capacidad y dos Kp3 (256) rusos de 8 m³ de capacidad para transporte.

La cantera trabaja con equipos mineros y de transporte, que operan con motores de com-

bustión interna. Cuenta además con un taller de mantenimiento automotor e industrial que brinda servicios de mantenimiento y reparaciones ligeras, tanto a los equipos móviles como a los fijos. El nivel de mantenimiento de los equipos es regular.

La planta de tratamiento y clasificación cuenta con tres etapas de reducción de tamaño de la materia prima y obtiene cuatro tipos de productos: grava de 19 mm a 10 mm; granito de 10 mm a 5 mm; arena de 5 mm a 0.15 mm y polvo de piedra. Cuenta, además con los siguientes equipos: una trituradora de mandíbula (MSN-1070) de fabricación China, un alimentador vibratorio (VFG - 4216) portugués, dos trituradores de martillo (PF1210) chinos, dos cribas vibratorias Chinas (CVN- 300 y CVN - 600, respectivamente) y un hidrociclón (EV - 33) fabricado por Xinhai, China.

El laboreo del yacimiento se realiza a través del sistema de explotación banqueo descendente, y la altura total aproximada de los frentes es de 36 m.

Debido a la dureza de la roca y considerando el poco desarrollo tecnológico de la cantera, el método de arranque que se emplea es perforación y voladura, con equipos de tecnología atrasada, lo que suele resultar en bajo aprovechamiento de los yacimientos (Posada y Sepúlveda, 2013). Las fragmentaciones resultantes que se obtienen de las voladuras tienen aproximadamente un 8 % de piedra sobre medida, siendo lo establecido hasta un 10 % (Egorov y col., 2000). El material se extrae con la granulometría primaria, obtenida de los trabajos de voladura que se realizan a través de servicios contratados a la Empresa de Servicios Minero Geológico (EXPLOMAT). Estos utilizan una voladura con diámetro de broca igual a 115 mm.

Los parámetros utilizados en la voladura son los siguientes: el consumo específico de explosivos es de 0.49 kg/m³; se utilizan como promedio 50 taladros por cada voladura, se perforan con una inclinación de 75° y la red

de barrenación es de $4.5\text{m} \times 2\text{m} = 9 \text{ m}^2$. La sustancia explosiva que se utiliza en la carga es Fortel™, Tempus™, Amex™, Senatel™ Magnafrac™ y el sistema de iniciación utilizado es un detonador eléctrico, conectado al sistema nonel.

El desbroce y acarreo de las rocas voladas se realiza mediante el trabajo con buldócer Komatsu; para la carga, tanto de estéril como de mineral, se utiliza un cargador Liu-gong con 4.2 m^3 de capacidad en el cubo; mientras que la transportación se realiza con camiones Belaz y Kp3.

La distancia entre el frente de cantera y la planta de procesamiento es de 1 200 m, y guarda estrecha relación con el consumo de combustible de los equipos, que es de 0.25 l/m^3 en un turno de trabajo de 8 h.

La planta de tratamiento en su primera etapa utiliza un triturador de mandíbula, mientras que en la segunda y la tercera etapa se emplean trituradores de martillo. Posteriormente, se clasifica la materia prima adecuada.

En la primera etapa del proceso de cribado se utiliza una criba de barrote que separa el estéril del rajón, mientras que en la segunda y la tercera etapa, el proceso se realiza con cribas vibratorias.

El consumo energético es de $2.59 \text{ kW/h}\cdot\text{m}^3$ de piedra y el costo por metro cúbico del procesamiento de la materia prima es $0.81 \text{ \$/m}^3$ (pesos cubanos). La planta trabaja sobre la base de 8 h/d, con periodo de mantenimiento cada 12 d (Tabla 3).

Aspecto medioambiental y de seguridad

Las alteraciones ambientales producidas en el yacimiento, por la extracción y procesamiento de la materia prima, fueron similares a las ocasionadas por otro tipo de minería a cielo abierto, las cuales, cuando no usan tecnología moderna presentan una mínima gestión en materia ambiental (Posada y Sepúlveda, 2013), aunque en este caso, los volúmenes de estériles

■ **Tabla 3. Índices técnico-económicos de explotación y producción de la cantera La Inagua.**
 Table 3. Technical-economic indexes of exploitation and production of “La Inagua” quarry.

Nº	Índices técnicos	U/M	Valor
1	Índice de consumo combustible	l/m^3	0.25
2	Índice de consumo eléctrico	$\text{kW/h}\cdot\text{m}^3$	2.59
3	Índice de consumo de explosivo	kg/m^3	0.49
4	Número de trabajadores	u	44
5	Costo por metro cúbico	$\text{\$/m}^3$	0.81
6	Valor anual de producción	\$	3 608 821.74
7	Producción total	m^3/mes	500
8	Recuperación en planta	%	98
9	Pérdidas	%	2
10	Dilución	%	3
11	Costo de producción	\$	2 445 674
12	Red de barrenación	m^2	$4.5 \times 2 = 9$
13	Altura del escalón	m	18
14	Capacidad anual de planta	$\text{m}^3/\text{año}$	150 000

\$ peso cubano convertible (1 peso = 1.00 USA Dólares)

generados fueron pequeños, y la mayoría de ellos eran comercializados como material de relleno en diferentes tipos de construcciones; en este sentido, Quintero y col. (2017) señalaron que las empresas mineras están buscando mejorar su imagen e impactar menos al medio ambiente y utilizar al máximo sus subproductos.

Entre los impactos ambientales que se tomaron en cuenta para el análisis de este estudio (impacto visual, el ruido, el polvo y la gestión del agua y residuos) se produjo una disminución del atractivo paisajístico por modificaciones a las características visuales y a la morfología del paisaje (Montiel y Villarreal, 2004). Los principales impactos a la atmósfera fueron los provocados por el incremento en el nivel de ruido en las actividades mineras y la disminución de la calidad atmosférica por emisiones de gases, polvo y partículas, que

frecuentemente se producen en actividades mineras (Gallardo-Martínez y col., 2013).

Como medidas correctivas encaminadas a la reducción de los impactos generados por los equipos móviles, se lleva a cabo la utilización de cordón detonante, para reducir la onda aérea y cumplir con lo establecido en el pasaporte de barrenación y voladura. También se incluía mejorar las vías de acceso dentro del área de la instalación industrial, proporcionar un mantenimiento correcto de la maquinaria para lograr su funcionamiento adecuado y cumplir con el régimen de velocidad para los vehículos.

En la planta de procesamiento y clasificación, el análisis giró en torno a las áreas que generan polvo y ruido. Como medidas de seguridad, se realizan entregas de medios de protección individual a los operarios.

En cuanto al agua utilizada para el lavado en la planta de procesamiento, esta es recirculada y aprovechada nuevamente en el proceso, actividad básica para evitar un alto impacto ambiental (Torres y col., 2012), lo que garantiza un aprovechamiento máximo del agua de hasta el 90 %. Además, el centro cuenta con un sistema de tratamiento de residuales y recirculación de las aguas muy eficiente, que sigue los lineamientos básicos para la implementación de este tipo de plantas, según lo describe Nolasco (2010).

En relación con la valoración de la seguridad, la empresa de Materiales de Construcción de Guantánamo, a la cual pertenece la cantera objeto de estudio, cuenta con proyectos que muestran medidas encaminadas a mejorar la gestión en el área de seguridad, salud y medio ambiente en el trabajo. Además, considerando que la premisa fundamental en una empresa es el hombre, su integridad física, bienestar y el ambiente que le rodea, se ofrecen conferencias a dirigentes y trabajadores, fundamentadas en la instrucción sobre el uso de los equipos y la vinculación de estos en la prevención de los accidentes y enfermedades.

En esta cantera no se registraron accidentes en el periodo de un año y los sistemas de señalización de las vías de circulación ubicadas dentro de la explotación, se evaluaron de bien; de la misma manera se evalúa el estado de las instalaciones de la planta de procesamiento y la utilización de medios de protección.

En el caso de las instalaciones eléctricas se comprobó que cuenta con protecciones colocadas según las necesidades y que todas las pizarras de distribución general tienen protecciones termo magnéticas contra sobrecarga y corto circuito, aunque están en mal estado.

Aspecto socioeconómico

La cantera La Inagua cuenta con 44 trabajadores, de los cuales, un 66 % se encuentra directo a la producción, siendo uno de ellos ingeniero de minas. Estos trabajadores obtienen una producción anual de 150 000 m³. En sus registros de índices técnicos medidos, se encontraron valores que muestran que hay ganancias en el valor anual de producción, respecto al año anterior, en más de 1 millón de pesos cubanos (Tabla 3), lo cual indica que es una empresa rentable, con niveles de consumo de energía y combustible aceptables.

Cálculo de la mECA para la cantera La Inagua

Para el cálculo de la mECA se utilizaron los datos obtenidos en la empresa y en la cantera, y se analizaron cada uno por separado.

Se obtuvo la incidencia de 7 indicadores en el aspecto técnico, los cuales fueron evaluados con cinco puntos (subcolumna “v”); en cuanto al medioambiental y de seguridad, cuatro obtuvieron 5 puntos y 2 cero; y en cuanto al socioeconómico, sólo 1 obtuvo 5. Los 7 indicadores valorados en cuanto a la influencia (la subcolumna “i”), tienen una importancia entre 40 % y 80 %. Se dejaron en cero los que no tienen influencia (Tabla 2). Las celdas vacías en la tabla referida, significa que no se tomaron en cuenta dentro del sistema de puntuación, por lo que no representan un valor numérico, tal es el caso del indicador 4, que solo se recoge en el campo de cuestionario, pero no incide con el

resto de los aspectos. Sin embargo, es necesario tenerlo en consideración para la evaluación. Solo 12 de los 13 indicadores muestran resultados, ello se relaciona a que inciden directamente en la variable analizada, es decir, son los que hacen posible el análisis de manera auditable. En el caso de las celdas que no cuentan con valores, se argumenta que no representan fortaleza en la productividad de la cantera.

Diagnóstico tecnológico de la cantera La Inagua

El primer resultado parcial, para la variable carga y transporte, alcanzó un valor de 100 % en el aspecto técnico; de 73 % para el medioambiental y de seguridad; y de 100 % para el socioeconómico (Tabla 2).

El valor final del recorrido horizontal fue de 91 %, el cual se obtuvo de la suma de la evaluación de los tres aspectos analizados, integrándolos en uno solo; e indica la situación de la variable que ha sido evaluada (Tabla 2). El valor alcanzado permitió establecer que, debido a las características de la cantera y a las condiciones del país, la variable carga y transporte se encuentra sobre la media, comparada con los valores óptimos (100 %) de una explotación (Martínez-Segura, 2009).

El resultado de la variable y sus indicadores se comparó con la data de casos de estudios establecidas por Martínez-Segura (2009), en la que la media (50 % a 20 %), tiene semejanzas con la cantera objeto de estudio. Según los rangos establecidos (0 % al 100 %); el 100 % es aquel que cumple con todos los aspectos.

La situación desde el punto de vista técnico de los equipos fue regular. Este resultado se relaciona con el inadecuado cumplimiento de la variable y los indicadores evaluados. Es decir, debido al bajo nivel técnico y de control que posee la cantera, sus equipos no cumplen en su totalidad con las normas establecidas.

Los resultados de la valoración medio ambiental y de seguridad son evaluados de regular,

en esto incide de manera directa el incumplimiento parcial del plan de manejo ambiental establecido, teniendo en cuenta que el nivel de rehabilitación obtenido hasta la fecha no es apropiado, debido a la falta de sistemas de reducción y eliminación de polvo y ruido en la planta de trituración. Estos indicadores están por encima (90 dB) de los niveles permisibles de la Norma Cubana (65 dB) (NC 18-64: 1986). También existen otras insuficiencias, como la falta de medios de protección individual.

Los resultados de la valoración socioeconómica son insignificantes, debido fundamentalmente a la inexistencia de inversión en la cantera; estas no producen con fines lucrativos, sino sólo lo que planifica la empresa, y el beneficio se utiliza en las inversiones sociales. Sin embargo, tampoco existen accidentes mortales e incidentes medioambientales que afecten a los trabajadores y a la población.

Tal como expone Martínez-Segura (2009), los pesos asignados a los aspectos que integran los criterios fueron considerados entre los valores de 20 y 30. Se otorga el menor o mayor valor en dependencia de la importancia o nivel de significación. Los valores escogidos para la ponderación, en el caso de estudio, están en correspondencia con las condiciones del país, así como con las regulaciones y exigencias medioambientales.

Se tomaron para cada aspecto los valores de ponderación que se muestran en la Figura 2.

Se obtuvo un índice mECA de 43.6 % (Tabla 4), a partir de la ecuación (1). Este valor permite aproximarse a la realidad de la situación global de la cantera analizada y se evalúa entre 0 % a 100 %, en el que el 100 % es aquel que cumple con todos los aspectos. El resultado obtenido está por debajo del 50 %, que es la media, lo que permite evaluar la cantera objeto de estudio de regular. También se exponen, en la Tabla 4, los índices específicos y globales, así como los ponderadores de los aspectos evaluados de la cantera La Inagua, en concordancia con la Figura 2.



Fuente: Modificado a partir de Martínez-Segura (2009).

■ **Figura 2. Importancia de los aspectos de evaluación a partir del análisis de la matriz (mECA).**
 Figure 2. Importance of evaluation aspects obtained from the matrix analysis (mECA).

De acuerdo a los resultados de este estudio, se recomienda aplicar la matriz de evaluación de canteras de áridos (mECA), y agregar la matriz DAFO (debilidades, amenazas externas, fortalezas internas y oportunidades) (Minguez-Alcá-

de, 2015), tanto en el sector de los áridos en Cuba, como en cualquier explotación a cielo abierto, aportando nuevos indicadores según las características de cada cantera y de cada empresa.

■ **Tabla 4. Resultado final (índice mECA) de la cantera La Inagua.**
 Table 4. Final result (mECA index) of “La Inagua” quarry.

Aspectos	Ponderadores	Índices específicos	Índices globales	
Técnico	20 %	35 %	7 %	ÍNDICE mECA
Medioambiental y de seguridad	60 %	59 %	35.4 %	
Socioeconómico	20 %	6 %	1.2 %	
				43.6 %

CONCLUSIONES

El diagnóstico de la cantera La Inagua, utilizando la variable carga y descarga, así como sus indicadores, indicó que el estado tecnológico de esta cantera puede ser catalogado como regular, de acuerdo a un valor de 35 %, obtenido en el aspecto técnico. El valor de 59 %, alcanzado en el aspecto medioambiental y de

seguridad, reflejó deficiencias en el empleo de técnicas adecuadas para mitigar los impactos medioambientales, así como insuficiencia de medios de seguridad individual. La inexistencia de inversiones en la cantera se mostró a partir del valor de 6 %, derivado del aspecto socioeconómico. El índice final de la mECA registró un valor de 43.6 %, indicando que de

forma general, el desempeño de la cantera se puede evaluar de regular. Los resultados de este estudio sugieren la aplicación de la matriz de evaluación de canteras de áridos (mECA), no solo en Cuba, en cualquier explotación a cielo abierto, aportando nuevos indicadores según las características de cada cantera y de

cada empresa. Además, sería conveniente continuar esta investigación con la aplicación de la matriz DAFO (debilidades, amenazas externas, fortalezas internas y oportunidades), para determinar las estrategias que permitan a la cantera mejorar su índice mECA.

REFERENCIAS

- Ahmed, P. K. and Rafiq, M. (1998). Integrated benchmarking: a holistic examination of select techniques for benchmarking analysis. *Benchmarking for Quality Management and Technology*. 5(3): 225-242.
- Alfaro, J. (2003). Materiales utilizados como áridos. [En línea]. Disponible en: <http://www.slideshare.net>. Fecha de consulta: 3 de marzo de 2010.
- Appelgren, J. (2008). En un estándar industrial. *Mining & Construction*. 2: 24-25.
- Balletto, G., Mei, G., and Garau, Ch. (2015). Relationship between quarry activity and municipal spatial planning: a possible mediation for the case of Sardinia, Italy. *Sustainability*. 7(12): 16148-16163.
- Barbachi, M., Imad, A., Jeffali, F., Boudjellal, K., and Bouabaz, M. (2017). Physical characterization of sea shell for a concrete formulation. *Journal of materials and Environmental Sciences*. 8(1): 332-337.
- Castellanos M., Yosel (2014). Acercar cada vez más la producción a la demanda. [En línea]. Disponible en: <http://www.granma.cu/cuba/2014-06-30/acercar-cada-vez-mas-la-produccion-a-la-demanda>. Fecha de consulta: 13 de junio de 2018.
- Chiemela, Ch., Walter, I. E., Ogedi, I, Peter, O., and Mong, E. (2014). Comparing the compressive strengths of concrete made with river sand and quarry dust as fine aggregates. *International Journal of Recent Research and Applied Studies*. 15(2): 179-189.
- Danielsen, S. W. and Kuznetsova, E. (2015). Environmental Impact and Sustainability in Aggregate Production and Use. In G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, and F. Luino (Eds.), *Engineering Geology for Society and Territory* (pp. 41-44). Springer, Cham. Springer International Publishing Switzerland.
- Dellero, H. and El Kharim, Y. (2013). Rockfall hazard in an old abandoned aggregate quarry in the city of Tetouan, Morocco. *International Journal of Geoscience*. 4(8): 1228-1232.
- Egorov, P. V., Bober, E. A., Kustnietsov, Y. N., Kosminov, E. A., Reshemov, C. E. y Krasiuk, N. N. (2000). *Fundamentos de Minería*. Editorial de la Universidad Estatal de Minas de Moscú. 408 Pp.
- Farhana, S., Bhumika, P., Jayesh, P., and Pitroda, J. (2013). A study on utilization aspects of stone chips as an aggregate replacement in concrete in Indian context. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 4(8): 3500-3505.
- Ganiron, T. U. (2015). Recycling concrete debris from construction and demolition waste. *International Journal and Advance Science and Technology*. 77: 7-24.
- Garzón-Gaitán, C. A. (2002). Auditorías tecnológicas. *Ingeniería e investigación*. 50: 30-35.
- Gallardo-Martínez, D., Cabrera-Díaz, I., Bruguera-Amaran, N. y Madrazo-Escalona, F. (2013). Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río. *Rev. Av*. 15(1): 94-108.
- Ismail, S., Hoe, K. W., and Ramli, M. (2013). Sustainable aggregates: The potential and challenge for natural resources conservation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 101(8): 100-109.
- Lad, R. J. and Samant, J. S. (2014). Environmental and social impacts of stone quarrying- A case study of Kolhapur District. *International Journal of Current Research*. 6(63): 5664-5669.
- Martínez-Segura, M. A. (2009). Diagnóstico tecnológico del sector de los áridos y su aplicación a la región de Murcia, en *Tesis doctoral*. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upct.es>. Fecha de consulta: Fecha de consulta: 1 de mayo de 2017.
- Minguez-Alcaide, X. (2015). Métodos de diálogo con grandes grupos: herramientas para afrontar la complejidad. *Revista de Estudios Sociales*. 51: 186-197.
- Milián-Milián, E., Ulloa-Carcassés, M. y Jornada-Krebs, A. S. (2012). Evaluación minero ambiental del yacimiento polimetálico, Santa Lucía de Pinar del Río, Cuba. *Revista Geología Minería*. 28(3): 68-75.

Montes-de-Oca-Risco, A. y Ulloa-Carcassés, M. (2013). Recuperación de áreas dañadas por la minería en la Cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Revista Luna Azul*. 37: 74-88.

Montiel, K. y Villarreal, L. M. (2004). Análisis multitemporal del impacto generado por la explotación minera en el medio geomorfológico de la isla de toas, estado zulia. *Terra Nueva Etapa*. 20(29): 55-71.

Nolasco, D. A. (2010). Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales, en *Banco Interamericano de Desarrollo, nota técnica 116*. [En línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5506/Desarrollo%20de%20proyectos%20MDL%20en%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2018.

NC 18-64: 1986 (1986). Transporte público y de mercancías. Ruido emitido por los vehículos. Método de ensayo. [En línea]. Disponible en: <http://noise-control.radical-management.com/2012/05/ruido-normativa-y-legislacion-en-cuba.html>. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2018.

Posada, V. V. y Sepúlveda, G. F. (2013). Diagnóstico minero y económico del departamento de Antioquia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. (33): 125-134.

Quintero, E. C., Bayona, A. G. G., Lopez, M. Á. H. y Paez, M. L. V. (2017). Manejo estratégico de la producción de residuos estériles de minería sustentable, utilizando prácticas mineras eco-eficientes en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 8(2): 107-118.

Ruiz, M. P., Gauthier, P. M., Niño, L. L., and Acevedo, P. A. (2015). Environmental assessment of the mineral extraction and non-renewable energy due to dense graded hot mix and warm mix asphalts processes. *Chemical Engineering Transactions*. 43: 2197-2202.

Shinn, T. (1982). Scientific disciplines and organizational specificity: the social and cognitive configuration of laboratory activities. In N. Elias, H. Martins, and R. Whitley (Eds.), *Scientific Establishments and Hierarchies* (pp. 239-264). Dordrecht, Reidel: Publishing Co. Springer Netherlands.

Sulymon, N., Ofuyatan, O., Adeye, O., Olawale, S., Busari, A., Bamigboye, G., and Jolayemi, J. (2017). Engineering properties of concrete made from gravels obtained in Southwestern Nigeria. *Cogent Engineering*. 4(1): 1-11.

Torres, P., Hernández, D. y Paredes, D. (2012).

Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista ingeniería de construcción*. 27(3): 145-154.

Trigueros, E. (2006). “Estudio de los parámetros de viabilidad de las canteras subterráneas de mármol”. Fabricación de Áridos en la Región de Murcia. Estrategias y Desarrollo, en *Jornada Técnica*. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10317/1971>. Fecha de consulta: 6 de enero de 2017.

Zongjin, L. (2014). Lecture note on Construction materials –Aggregate. [En línea]. Disponible en: <http://www.readbag.com/teaching-ust-hk-civ111-chapter3>. Fecha de consulta: 28 de mayo de 2017.