

Efecto de la aplicación de un procedimiento de rehabilitación minera con enfoque socioambiental y económico en Moa, Cuba

Effect of mining rehabilitation with an economic and socio-environmental approach in Moa, Cuba

Yordanis Torres-Batista^{1*}, Roberto Guillermo Rodríguez-Córdova², Clara Luz Reynaldo-Argüelles¹, Mariolis Rodríguez-Cabrera¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba

²Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

*Autor para la correspondencia: ytbatista@ismm.edu.cu

Resumen

La rehabilitación minera es indispensable en todo proyecto minero sostenible. Este trabajo tuvo el objetivo de evaluar la aplicación de un procedimiento de rehabilitación minera que contempla las dimensiones económica, social y ambiental en explotaciones a cielo abierto de yacimientos de corteza de meteorización laterítica de Moa. Para ello se compararon los resultados de los indicadores del nuevo procedimiento (año 2020) con los resultados anteriores a la introducción de este. Se obtuvo que la eficiencia económica del proceso de rehabilitación minera fue de un 74,82% en el 2019 contra una eficiencia de 100% en el 2020; los gastos en la corrección de cárcavas se redujeron en 191 913,86 pesos y se consiguió un ahorro de 36 000,89 CUC en el proceso de intercalamiento de la casuarina con otras especies (guayaba y marañón).

Palabras clave: rehabilitación minera; minería sostenible; valoración económica; yacimiento laterítico; degradación de ecosistemas.

Abstract

Mining rehabilitation is essential in any sustainable mining project. This study was aimed at evaluating the application of a mining rehabilitation procedure that considers the social, economic, and environmental dimensions in open-pit mining of lateritic weathering crust deposits in Moa. For this purpose

results of indicators of the new procedure in 2020 and results prior to the implementation of such procedure were compared. It was obtained that the economic efficiency of mining rehabilitation process was 74.82% in 2019 in contrast to 2020 where the efficiency was 100%; expenses in gullies correction were reduced by 191,913.86 pesos and a saving of 36,000.89 CUC was achieved in the process of intercropping the casuarina tree with other species (guava and cashew).

Keywords: mining rehabilitation; sustainable mining; economic valuation; lateritic deposits; degradation of ecosystems.

1. INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto se caracteriza por la remoción de la capa vegetal, extracción de los niveles meteorizados o estériles y la extracción de los minerales o rocas aprovechables. Es por esto, que la explotación de los yacimientos de cortezas de intemperismo laterítico en Moa provoca grandes degradaciones al medio ambiente: medio físico (geología, geomorfología, hidrología, suelos, clima, aire), abióticos (agua, aire, temperatura, atmósfera, entre otros), lo biótico (flora y fauna, paisajes relaciones ecológicas) y el medio socioeconómico.

Según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), en los últimos siete años en Moa se contabiliza un total 9 450, 49 hectáreas de terreno explotado. La desproporción entre la tasa de explotación y la tasa de rehabilitación ha provocado la acumulación progresiva de 776, 91 h de terreno minado que se convirtieron en pasivos ambientales (Palacios-Castillo 2018).

Las empresas deben responsabilizarse de lograr la rehabilitación efectiva del medio ambiente, mediante metodologías, proyectos, guías o procedimientos que minimicen los impactos negativos provocados por la actividad económica que desarrollan, por lo que se deberán tener en cuenta las dimensiones económica, social y ambiental en cada área objeto de estudio para lograr una minería sostenible.

Históricamente en Moa se han desarrollado acciones para lograr regenerar los ecosistemas después de la explotación minera, aunque sin un estudio previo del valor económico que representa la afectación antes de iniciarse el proceso de extracción.

Serrada Hierro, 2000 plantea que:

“rehabilitación es el procedimiento utilizado para subsanar los efectos de la explotación minera. Sus objetivos a largo plazo pueden variar y abarcar desde la simple transformación de la zona para lograr un lugar estable y seguro, hasta el restablecimiento de la condición original, lo más semejante a la situación previa a la explotación minera, con todos los valores ambientales intactos”

Marín Marín (2012) expone que:

“la rehabilitación no busca llegar al estado original, se enfoca en el restablecimiento parcial de elementos estructurales o funcionales del ecosistema deteriorado, así como de la productividad y los servicios ambientales que provee el ecosistema, a través de la aplicación de técnicas”

Matos (2004), afirma que:

“la rehabilitación es hacer que un ecosistema degradado vuelva a un estado no degradado aunque sea diferente al original, aunque esta técnica admite la utilización de especies diferentes a las nativas, es necesario restablecer un ecosistema que contenga la biodiversidad suficiente para continuar su maduración mediante procesos naturales”

Urbino Rodríguez *et al.* (2019) refieren que

“la rehabilitación es el proceso de restablecimiento de un ecosistema cuando ha sido destruido o devastado por diferentes disturbios extremos, donde se restablece el relieve, la hidrología y el suelo, y se desarrolla de forma espontánea o asistida por el hombre la diversidad de especies de la flora y la fauna y se recuperan los procesos ecológicos vitales, de tal forma que el ecosistema resultante sea capaz de autosostenerse”

Para la presente investigación se asume la definición de rehabilitación minera expuesta por Urbino Rodríguez *et al.* (2019) que incluye de forma clara los bienes y servicios que deben ser asistidos para lograr recuperar los procesos ecológicos vitales y que el ecosistema sea capaz de autosostenerse.

Por mucho tiempo en Moa se tuvo en cuenta la dimensión ambiental, que solo incluía la reforestación, sin incluir las dimensiones social y económica. Es por esto que surge la necesidad de diseñar un procedimiento que incluya estas dimensiones.

Toda vez que las empresas niquelíferas tienen en sus prioridades la rehabilitación desde un enfoque sostenible, se elaboró y aprobó un procedimiento con este enfoque (Torres-Batista, Rodríguez-Córdova y Reynaldo Argüelles 2019) bajo el cual se equilibran las dimensiones que incluyen los tres ámbitos, atendiendo a que la sociedad, el medio ambiente y la economía están entrelazados (UNESCO 2012).

En el presente estudio se expone el resultado de la aplicación del procedimiento de gestión socioambiental y económica para la rehabilitación minera en el yacimiento Camarioca Este, perteneciente a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, en Moa, Cuba. Se escoge este yacimiento por estar ubicado en la cercanía del río Cayo Guam y colindar con la zona de amortiguamiento del parque Humboldt, el cual presenta altos valores paisajísticos y ecológicos, por lo que es considerado Patrimonio de la Humanidad.

1.1 Caracterización de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

La empresa ECG se ubica en el macizo montañoso Moa-Baracoa, a cinco kilómetros de la ciudad de Moa, a 177 km de la ciudad de Holguín y a unos 950 km de la capital del país (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Su actividad fundamental es la producción y comercialización de níquel y cobalto, así como otros productos afines e inherentes al proceso minero, según la Resolución 856/2013 del Ministerio de Economía y Planificación (MEP).

En la unidad minera, los yacimientos se localizan próximos a la superficie y se extraen en minas a cielo abierto. Cuenta con cuatro yacimientos: Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Sur y Camarioca Este. El proceso de explotación se realiza a partir de la extracción de toda la altura de la capa vegetal mediante el desbroce con el uso de buldócer, el destape y la extracción del mineral con la utilización de dragalinas y retroexcavadoras.

Por la variante tradicional una vez concluido el proceso de extracción se procede a la rehabilitación minera mediante la conformación y preparación

técnica del terreno, donde se consideran parámetros técnicos: modelar la superficie del terreno, depositar los escombros en las zonas a rehabilitar y aprovechar los espacios minados como depósitos de agua. Para la rehabilitación biológica se realiza la selección de las especies y se establece el marco de siembra y mejora edáfica del suelo.

2. METODOLOGÍA

Se realizó la valoración económica de las áreas minadas en el año 2020 en los tres momentos (antes, durante y después) del proceso minero. Se evaluaron los indicadores contenidos en el nuevo procedimiento en el yacimiento Camarioca Este; los bienes y servicios ecosistémicos evaluados fueron:

- la madera, de acuerdo con la Resolución 372/2009 donde se establecen precios mayoristas máximos y sus componentes en pesos convertibles para los tipos de madera aserrada;
- la fauna de acuerdo a los precios establecidos de oferta y demanda de los municipios de Gibara, Holguín y Rafael Freyre en la provincia de Holguín, en correspondencia con los establecidos por la tienda Tritón Reptiles (<http://www.tritonreptiles.com>), Madrid, España, y en la web de venta de conchas Shell Auction. (<http://www.shellauction.net>);
- Para el análisis del CO₂ se tuvo en cuenta los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agroforestales (INAF) del Ministerio de la Agricultura de Cuba, en suelos forestales con características similares a las del yacimiento;
- la salud, se evaluó de acuerdo con los costos del sistema de salud en cuanto a medicinas, personal y materiales para atender un paciente con problemas respiratorios y
- el agua se valoró en correspondencia al cálculo del escurrimiento de las aguas superficiales establecidos por el Departamento de Recursos Hidráulicos del municipio de Moa.

Una vez obtenida la información se tabularon y se compararon los resultados del año 2019, en el que no se aplicó el procedimiento, contra el año 2020 donde se aplica este, a fin de visualizar los beneficios de la aplicación del nuevo procedimiento. Para la recolección de la información se aplicaron los métodos de observación directa, entrevistas no estandarizadas a trabajadores, pobladores y expertos, así como las encuestas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 2 y 3 grafican la valoración económica de los bienes y servicios ecosistémicos perteneciente al yacimiento Camarioca Este en los tres momentos evaluados: antes del proceso de explotación minera, en el cual el yacimiento cuenta con un valor total de \$ 6 965 374,6 CUP en bienes y servicios ecosistémicos de uso directo que tienen presencia en el mercado como la madera, la fauna, el carbono, el agua y la salud humana. Una vez producida la extracción minera presenta un nivel de afectaciones de \$ 6 996 866,8 CUP y al aplicarse el plan de rehabilitación minera para el año se alcanza recuperar un total \$ 8 905,1 CUP.

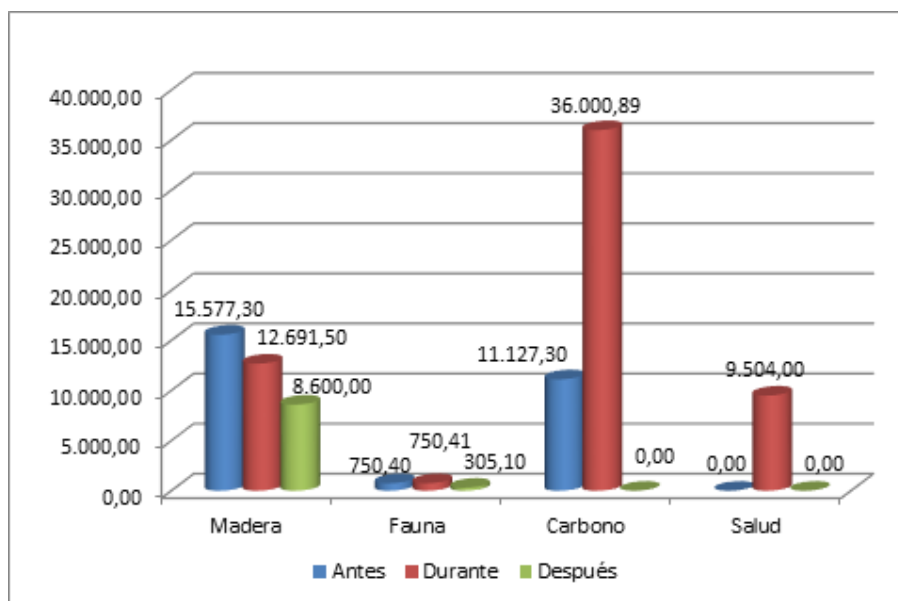


Figura 2. Valoración de los bienes y servicios ecosistémicos.

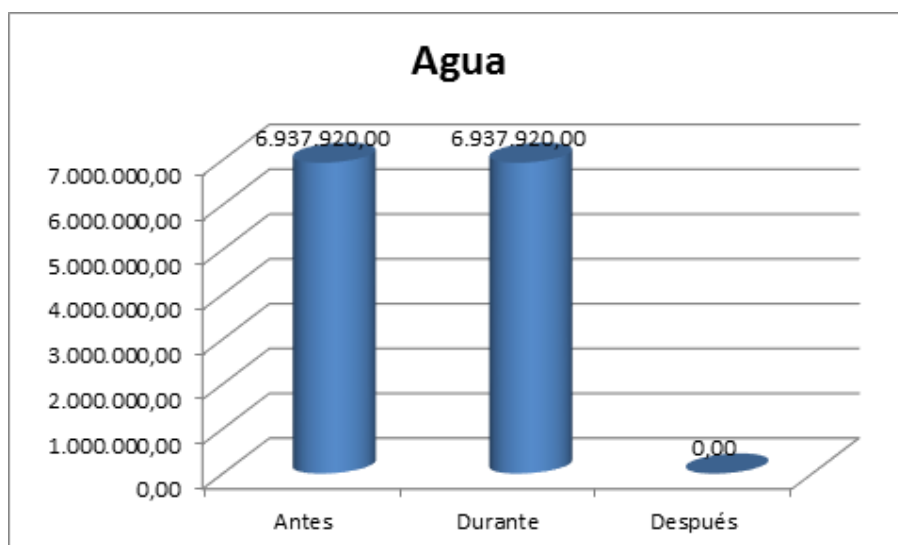


Figura 3. Valoración económica del recurso agua.

Para el estudio de impactos ambientales se aplicó el criterio de expertos mediante el método Delphi. En las encuestas se identificaron 32 impactos sobre el medio físico, la biota y el medio socioeconómico, de los cuales uno es positivo y 31 negativos, lo que representa el 96,88%. El 59,38 % (19 impactos) clasifican como moderados, 12 como severos (37,5 %) y uno crítico, que representa el 3,12 % del total.

A partir de entrevistas a los expertos se elaboró la Matriz de compatibilidad de los factores ambientales y sociales del yacimiento, como posibles usos futuros el hábitat natural, forestal y recreativo. Por tanto, de un total de 24 expertos, 15 (62,5%) coinciden con el uso futuro de hábitat natural; tres (12,5%) proponen que sea forestal y seis (25%) el uso recreativo.

En cuanto a la población, la Dirección Municipal de Planificación Física y la Delegación Municipal del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que constituyen el 84,78% de los entrevistados concuerdan con el uso futuro de hábitat natural.

El desglose en partidas del análisis del presupuesto constituye un aspecto novedoso con respecto al procedimiento anteriormente utilizado ya que solo era observado de forma general, sin evidenciarse los gastos de forma específica en cada tarea de la actividad de rehabilitación minera. (Tabla 1)

Tabla 1. Presupuesto de la rehabilitación minera para el año 2020

Indicadores	U/M	Cant.	Precio /ha	Importe TOTAL
Preparación de suelos	ha	13	1 276,83	16 598,79
Plantación de casuarina	ha	13	2 784,23	36 194,99
Plantación guayaba y marañón	ha	5	2 784,23	13 921,15
Mantenimiento a plantaciones	ha	13	783,16	10 181,08
Barreras muertas	ha	10	7 253,97	72 539,70
Siembra de herbáceas	ha	8	7 267,07	58 136,56
Corrección de cárcavas Media Profundidad	u	60	983,51	59 010,60
Corrección de cárcavas Profundidad	u	396	567,72	224 817,12
Protección de talud con malla	ha	1	37 906,07	37 906,07
TOTAL				529 306,06

La Tabla 2 muestra la comparación de los indicadores diseñados en la propuesta del procedimiento para la rehabilitación minera en explotaciones a cielo abierto, los cuáles fueron evaluados en los años 2019 y 2020.

Tabla 2. Evaluación de los indicadores económico, social y ambiental

Nombre del indicador	Cálculo en el año 2019	Cálculo en el año 2020
Eficacia económica de la rehabilitación minera	$522\,213,01/697\,945,93$ $*100 = 74,82\%$	$529\,306,06/529\,306,06$ $*100 = 100\%$
Cumplimiento del Plan de rehabilitación minera	$11,92/11,92*100 = 100\%$	$13/13*100 = 100\%$
Comportamiento de los costos ambientales de la rehabilitación minera	No se evaluaba	$529\,306,06/6\,967\,014,62$ $*100 = 7,60\%$
Comportamiento de la rehabilitación	$11,92/17,92*100 = 66,52\%$	$13/13*100 = 100\%$
Efectividad del plan de acciones por la rehabilitación minera	$7/8*100 = 87,5\%$	$28/28*100 = 100\%$
Eficacia en la recuperación de la flora afectada	No se evaluaba	$13/13*100 = 100\%$
Eficacia en la recuperación de la fauna afectada	No se evaluaba	$20/106*100 = 18,87\%$
Calidad de la salud del trabajador	$10/31*100 = 32,26\%$	$3/31*100 = 9,68\%$
Tasa específica de enfermedades respiratorias agudas	$29/229*100 = 12,66\%$	$18/247*100 = 7,29\%$
Estabilidad química del terreno	$4/4 = 100\%$	$6/6*100 = 100\%$
Calidad de la conformación del terreno	$11,92-4/11,92*100 =$ $66,44\%$	$13-2/13*100 = 84,62\%$
Estabilidad física del terreno	$0/1*100 = 0\%$	$1/1*100 = 100\%$

La evaluación de los indicadores en el yacimiento Camarioca Este mostró los siguientes beneficios:

Gestión Económica:

- Se logra una sistematización en el análisis cualitativo y cuantitativo de los impactos ambientales que produce la explotación minera.

- En la planificación del presupuesto elaborado para el año 2020 se realiza el desglose por indicador de la cuenta de repoblación forestal.
- La ejecución de la partida de repoblación forestal por cada servicio contratado y el chequeo sistemático de las acciones propuestas para el proceso de rehabilitación minera, permitió analizar los gastos en los que se incurre por dicha actividad.
- Se diseñan y aplican indicadores económicos, sociales y ambientales, que permiten la evaluación cualitativa y cuantitativa de la ejecución del proceso de rehabilitación minera y la recuperación del ecosistema.
- Se reducen los gastos en 191 913,86 pesos en la corrección de cárcavas en el proceso de rehabilitación minera mediante las acciones propuestas en la preparación técnica del terreno.
- Con la incorporación de las medidas propuestas en el plan de rehabilitación minera se reduce el tiempo de entrega de las tierras ya rehabilitadas a la empresa agroforestal.
- La utilización de la casuarina proporciona la obtención de 4 300 CUP anualmente, equivalente a su crecimiento anual en 5,3 m³/ha.
- El proceso de rehabilitación minera intencionada con la utilización de la capa vegetal y el proceso de intercalamiento de otras especies contribuye con la asimilación de dióxido de carbono.
- La selección de tres núcleos naturales donde no existe cuerpo mineral en las 13 hectáreas explotadas, posibilitó una rápida incorporación de la biodiversidad biológica y proporcionó un ahorro de \$ 36 000,89 CUC por la asimilación de dióxido de carbono.

Gestión Social:

- Permite minimizar las afectaciones respiratorias agudas como el asma bronquial, bronquiolitis y rinitis alérgica, provocada por las inadecuadas condiciones de trabajo.
- Se logra rehabilitar el área objeto de estudio, lo que permitirá devolver al patrimonio del estado las áreas para el uso de hábitat natural.
- Los árboles frutales intercaladas (guayaba y marañón) en el área objeto de estudio, favorece el retorno de la fauna silvestre al proporcionar alimentos animal y humano.

Gestión Ambiental:

- Se logra recuperar el funcionamiento parcial del ecosistema, lo que permitirá en corto tiempo accionar para el uso futuro del hábitat natural.
- Se minimizan los procesos erosivos por una adecuada preparación de los terrenos.
- Con el intercalamiento de especies (guayaba y marañón), se incrementa la captación del dióxido de carbono, el retorno de la fauna silvestre, la polinización y el crecimiento de las producciones.
- Se reduce un 85% la sedimentación en el cauce de los ríos y la contaminación de las aguas fluviales mediante la construcción de los discos filtrantes.
- Se logra la cuantificación, por los trabajadores e investigadores en las áreas rehabilitadas, de 20 especies faunísticas.
- Se logra la plantación de 13 hectáreas de árboles.
- Mediante la repoblación forestal del área objeto de estudio, se propicia la captación de gases de efecto invernadero en un 70% y se reduce la emisión de polvo a la atmósfera por el recubrimiento del terreno por las herbáceas y el intercambio de las especies vegetales.

La Tabla 3 propone un plan de mejora para corregir las incidencias del plan de rehabilitación diseñado e implementado.

Tabla 3. Plan de mejora para la rehabilitación minera

No	Incidencias	Acciones propuestas
1.	Proceso erosivo en dos hectáreas	Conformar dos barreras protectoras con madera y con rocas Realizar limpiezas de los diques filtrantes cerca de los colectores
2.	Supervivencia de las especies plantadas	Realizar la reposición de especies de guayaba y marañón en las hectáreas Incrementar en 10 las casas artificiales

4. CONCLUSIONES

- El procedimiento de gestión socioambiental y económica en la rehabilitación minera constituye una herramienta metodológica para los especialistas, decisores y trabajadores vinculados a la actividad

minera, lo que contribuye con el imprescindible equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación de los ecosistemas en la explotación de los yacimientos, conciliando el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente e incidiendo en el entorno social y empresarial con una proyección sostenible.

- La aplicación del procedimiento de rehabilitación minera permite valorar los bienes y servicios ecosistémicos en tres momentos (antes, durante y después) de la rehabilitación minera; identificar los impactos ambientales; elaborar un presupuesto desglosado por partida, a la vez que evalúa los indicadores que permiten estimar los beneficios de la gestión económica y socioambiental.

5. REFERENCIAS

- Marín-Marín, N. 2012: Modelos de recuperación de áreas degradadas por minería de oro de aluvión. *Simposio bosques y minería responsable*, Centro Información Ambiental (CIA) Sede Central, pp. 1- 46.
- Matos, J. 2004: *Propuesta metodológica para llevar a cabo la restauración de ecosistema degradados*. [en línea] [fecha de consulta 10 de diciembre de 2019] Disponible en: www.idia.org.do
- Palacios-Castillo, G. 2018: Comportamiento de las estrategias de manejo forestal y de conservación, en la minería de níquel, Moa, Holguín, Cuba. *IV Congreso Internacional de Minería y Metalurgia*, La Habana, pp 55.
- Petronzi, A.; Pirazzini, C.; Lancellotti, L. Listado de precio animal. Italia. [en línea] [fecha de consulta el 22 de enero de 2020]. Disponible en: <http://www.shellauction.net>
- Reynaldo-Argüelles, C.L. 2013: Procedimiento para la valoración económica y ambiental en la actividad minera de níquel [en línea]. Tesis doctoral, Santiago de Cuba. [Consultado 13 de enero de 2019] Disponible en: <http://www.ismm.edu.cu/edum>
- SENDECO2. Precios del CO2. [en línea] [fecha de consulta 28 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>
- Serrada-Hierro, R. 2000: Apuntes de Repoblaciones Forestales. FUCOVASA. Madrid, pp. 1-77.
- Torres-Batista, Y., Rodríguez-Córdova, R. G., y Reynaldo-Argüelles, C. L. 2019: Propuesta de un procedimiento para la rehabilitación minera en explotaciones a cielo abierto. *Revista: Minería y Geología*, 35(1): 17-30.
- Triton. Listado actualizado de animales. [en línea] [fecha de consulta 22 de enero de 2019]. Disponibles. en: <http://www.tritonreptiles.com>
- UNESCO. 2012: Education for Sustainable Development Sourcebook [en línea]. París Francia: Organización de las Naciones Unidas para la

Educación, la Ciencia y la Cultura. [consultado: 8 de septiembre de 2018]
ISBN 978-92-3-001077-5. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org>

Urbino Rodríguez, J., Díaz Martínez, B., y Sigarreta Vilches, S. 2019:
Rehabilitación ambiental minera. Villa Clara. Cuba. Editorial Feijóo, pp. 1-
377. ISBN: 978-959-312-267-2

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

TTB: Obtención de datos, análisis e interpretación, redacción y aprobación de la versión final.
RGRC, CLRA: Análisis e interpretación de datos, revisión y aprobación de la versión final. MRC:
Redacción, revisión y aprobación de la versión final.

ORCID

YTB, <https://orcid.org/0000-0003-1954-7447>

RGRC, <https://orcid.org/0000-0002-2447-4337>

CLRA, <https://orcid.org/0000-0002-2676-7563>

MRC, <https://orcid.org/0000-0002-4294-8508>

Recibido: 21/04/2021

Aceptado: 24/07/2021