

Argumentación del uso del martillo rompedor como método de arranque de rocas en la cantera Gabricar, Bioko Norte, Guinea Ecuatorial

Using the jackhammer as rock digging method in Gabricar quarry, North Bioko, Equatorial Guinea

Alfonso A. Nguema-Mozoho^{1*}, Maday Cartaya-Pires¹, Gilberto Sargentón-Romero², Roberto Watson-Quesada¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba

²Universidad de Holguín, Cuba

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

Resumen

En las canteras de rocas basálticas se emplean fundamentalmente métodos de perforación y voladura como métodos de arranque. El objetivo de este estudio fue argumentar la validez del uso de martillo rompedor como método de arranque de rocas en la cantera Gabricar, a partir de conocer los parámetros geomecánicos de las rocas así como los indicadores técnico-económicos de explotación. Las propiedades físico-mecánicas de las rocas se obtuvieron mediante los métodos: gravimétrico, de saturación, pesada hidrostática, picnométrico y cargas axiales, y para establecer elementos de las grietas, tamaño de bloques y calidad del macizo rocoso, se emplearon, respectivamente, el levantamiento geológico, recuento de las juntas volumétricas y coeficiente de fortaleza. Se obtuvieron como valores promedios de las propiedades físico-mecánicas, un 4,75 % de humedad; 2,39 % de porosidad; 5,73 g/cm³ de masa volumétrica; densidad de 26,44 g/cm³ y resistencia a comprensión axial de 173,53 Mpa. Se establecieron cuatro familias de grietas con espaciamientos de 0,4 m; 0,6 m; 0,3 m y 0,2 m y aberturas de 18 mm; 13 mm; 3 mm y 9 mm, respectivamente. Los bloques son de pequeño tamaño y el macizo rocoso califica como de buena calidad. El análisis técnico-económico demostró la eficiencia del martillo rompedor como método de arranque en la cantera Gabricar.

Palabras clave: minería; arranque de rocas; explotación de cantera, martillo rompedor; rocas basálticas.

Abstract

Blasting and drilling methods are mainly used in basalt rock quarries as blasting-digging methods. The purpose of this study is to argue the validity of using a jackhammer as a rock removal method in Gabricar quarry, based on knowing the geomechanical parameters of rocks as well as the technical-economic indicators for exploitation. Gravimetric, saturation, hydrostatic weighing, pycnometric and axial loads methods were used to obtain physical-mechanical properties of the rocks and geological survey, volumetric joint count, and strength coefficient were used to establish crack elements, block size, and rock mass quality, respectively. 4.75% humidity; 2.39 % porosity; 5.73 g/cm³ volumetric mass; density of 26.44 g/cm³ and axial compressive strength of 173.53 Mpa as average values of physical-mechanical properties were obtained. Four families of cracks with spacing of 0.4 m, 0.6 m; 0.3 m and 0.2 m and 18 mm openings; 13 mm; 3 mm and 9 mm, respectively were established. Blocks are small and the rocky massif is of good quality. The technical-economic analysis showed the efficiency of the jackhammer as a blasting-based digging method in Gabricar quarry.

Keywords: mining; rock digging; quarrying, jackhammer; basalt rocks.

1. INTRODUCCIÓN

En Guinea Ecuatorial en los últimos años el desarrollo de la actividad minera en las canteras se ha intensificado para la obtención de materiales para la construcción (áridos), condicionado por la creciente demanda de nuevas obras: viviendas, hospitales, autopistas, universidades, instalaciones portuarias, aeroportuarias y otras. Para la ejecución de esta diversidad de obras, en el caso específico de la isla de Bioko, se precisa de la explotación de la única fuente para la producción de áridos en la isla: los macizos de rocas basálticas (Bindang 2014).

Los antecedentes teórico-experimentales y tecnológicos del proceso de arranque de las rocas basálticas como áridos, sostienen fundamentalmente el empleo de la perforación y voladura como método de arranque. Para ello, consideran principalmente el coeficiente de fortaleza de las rocas, preestablecido para justificar la utilización del referido método.

En el caso de la cantera Gabricar, en la isla de Bioko (Figura 1), el alto coste del método de perforación y voladura, las afectaciones medio ambientales que produce este método y el enorme impacto de las características geomecánicas de las rocas basálticas sobre dicha tecnología para explotación de áridos, sigue siendo un problema. De ahí la necesidad de profundizar en el conocimiento del comportamiento de los macizos rocosos, con el fin de facilitar soluciones tecnológicas eficientes a las complejidades geomecánicas que se presentan en la explotación de estas rocas.

Dadas las características específicas de la cantera Gabricar, lo anteriormente expuesto apunta a la necesidad de emplear métodos alternativos de arranque de rocas que resulten menos costosos y más respetuoso con el medio ambiente. Por consiguiente, esta investigación se propone ofrecer argumentos a favor del uso del martillo rompedor para el arranque de rocas basálticas de la cantera Gabricar.

La cantera, explotada por la empresa Multiservicios Gabricar, se ubica al norte de la Isla de Bioko (Figura 1), a unos 15,9 km de la ciudad de Malabo y con las siguientes coordenadas geográficas X: 474971.638 m; Y: 408814.154 m; Z: 239.000 m.

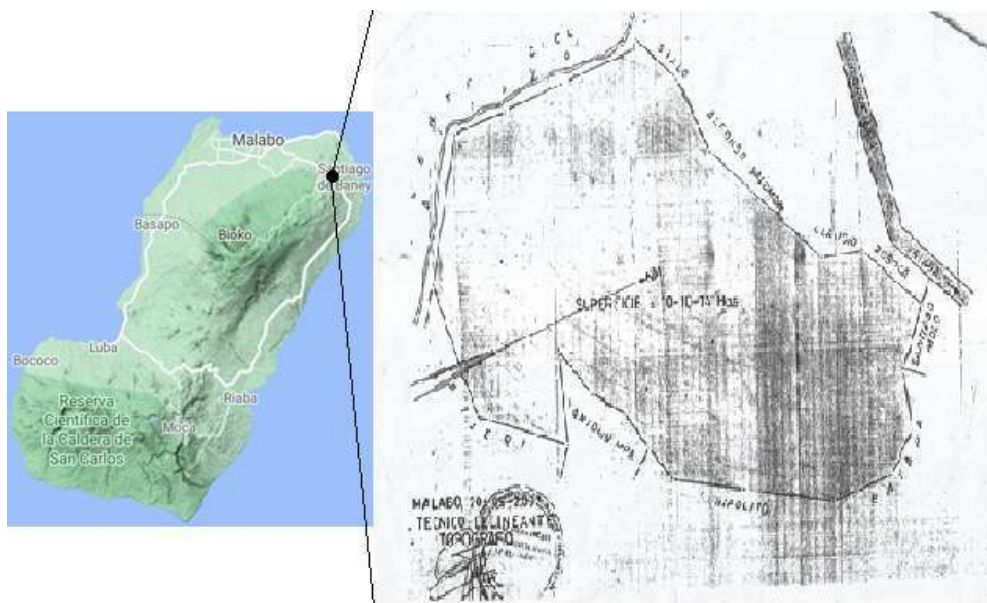


Figura 1. Ubicación geográfica de la cantera Gabricar.

1.1. Rasgos geológicos del área de estudio

El yacimiento que constituye el frente de arranque de la cantera Gabricar, está constituido por rocas basálticas formadas por diferentes procesos de solidificación de coladas de lavas volcánicas que se presentan en forma de escorias basálticas (Nsue 2016). En el frente de arranque se pueden apreciar

capas de rocas basálticas sucesivas separadas por horizontes de poco espesor y conformados por material piroclástico con indicios de intemperismo (Figura 2).

Las rocas basálticas que conforman este yacimiento, presentan vacuolas que cubren extensas áreas de la cantera, con una textura vesicular que conserva vestigios de burbujas producidas por el vapor de agua en la expansión generada por el enfriamiento y solidificación del magma volcánico.



Figura 2. Capas de rocas basálticas de poco espesor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta

Para la determinación de los valores de las propiedades físico-mecánicas de las rocas como humedad, porosidad, masa volumétrica, densidad y resistencia a compresión axial, se realizó el muestreo a partir de la premisa de una roca prácticamente similar en todo el yacimiento, y en base a la extensión, potencia de los estratos y longitud del yacimiento, así como a las características litológicas y estructurales del macizo rocoso.

Para determinar el número de muestras necesarios se efectuó el muestreo aleatorio estratificado, tomado de Chacín (2000), que parte del principio t-Student y, plantea la siguiente ecuación:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * Y}{d} \right)^2 \quad (1)$$

Siendo:

$Z_{\alpha/2}$ – valor de la tabla normal (distribución normal de Gauss), (1,96). Tomado de Chacín 2000; Freund & Simona 1992; Noa 2003.

γ – comportamiento típico de la población.

d – error máximo permisible (tomado el valor de 0,2).

El desconocimiento del comportamiento de la población (γ), en la ecuación anterior, conlleva al proceso interactivo de la toma de muestras piloto para la estimación de \bar{X} , mediante el empleo del software Excel, lo que permite calcular el número de muestras representativas (Hernández 2015).

Para determinar el valor medio aritmético (\bar{X}) de las muestras, se aplicó la ecuación propuesta por Chacín (2000):

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \quad (2)$$

Siendo:

X_i – valor de la muestra.

n – número de muestras.

Las propiedades físico-mecánicas de las rocas se determinaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos (LAT) de la ciudad de Malabo regido por la norma ASTM-D2216, de 2015, mediante los siguientes ensayos y métodos: gravimétrico, saturación, pesada hidrostática, picnométrico y cargas axiales, para determinar, respectivamente, la humedad, porosidad, masa volumétrica, peso específico y resistencia a compresión de las rocas.

2.2. Valoración del agrietamiento

Para determinar los elementos de las grietas se empleó el levantamiento geológico del área de estudio en tres tramos litológicos de 15 m, 14m y 12 m por estacionados (los sectores más representativos del yacimiento), a través del cual se analizaron cuantitativa y cualitativamente según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM 1981), los principales elementos de yacencia de las grietas y sus características como: abertura, continuidad, espaciamiento, rugosidad, relleno, filtraciones; para la proyección estereográfica de las mismas se empleó el software DIP V.5.0.

2.3. Evaluación de la calidad de las rocas en el macizo

Para la caracterización de las rocas en el macizo se utilizó la clasificación geomecánica "f" (coeficiente de fortaleza), formulada por Protodiakonov (1962). Para la determinación de "f" se empleó la ecuación:

$$f = \frac{R_c}{10} \quad (3)$$

Siendo:

R_c – resistencia a compresión de la roca.

10 – coeficiente de dureza de los minerales (escala de Mohs).

2.4. Determinación del tamaño de bloques

El tamaño de bloques se determinó por el método de recuento de las juntas volumétricas (J_v) propuesto por Palmström (2005), mediante la siguiente expresión matemática:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}; \text{ grietas/m}^3 \quad (4)$$

Siendo:

S_1 , S_2 y S_3 – espaciamiento entre grietas de cada familia.

2.5. Análisis técnico-económico de los costos de explotación

Para proponer la tecnología de explotación se realizó una breve valoración técnico-económica de los costos de la tecnología de explotación utilizada por la empresa Multiservicios Gabricar. Los costos de explotación se calcularon a partir de los datos recopilados en la misma empresa sobre los importes de la tecnología de explotación:

$$C = \frac{G_d + G_g + G_i}{L}; \$ \quad (5)$$

Siendo:

C – costo de explotación.

G_d – gasto directo por metro.

G_g – gastos generales de la excavación.

G_i – gasto incluido por metro de excavación.

L – longitud de la excavación (tomado del talud laboral).

$$G_d = \frac{G_s + G_m + G_e + G_{di}}{L_a}; \$/m^3 \quad (6)$$

Siendo:

G_s – gasto por concepto de salario.

G_m – gasto por consumo de materiales.

Ge – gasto por consumo de energía.

Gdi – gasto directo.

La – longitud de avance por ciclo.

$$Gg = Kg \times Gd, \$ \quad (7)$$

Siendo:

Kg (oscila entre 0,25 y 0,8).

Gd – gasto directo.

$$Gi = Ki \cdot (Gd + Gg); \$ \quad (8)$$

Siendo:

Ki (oscila entre 0,05 a 0,20).

Gg – gasto general por metro de avance.

Gd – gasto directo.

2.6. Método de arranque de rocas

Una vez determinados los parámetros geomecánicos del macizo, se procedió a plantear el posible método de arranque. Para proponer el empleo del martillo rompedor, se consideraron las características geomecánicas que posee el yacimiento, el costo del método de arranque propuesto y su posible comportamiento ante el medio ambiente. Asimismo, para decidir el rango de variación de las características geomecánicas que integran el método de arranque propuesto, se realizó una minuciosa revisión de los trabajos de Atkinson (1977) y Pettifer & Fookes (1994); cuyos fundamentos experimentales responden a los parámetros geomecánicos determinados en esta investigación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades físico-mecánicas de las rocas

Los valores promedios de las propiedades físico-mecánicas de las rocas analizados estadísticamente por la distribución de Student aparecen en la Tabla 1. Aquí se ilustran los valores de las rocas intactas de basalto masivo y los valores de su humedad, porosidad, masa volumétrica, densidad y resistencia a compresión axial.

Tabla 1. Valores de las propiedades físico-mecánicas de basalto masivo

Humedad, (%)	Porosidad, (%)	Masa volumétrica, (g/cm³)	Peso específico, (g/cm³)	Compresión axial, (MPa)
4,75	2,39	5,73	26,44	173,53

3.2. Valoración del agrietamiento

Se realizaron 69 mediciones de elementos de las grietas en ocho estacionados. A partir de las cuales, se efectuó un análisis cuantitativo de la abertura, espaciado y persistencia de las grietas; y un análisis cualitativo de la rugosidad, filtraciones y rellenos de las juntas. Donde por una parte, se aprecian mayormente cuatro familias de grietas de 0,4 m; 0,6 m; 0,3 m y 0,2 m de espaciado, con aberturas de 18 mm; 13 mm, 9 mm y 3 mm; y una persistencia de 1.0 m; 0.8 m; 0.9 m y 1.2 m respectivamente. Lo cual indica que son grietas moderadamente juntas, anchas y de baja continuidad (ISRM, 1981).

Por otra parte, en el análisis cualitativo realizado se observan grietas de rugosidad plana, con filtraciones en forma de goteo y sin relleno (ISRM 1981). La Tabla 2 muestra los elementos de yacencia de las familias de grietas medidas en el frente de arranque de la cantera Gabricar. La proyección estereográfica de los planos mayores obtenidos de las familias de grietas en el macizo rocoso aparece en la Figura 3.

Tabla 2. Elementos de yacencia de las familias de grietas

Familia de grietas	Buzamiento (°)	Acimut de Buzamiento (°)
I	73	120
II	56	210
III	30	165
IV	80	215

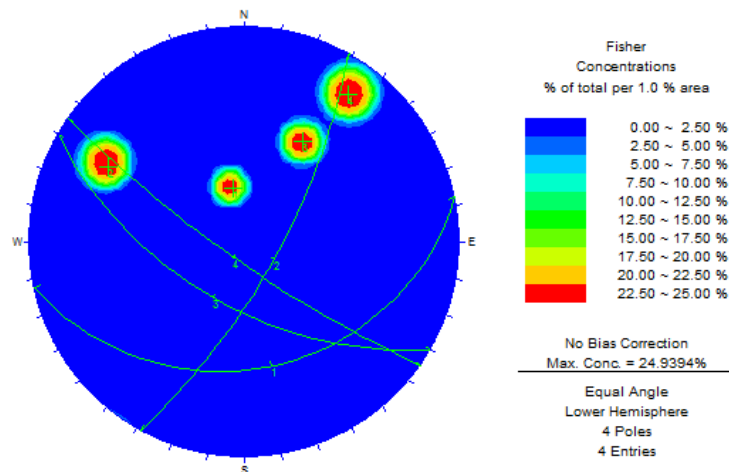


Figura 3. Proyección estereográfica de las familias de grietas.

En la Figura 4, se ilustran los rumbos de las familias de las grietas, donde se aprecian la verticalidad de las mismas, producto de los procesos geológicos por los que fue formado el macizo rocoso, lo que quiere decir que en las zonas con grietas verticales puede haber un colapso por vuelco de los estratos y, en la zona de grietas horizontales puede haber un deslizamiento de los taludes que conforman esta área del macizo.

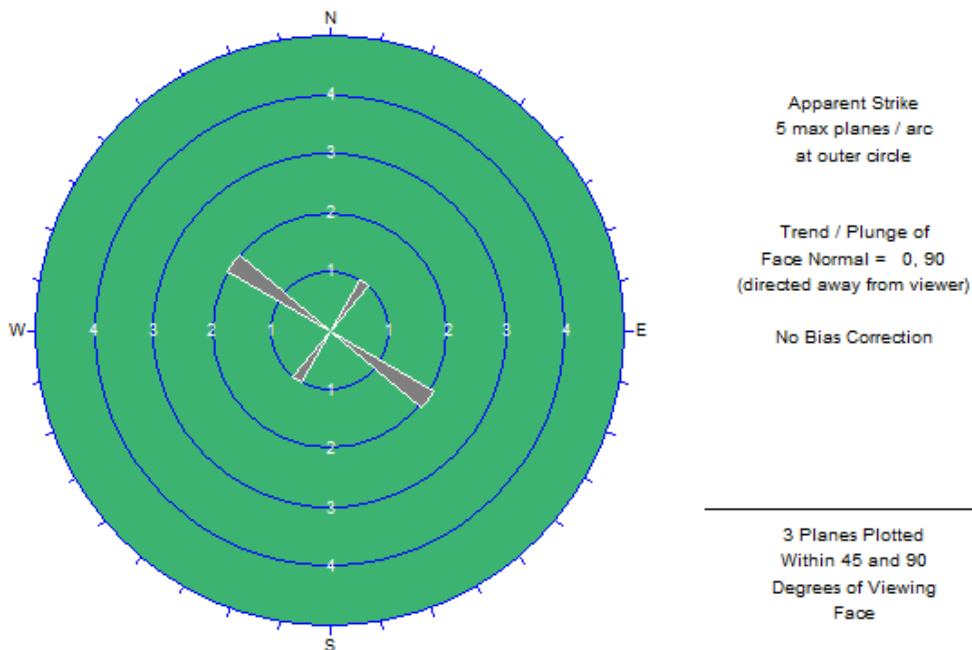


Figura 4. Diagrama de rosetas de las grietas.

3.3. Índice de calidad de las rocas en el macizo rocoso

A partir del valor de la resistencia a compresión de las rocas (173,53 Mpa), se calculó el coeficiente de fortaleza (f) para evaluar el índice de calidad de las rocas en el macizo rocoso. El valor de " f " obtenido en este trabajo (17,35),

indica que las rocas del macizo rocoso son de categoría excepcional (Protodiaconov 1962), lo que certifica la buena calidad de las mismas para una explotación eficiente y los usos posteriores.

3.4. Tamaño de bloques

- Familia I = 0.4 grietas/m³
- Familia II = 0.6 grietas/m³
- Familia III = 0.3 grietas/m³
- Familia IV = 0.2 grietas/m³

A partir del espaciamiento de las familias de grietas, el valor obtenido del recuento de las juntas volumétricas ($J_v = 12,5$ grietas/m³), implica que los bloques del macizo rocoso son de tamaño pequeño, lo que justifica ampliamente el arranque mecánico con el martillo rompedor; según ISRM (1981) es el escenario que mejor se adecua al arranque de rocas con este método para garantizar una explotación racional. En el caso contrario (bloques medios y grandes), la perforación y voladura cobra mayor importancia, según resultados reportados por Noa (2003) y Hernández (2015).

3.5. Argumentación del empleo de martillo rompedor

Para la propuesta del arranque con empleo del martillo rompedor en la cantera Gabricar se consideraron aspectos como el costo de la tecnología propuesta, menores afectaciones sobre el medio ambiente y la calidad de rocas en el macizo, así como el tamaño de bloques en el macizo rocoso y las características de los elementos de las discontinuidades, tales como espaciamiento entre grietas (grietas moderadamente juntas) y aberturas (grietas anchas), siendo los dos últimos, aspectos de gran influencia en el proceso de excavación, ya que en las rocas de alto coeficiente de fortaleza el arranque se realiza aprovechando los bloques de menor volumen y planos de debilitamiento estructural o las grietas abiertas, según refieren Atkinson (1977) y Pettifer y Fookes (1994).

3.6. Índices técnico-económicos de la explotación

En base a los datos proporcionados por la empresa española Multiservicios Gabricar S.L., sobre los costos aproximados de la explotación:

- $G_d = 13500$ \$/m³

- $G_g = 10800$ \$
- $G_i = 4860$ \$
- $L = 8.5$ m

$$C = \frac{13500 + 10800 + 4860}{8.5} = \$3430,58$$

El resultado de los costos aproximados de los procesos tecnológicos indica que con el empleo del martillo rompedor el costo mínimo es de \$3430.58 por cada 8,5 m³ de explotación, un valor que se triplicaría en el caso del uso de perforación y voladura como método de arranque, y su productividad es similar. Ello acredita la racionalidad y eficiencia del martillo rompedor para el arranque de rocas en las condiciones específicas de la cantera Gabricar.

4. CONCLUSIONES

- A partir de las condiciones geomecánicas y técnico-económicas se considera que el método de arranque mecánico con martillo rompedor es adecuado para la explotación de áridos en la cantera Gabricar de Bioko Norte. Este método podrá garantizar la producción estimada por la empresa Multiservicios Gabricar a la vez que contribuye al cuidado del medio ambiente y a la disminución de los costos de la explotación

5. REFERENCIAS

- ASTM-D2216. 2015: Métodos de Ensayo para Laboratorio para Determinar Contenido de Agua (Humedad) en Suelos y Rocas por masa.
- Atkinson, W. 1977: Selection of Open Pit Excavating & Loading Equipment, Transaction Institute of Mining & Metallurgy – Section A, pp. A101 – A129.
- Bindang, M. 2014: Actualización del Plan de Rehabilitación en la Cantera de Izaguirre. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional de Guinea Ecuatorial, Malabo, Guinea Ecuatorial.
- Chacin, F. 2000: Diseño y análisis de experimentos I. Editorial. FEPUVA-UCV. Caracas, Venezuela.
- Freund, J., & Simona, G. 1992: Modern Statistics. 8 Ed. Editorial Prentice Hall. New Jersey. USA.
- Hernández, N. 2015: Procedimiento para la elección del método de arranque de las rocas en canteras para áridos. (Tesis Doctoral), ISMMM, Moa, Cuba.
- Brown, E.T (Ed) 1981: Rock Characterization, Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods :Pergamon, London, 211 p.
- Noa, R. 2003: Indicaciones metodológicas para la elección del método de arranque de las rocas durante el laboreo de excavaciones subterráneas

horizontales de pequeña y mediana sección en cuba oriental. (Tesis Doctoral), Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.

Nsue, G. B. 2016: Argumentación del método de arranque en la cantera de Gabricar. (Trabajo de Diploma), Universidad Nacional de Guinea Ecuatorial, Malabo, Guinea Ecuatorial.

Palmström, A. 2005: Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20 (4) :362-377.

Pettifer, G. S., & Fookes, P. G. 1994: A Revision of the Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 27 (2) :145 – 164.

Protodiaconov, M. 1962: Methods of studying the strength of rocks used in the U.S.S.R., in International Symposium on Mining Research, New York.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

AANM: Diseño de la investigación, obtención de datos, análisis e interpretación, redacción de la primera versión, aceptación de la versión final. MCP: Análisis de resultados, revisión del original, reelaboración del manuscrito, aceptación de la versión final. GSR: Revisión y aceptación de la versión final. RWQ: Revisión y aceptación de la versión final.

ORCID

AANM, <https://orcid.org/0000-0002-0141-591X>

MCP, <https://orcid.org/0000-0003-0057-5261>

GSR, <https://orcid.org/0000-0002-1888-3097>

RWQ, <https://orcid.org/0000-0001-9599-2310>

Recibido: 10/09/2020

Aceptado: 25/09/2021