

Vol. 7. N° 01. Año 2017 ISSN 2711-4260



REVISTA  
AGUNKUYÂA

---

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

**AREANDINA**

Fundación Universitaria del Área Andina  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas



# AGUNKUYÂA

Volumen 1, 2017

ISSN: 2711-4260



**AREANDINA**  
Fundación Universitaria del Área Andina

**Pablo Oliveros Marmolejo †**  
**Gustavo Eastman Vélez**  
**Miembros Fundadores**

**Diego Molano Vega**  
**Presidente de la Asamblea General y**  
**Consejo Superior**

**José Leonardo Valencia Molano**  
**Rector Nacional y Representante**  
**Legal**

**Martha Patricia Castellanos**  
**Saavedra**  
**Vicerrectora Nacional Académica**

**Ana Karina Marín Quirós**  
**Vicerrectora Nacional de Experiencia**  
**Areandina**

**María José Orozco Amaya**  
**Vicerrectora Nacional de Planeación**  
**y Calidad**

**Darly Escorcia Saumet**  
**Vicerrectora Nacional de**  
**Crecimiento y Desarrollo**

**Erika Milena Ramírez Sánchez**  
**Vicerrectora Nacional Administrativa**  
**y Financiera**

**Felipe Baena Botero**  
**Rector - Seccional Pereira**

**Gelca Patricia Gutiérrez Barranco**  
**Rectora - Sede Valledupar**

**María Angélica Pacheco Chica**  
**Secretaria General**

Los textos publicados en esta revista pueden ser reproducidos citando siempre la fuente. Todos los contenidos de los artículos publicados son responsabilidad exclusiva de sus autores, y no reflejan la opinión de la Fundación Universitaria del Área Andina.

Volumen 1, 2017  
ISSN: 2711-4260

Fundación Universitaria del Área Andina  
Transv 22 Bis No. 4-105  
Valledupar, Cesar

# Contenido

Revista Agunkuyâa

Bogotá, D.C. Colombia

Volumen 1, páginas 1 a 86, 2017

- 7 | Análisis ambiental debido a la transición energética de la cascarilla de café: caso de estudio en el municipio de Villanueva, La Guajira  
*Daniela Torres/ Marlon Bastidas*
- 25 | Caracterización y clasificación geomecánica del depósito de cobre localizado en el corregimiento de Camperucho, municipio de Valledupar, Cesar  
*Luis Araujo / Yasuana Britto / Keyla Meza / J. Olivella*
- 36 | Caracterización y restauración ecológica de suelos en minería de carbón a cielo abierto: antecedentes, técnicas actuales y búsqueda de nuevas técnicas para su tratamiento  
*Dayanna Oliveros / Iván Molina / Kellys Rodríguez / Luis Díaz*
- 50 | Diseño y documentación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo en la empresa Agregados de Sucre S. A. S., ubicada en el municipio de Toluviejo, Sucre  
*Sandra Molina / Fabián Cruz*
- 57 | Producción de fracciones antioxidantes de sangre bovina  
*Omar Figueroa / Karen Ospino / Emil Mejía / Sandy Peñaloza / Jesús Morales*
- 66 | Prospectiva estratégica en los procesos de extracción y del beneficio de la roca caliza en el norte del Cesar, Colombia  
*Jan Carlos Buelvas / Martha Mendoza / Sandra Molina*



# Análisis ambiental debido a la transición energética de la cascarilla de café: caso de estudio en el municipio de Villanueva, La Guajira

Daniela Torres<sup>1</sup>, Marlon Bastidas<sup>2</sup>

## Resumen

En este trabajo se analizaron las propiedades de la cascarilla de café como fuente sustentable de biomasa en el municipio de Villanueva, La Guajira, teniendo en cuenta que es uno de los principales productos cultivados en la región. Esta revisión se realizó mediante fuentes bibliográficas enfocadas en las temáticas de la cascarilla de café, el impacto ambiental generado por las cascarillas y las diferentes metodologías empleadas en la transición energética de este residuo con la finalidad del establecimiento de datos en los que se emplee este proceso para que genere valor agregado a un residuo que pasa a ser producto final, de manera que se vayan disminuyendo los impactos ambientales negativos e impulsando el adecuado manejo, aprovechamiento y disposición del residuo sólido. El estudio demostró que la cascarilla de café es una fuente primordial de biomasa energética, por lo que se concluye que es una alternativa sostenible de alto poder calorífico y que puede ser empleada por su eficiencia energética como una estrategia en la disminución potencial de los efectos negativos en los recursos naturales impactados.

**Palabras clave:** aprovechamiento, beneficio del café, transición energética, biomasa, biocombustibles, subproductos, impactos ambientales.

---

1 Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Guajira. Correo: dandreatorres@uniguajira.edu.co

2 Director del grupo Destacar de la Universidad de La Guajira. Correo: marlonjoseb@uniguajira.edu.co

## Introducción

A diario, la generación de residuos agrícolas va en aumento, originando problemáticas ambientales como la contaminación de los recursos naturales, contaminación visual, entre otros, debido a la inadecuada disposición que se realiza en las áreas del cultivo. Sinergia (2006) afirma que “la agricultura se puede definir como la actividad que ejerce el hombre haciendo uso deliberado de la tierra para extraer bienes del suelo gracias al aprovechamiento de la energía solar. Es una actividad estratégica para cualquier sociedad”. Sin embargo, en los países productores de café, tales como Brasil, Vietnam y Colombia, los residuos y subproductos constituyen una fuente grave de contaminación; en algunos casos, en países con producción a menor escala como Costa Rica, este producto ha sido señalado como responsable de numerosas complicaciones ambientales, reproches y cuestionamientos por los que se paga un elevado precio. Así mismo, las investigaciones sobre el tema solo se han dirigido a mejorar la productividad cafetalera, dejando al margen la consideración de sus repercusiones ambientales (Granados, 1994).

Varios estudios a nivel mundial han informado que los residuos sin tratar,

procedentes de las industrias tradicionales y modernas de procesamiento de café, están amenazando las aguas superficiales, mayoritariamente en los países en desarrollo, siendo la contaminación del agua el de mayor repercusión en los países productores de café (Beyene et al., 2012). En Brasil, la producción en los últimos cinco años varió de 2,0 a 2,7 millones de toneladas, dicha producción representa un promedio de más de 2,5 millones de toneladas de residuos sólidos que se generan cada año (Oliveira et al., 2008).

En Colombia existen alrededor de 955 000 hectáreas de café a lo largo y ancho del país, ubicadas entre los 1100 msnm y los 2000 msnm en 21 departamentos y 592 municipios, dentro de las cuales La Guajira reflejó en producción 3924 toneladas de café en el 2014 (MADR, 2014). En el procesamiento del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida aromática, el resto queda en forma residual, representado en materiales lignocelulósicos como cáscaras, pulpa de café, tallos y hojas, los cuales influyen en la contaminación del medio ambiente por no ser tratados o reciclados (Rodríguez y Zambrano, 2010).

El método de procesamiento de café húmedo que se utiliza comúnmente requiere enormes cantidades de agua para quitar la cáscara de café en donde se generan volúmenes de aguas residuales con alto contenido en materia orgánica. El efluente de una tonelada de café siguiendo el proceso de beneficiado húmedo genera una demanda bioquímica de oxígeno comparable a la DBO de los residuos humanos que puede ser generada por 2000 personas al día. (Beyene et al., 2012)

Puesto que los desechos del proceso de beneficiado húmedo del café se consideran como contaminantes, el caficultor debería tener una alternativa de uso de estos residuos orgánicos, ya que en la actualidad ha incrementado el interés en buscar alternativas que permitan una disposición adecuada de los residuos y un aprovechamiento de los mismos, por ejemplo, la transición energética.

Así pues, la cascarilla de café puede ser utilizada en diferentes procesos debido a sus propiedades. Un ejemplo de esto fue lo propuesto por Barón (2014), que empleó como material adsorbente para la remoción de iones  $Pb^{2+}$  presente en soluciones acuosas, presentando una

capacidad máxima de adsorción de 4,80  $mg\ g^{-1}$ .

De otra manera, Romero y Mamani Pari (2013)

utilizaron biodigestores a condiciones meteorológicas del valle Yanatile, Cusco con el objetivo de obtener biogás y el residuo del proceso (lodo) como bioabono, obteniendo 6430912,6  $m^3$  de biogás como estimado, compuesto por: 65,2% de metano, 29,7% de bióxido de carbono y 5% (otros)

Así mismo, Carrillo et al. (2011)

planteó la obtención de biomasa a partir de cáscara de café en donde la cáscara de café constituyó un sustrato adecuado para la producción de biomasa con un rendimiento de 3,83  $g/L$  de biomasa, cuyo contenido de proteínas fue de 41,49%, 16,51% de azúcares totales, 4,07% de lípidos y 15,99% de humedad.

Por otro lado, la cascarilla de café representa una afectación de gran importancia, teniendo en cuenta los impactos ambientales que el proceso de beneficiado húmedo del café representa para los sistemas acuáticos, por lo que Louzada, Andrade-Vieira et al. (2016) evaluaron

el potencial fitotóxico, citogénico y mutagénico del agua residual del café en la germinación de semillas, elongación de la raíz y alteraciones del ciclo celular en el modelo de planta *Lactuca sativa* L., en el que la germinación total de las semillas estuvo inhibida después de la exposición al efluente sin tratar. Igualmente, Beyene et al. (2012) realizaron una evaluación de la calidad del agua en la que los análisis fisicoquímicos biológicos revelaron el alto deterioro de la calidad en aguas abajo, encontrándose la carga orgánica más alta de 1900 mg/L, el oxígeno disuelto disminuyó a 0,01 mg/L, reduciéndose de esta manera la nitrificación, y la cantidad de los macroinvertebrados descendió.

El municipio de Villanueva, La Guajira, no escapa a toda la problemática planteada en los párrafos anteriores, pues la siembra de café es una de las principales características de esta zona, en la cual no existen medidas que direccionen a la recolección y aprovechamiento de los residuos generados en la labranza, siendo los recursos naturales los más afectados, ya que si estos no se tratan adecuadamente ocasionan focos de contaminación tanto en acuíferos como en el suelo; en algunos casos, como acciones de vertidos de residuos o su quema a cielo abierto, no son considerados como

un problema pues esta costumbre viene instaurada desde hace mucho tiempo, ya que la falta de conocimiento o compromiso incita a los agricultores a no aceptar soluciones consecuentes, sobre todo cuando lo intervenido se relaciona directamente con su sustento económico (Cubides y Montaña, 2017).

Con esta revisión bibliográfica, se nota que los estudios están encaminados al análisis de la cascarilla de café, en los que se analizan los impactos ambientales causados y la posibilidad energética que presenta dicho residuo; en este trabajo se recogen los resultados más importantes, presentando una información general de la situación que permite la comparación y extrapolación a nuevos escenarios como el del aprovechamiento en la agricultura de la cascarilla de café en el municipio de Villanueva, La Guajira, empleando la transición energética del residuo.

## Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos reconocidas como ScienceDirect, Elsevier, ResearchGate y Dialnet, en las que se realizó un barrido de trabajos en un 56,8% de artículos entre el 2014 al 2018, 21,5% de 2010 a 2013 y un 21,5% con fecha menor al 2010, con un total de 51 artículos.

Con la información obtenida se hizo una clasificación de temáticas directamente relacionadas a la cascarilla de café, el impacto ambiental generado por las cascarillas y las diferentes metodologías empleadas en la transición energética de este residuo agrícola. Esta información se utilizó para la conformación de datos en la zona rural proyectada del municipio de Villanueva.

Este municipio se encuentra ubicado al sur del departamento de La Guajira (Colombia) el cual limita con los municipios del Molino por el Norte, Urumita al Sur, San Juan del Cesar y el Departamento del Cesar al occidente y con la República de Venezuela al oriente, el municipio de Villanueva se encuentra situado geográficamente en las coordenadas 10° 36' 19" de latitud Norte y 72° 58' 48" de longitud Oeste como se observa en la figura 1. Se encuentra concertado en la zona urbana, pero su actividad económica está centrada en la agricultura y ganadería. La extensión del municipio es de 26770 ha, de las cuales 7300 ha son utilizadas para la agricultura y 8600 ha para la ganadería; 10416 son áreas no cultivadas mientras 454 corres-

ponden al área urbana. (Municipio de Villanueva, 2000)

El café ha sido uno de los cultivos más tradicionales pues desde tiempos inmemoriales se ha visto que utilizan las calles y parques para el secado de este, incluso Villanueva se encuentra dentro del Comité de cafeteros del Cesar y la Guajira el cual regula a cerca de 250 caficultores y proporciona la venta del grano a distintas federaciones. Personalmente y con los documentos adecuados se fue a solicitar la información de hectáreas sembradas, producción y los procesos realizados en la cosecha y a parte que utilidades les ofrecen a los subproductos del café en especial a la cascarilla, pero fue imposible recibir respuesta alguna. Ante esta negativa se consultó en la página del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y se pudo conocer que en año 2014 en la Guajira el área sembrada del café fue de 6790 ha, área cosechada de 6079 ha con una producción de 3924 ha con un rendimiento de 0,65 (t/ha). (MADR, 2014)

Así mismo, para Villanueva se obtienen los datos que se indican en la tabla 1.

**Tabla 1. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de café en Villanueva, 2014**

	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Café	1.167	1.028	734	0,7

Fuente: MADR (2014).

**Figura 1. Localización del caso de estudio: municipio de Villanueva, La Guajira**



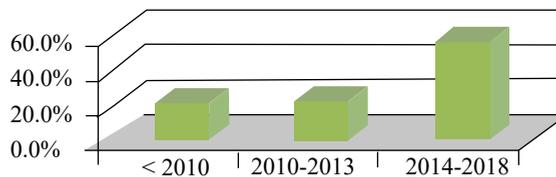
Fuente: Google Maps.

## Discusión de resultados

Por medio del barrido de artículos se realizó una clasificación por año, en la que se da a conocer la temporada en que se enfatizó en la temática asociada a la cascarilla de café. En la figura 2 se puede observar que entre 2010 al 2013 y con fecha menor al 2010 solo el 21,5% de artículos desarrollaron este tema mien-

tras que del 2014 al 2018 se encontraron cerca de 56,8%, obteniendo el mayor porcentaje, esto podría estar sujeto a la concientización de los últimos años sobre el uso indiscriminado de los combustibles fósiles y a la preocupación de emplear tecnologías amigables con el medio ambiente.

Figura 2. Clasificación de los artículos revisados por años

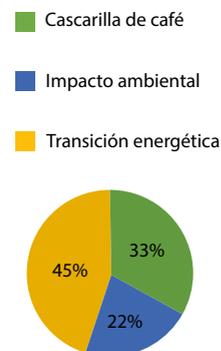


De otra forma, se identificaron los autores que constantemente publican artículos acerca de la cascarilla de café como se observa en la tabla 2, siendo recurrentes Jofran Luiz de Oliveira, Jadir Nogueira da Silvab, Emanuele Graciosa Pereira con la publicación de dos artículos en el 2013 (De Oliveira et al., 2013) y (De Oliveira et al., 2018) en el 2018. De igual manera, Leandro S. Oliveira, Adriana S. Franca y Sonia D. Rocha con la publicación de tres artículos en el 2007 (Oliveira et al., 2008), en 2008 (Oliveira et al., 2008) y en el 2009 (Franca y Oliveira, 2009).

Tabla 2. Identificación de autores recurrentes en la temática de cascarilla de café

Años	Autores	Número de artículos
2013 y 2018	Jofran Luiz de Oliveira	2
	Jadir Nogueira da Silva	
	Emanuele Graciosa Pereira	
2007, 2008 y 2009	Leandro S. Oliveira	3
	Adriana S. Franca	
	Sonia D. Rocha	

Figura 3. Temáticas principales analizadas en la revisión bibliográfica realizada



Así mismo, en la figura 3 se puede observar que de los 51 artículos analizados el 45 % corresponde a la temática de transición energética, en la que se

emplean diferentes metodologías para el aprovechamiento de la cascarilla de café, el 33 % corresponde a artículos enfocados a la caracterización de la cascarilla los que se dan a conocer propiedades físicas, químicas y calóricas que la permiten ser considerada como biomasa y utilizar sus características para diferentes aplicaciones comunes y el 22 % restante corresponde a artículos en los que se dan a conocer metodologías y alternativas enfocadas a contrarrestar los efectos negativos producto del manejo y disposición inadecuada de la cascarilla de café por parte de los agricultores e industrias especializadas en el tema.

## **Análisis de temáticas**

*La cascarilla de café.* La caracterización fisicoquímica y calórica de la cascarilla de café es de especial importancia, pues con base en esto se puede conocer si este residuo puede ser considerado como biomasa. En la tabla 3 se realizó una comparación de datos de diversos autores, la que se destacan y comparan diferentes parámetros del residuo. De acuerdo con Toscano (2009) y Arias y Meneses (2016), el poder calorífico de la cascarilla se encuentra entre 14215 kJ/kg y 31204 kJ/kg, respectivamente. Estos valores, con tan notable diferencia, pueden deberse al tipo de café o al

lugar donde es cultivado, teniendo en cuenta que estos autores realizaron la investigación en Guayaquil, Ecuador, donde se siembra arábigo lavado, arábigo natural y robusta y en Managua, Nicaragua, la variedad arábigo. Con respecto al porcentaje de humedad, se observa que se encuentra en un promedio de 10,6 %, siendo el valor mínimo reportado entre 8,6 % y 9,3 %. Cabe mencionar que para procesos energéticos la biomasa debe de tener un contenido de humedad inferior al 30 %. El material volátil y el diámetro de la partícula son directamente proporcionales, pues al disminuir el tamaño de la partícula la cantidad de volátiles se reduce y, además, la ceniza aumenta como lo reportado por Arias y Meneses (2016) y Manals, Salas y Penedo (2018). Igualmente, en la misma tabla, como parte del análisis último realizado en Toscano (2009), Manals, Salas y Penedo (2018) y Conesa et al (2016) se destaca que los valores estuvieron en el rango establecido por los autores expuestos; en este apartado no hubo mucha diferencia entre estos. Entre otros elementos componentes de la cascarilla se encuentran el azufre con un porcentaje mínimo de 0,3 % y el fósforo y el potasio con 0,07 % y 2,67 %, respectivamente. El calcio con un porcentaje superior de 3,01 % y magnesio 0,33 % (Conesa et al., 2016). De

ahí que los metales alcalinos y alcalino-térreos abundan en las cenizas de cáscara de café, estas podrían ser adecuadas para reemplazar a los feldespatos tradicionales que se usan mayoritariamente como fundentes en formulaciones cerámicas a base de arcilla (Acchar, Dutra y Segadães, 2013). Por otra parte, el porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina observada en la tabla 2 reportado

por Arias y Meneses (2016) y Álvarez (2016) difieren alrededor de 12 %, 19 % y 7 %, respectivamente. Estas diferencias son atribuibles a la diversidad del café cultivado; sin embargo, los valores obtenidos son ideales para la obtención de azúcares más simples y bioetanol a través de la transformación de la celulosa (Arias y Meneses, 2016).

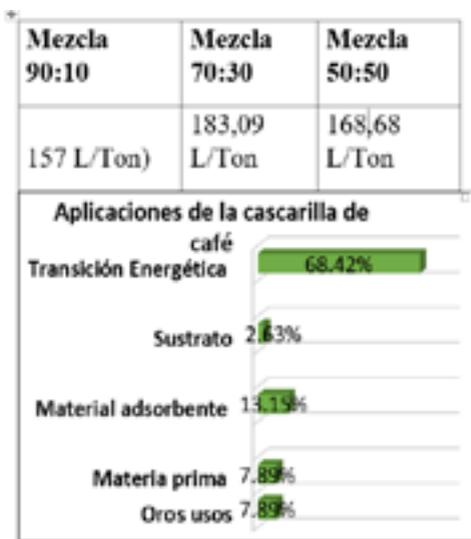
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica y calórica de la cascarilla de café según diversos autores

Caracterización fisicoquímica y calórica de la cascarilla de café					
Parámetros	[16]	[17]	[18]	[19]	[21]
Poder calorífico (kJ/kg)	14215	-	31 204,27	-	-
Contenido de humedad (%)	10	10,1	8,6	15	9,3
Material volátil (%)	-	82	87,7	-	-
Contenido de cenizas (%)	0,6	1,2	10,5	5,4	3,2
Carbono (%)	46,4	50,3	-	-	44
Hidrógeno (%)	4,86	5,3	-	-	6,1
Oxígeno (%)	46,7	43,8	-	-	45,3
Nitrógeno (%)	0,59	<1	-	-	1,1
Azufre (%)	0,59	-	-	-	0,3
Fósforo (%)	-	-	0,1	-	0,07
Potasio (%)	-	-	3,03	-	2,67
Calcio (%)	-	-	0,25	-	3,01
Magnesio (%)	-	-	0,05	-	0,33
Celulosa (%)	-	-	36,7	24,5	-
Lignina (%)	-	-	15,93	23,7	-
Hemicelulosa (%)	-	-	47,37	27,7	-

Hay que mencionar, además, que la cascarilla de café tiene diversas aplicaciones, las cuales pueden observarse en la figura 4. “Entre estas, se utiliza la cascarilla como sustrato en el crecimiento de la levadura *Candida utilis* con un rendimiento de 3,83 g/L de biomasa, proteínas 41,49%, 16,51% de azúcares totales, 4,07% lípidos y 15,99% de humedad” (Carrillo et al., 2011). Como materia prima según Roque, Medrano et al (2013) en la elaboración de materiales de construcción con una proporción de cascarilla del 10%; de igual forma, Coffea (2010) en la elaboración de papel a partir de la cascarilla debido al porcentaje de celulosa de la cascarilla de café (24,5% y 36,7%), principal componente del papel, y Acchar, Dultra et al. (2013), quienes utilizaron las cenizas de la cáscara de café como fundente en baldosas de cerámica. Por último, utilizadas como material biosorbente para el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes (Oliveira et al., 2008). Así mismo, la cascarilla de café es usada con total eficacia para la remoción de iones de  $Pb^{2+}$ , en los que la capacidad de adsorción máxima fue de 37,04 mg/g en soluciones acuosas (Alhogbi, 2017). Entre otros usos, se destaca la utilización de

esta en la erosión del suelo y escorrentía. En los resultados obtenidos se observó que los residuos de cáscara de café en la metodología de superficie y enterrados disminuyeron la escorrentía en 10,2% y 46%, correspondientemente. (Moreno, Quizembe e Ibáñez, 2014)

Figura 4. Porcentaje de artículos publicados en relación con las aplicaciones de la cascarilla de café



El porcentaje mayor de aplicación lo conlleva la transición energética de la cascarilla de café con un 68,42% observado en la figura 4, lo que da a relucir que se está empleando este residuo para

la generación de biocombustibles sólidos, físicos y gaseosos; además de la generación de energía, como es posible observar en la figura 5.

Figura 5. Porcentaje de las categorías con mayor aplicación energética de la cascarilla de café



Tabla 4. Resultados de la comparación de mezclas realizadas por A. Álvarez Hincapié

Mezcla 90:10	Mezcla 70:30	Mezcla 50:50
157 L/Ton	183,09 L/Ton	168,68 L/Ton

Fuente: Álvarez (2016).

Transición energética. La reconversión energética de la cascarilla de café se emplea mayoritariamente en la generación de biocombustibles. Moraima y Simbaña (2016) afirman que “la adecuación de biomasa y fabricación de biocombustibles sólidos, es una de las principales alternativas para satisfacer la demanda energética de las empresas; además de utilizar residuos agroindustriales es una fuente para la generación de empleo”.

De acuerdo con las propiedades observadas en la tabla 3, “la cascarilla es considerada como materia prima apta para la elaboración de biocombustibles” (Arias y Meneses, 2016). La obtención de etanol de material lignocelulósico a partir de la cascarilla de café es una metodología beneficiosa, pues este residuo presenta un alto contenido de celulosa, sustrato de interés para la obtención de etanol, considerándose viable la generación a partir de este residuo agrícola (Vásquez, 2015). Así mismo, Tehrani, Aznar et al. (2015) obtuvieron tasas de producción de etanol entre 1,1 y 0,70  $gh^{-1} kg^{-1}$  sin pretratamiento 2,7 y 2,3  $gh^{-1} kg^{-1}$  y sustancia seca con pretratamiento suave respectivamente. Igualmente, Álvarez empleó el bagazo de caña de azúcar y la cascarilla de café, además de la mezcla de estas en porcentajes 90:10, 70:30, 50:50, respectivamente, para la producción de bioetanol, teniendo como premisa que el bagazo de caña de azúcar posee un alto rendimiento para la producción de etanol de 300-359 litros de etanol por tonelada de bagazo de caña de azúcar. Los valores obtenidos se pueden observar en la tabla 4. Con 183,09 L/Ton, la mezcla 70:30 resultó ser la mejor opción.

En Villanueva, teniendo en cuenta que al año 2014 se produjeron 734 to-

neladas de café (MADR, 2014) y que se estima que por cada tonelada de frutos de café se producen alrededor de 0,18 toneladas de cascarilla de café (Álvarez, 2016), la cantidad generada fue de 132,12 toneladas de cascarilla en ese año. De la misma manera y tomando como premisa lo afirmado por Álvarez (2016), “por tonelada de cascarilla de café se producen entre 286,63 y 351,13 litros de etanol” en el municipio se producirían cerca de 46391,3 litros de combustible.

De otra forma, Dos Santos, Herrera et al. (2013) ejecutaron el proceso de ozonización de las cáscaras de café para la generación de hidrolizados que se emplearía en la producción de biogás mediante digestión anaeróbica, en la cual la producción más alta de metano fue de 36 NmLCH<sub>4</sub>/g CH, en la que se recuperó 0,064 kJ/g CH de energía. Posteriormente, se agregó carbón activado en polvo debido a la presencia de compuestos tóxicos en el hidrolizado, lo cual mejoró la producción de biogás en 86 NmLCH<sub>4</sub>/gCH y 0,58 kJ/gCH en recuperación de energía, respectivamente. Teniendo en cuenta la recuperación de energía obtenida y el total de cáscaras producidas en el 2017 (2,7 millones de toneladas), si todos los residuos se transforman en

metano el potencial de energía sería de 0,435 GWh (Dos Santos et al., 2018). En Villanueva el potencial estaría alrededor de  $2,43 \times 10^{-2}$  GWh con 132,12 toneladas de cascarilla de café producidas en el 2014.

En otro orden de cosas, las briquetas desarrolladas a partir de cascaras de café son empleadas como fuente de combustible sostenible para labores domésticas de cocina. En este proceso se debe tener en cuenta que se necesita de aglutinantes para de esta manera cohesionar los materiales; en este caso, Lubwama y Yiga (2017) usaron arcilla y almidón de yuca y la cascarilla de café con aglutinante de yuca presentó el valor de calentamiento más alto 21,9-23,0 MJ/kg, mientras que el de arcilla 13,0 a 19,523 MJ/kg; esto es debido al tipo de aglutinante utilizado pues, en general, cambia propiedades físicas como su porcentaje calorífico y frente a la presencia de ceniza de SiO<sub>2</sub> en la arcilla. Igualmente, Moraima y Simbaña (2016) destacan que “una briqueta de residuos lignocelulósicos en promedio puede superar las 3500 kcal. kg<sup>-1</sup> en comparación de la leña que bordea los 2300 K. cal. Kg<sup>-1</sup>”. En la tabla 5, los resultados demostraron que la cascarilla de café compacta en un bloque sólido supera ampliamente la

leña de eucalipto y de espino en cuanto a sus poderes caloríficos.

**Tabla 5. Relación de poderes caloríficos de la briqueta de cascarilla de café, la leña de eucalipto y leña de espino**

Briqueta de cascarilla de café	Leña de eucalipto	Leña de espino
4162, 31 k. cal. kg <sup>-1</sup>	2173,90 k. cal. kg <sup>-1</sup>	2236,24 k. cal. kg <sup>-1</sup>

Fuente: Moraima y Simbaña (2016).

Por otra parte, Dicoovski, Pichardo et al. (2014) reemplazaron la leña con briquetas elaboradas de cascarilla de café en la producción de rosquillas de maíz, resultando que las briquetas constaban de un 25% más de poder energético que la leña de ripio de pino, además de que la generación de ceniza es muy poca en comparación con la leña. Otra ventaja de las briquetas de cascarilla de café es que no afecta la valoración sensorial de las rosquillas de maíz.

Por lo que se refiere a la generación de energía eléctrica, en la figura 5 se observa que es muy poca la aplicación realizada en esta temática, teniendo en cuenta el alto precio de las fuentes tradicionales de energía, la elevada demanda y los impactos ambientales por el uso de esta. D. Arenas Castellano (2009) propuso un gasificador en el cual el gas sea

usado por un generador de 15 y 25 kW debido a que las fincas escogidas como objeto de estudio consumen mensualmente 3443 kWh. Considerando que la cascarilla de café cuenta con un porcentaje de humedad por debajo del 12% y su contenido de celulosa es mayor del 50%, es un recurso atractivo para ser empleado en el proceso de gasificación con el objetivo de obtener energía eléctrica.

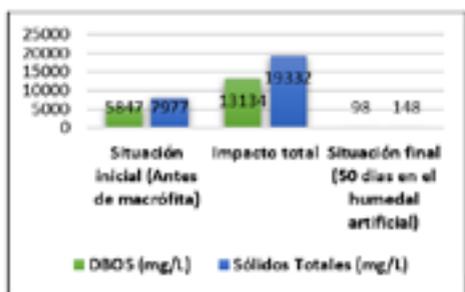
### **Impactos ambientales y alternativas para contrarrestar el inadecuado manejo de subproductos del café**

En la vía húmeda de procesamiento del café el consumo de agua es alrededor de 4,2 L por kg de café cuando es utilizado el tanque de fermentación donde se elaboran las aguas mieles, las cuales al ser descargadas a los ríos incrementa la concentración de la materia orgánica, por lo que la acidez propia es afectada y el oxígeno disuelto disminuye. Esta problemática resulta en una disminución de biodiversidad en los cuerpos de agua. (Cárdenas, Arévalo y Vásquez, 2013)

De esta manera, Garay y Rivero (2014) consideran que “la depuración de

las aguas residuales mediante la construcción de un biosistema o humedal con la presencia de macrófitas sembradas como *Eichhornia crassipes* en donde se almacenan las aguas del lavado del café es una metodología totalmente eficaz” a partir de los resultados obtenidos en la figura 6.

Figura 6. Relación de DBO5 y sólidos totales en un humedal con macrófita *Eichhornia crassipes*.



Fuente: Garay y Rivero (2014).

Al cabo de 50 días en el humedal artificial se alcanzó una reducción de 86,57% y 98,14% para la DBO5 y st, respectivamente (Garay y Rivero, 2014).

De la misma manera Pérez, Castillo et al. (2010) mencionan que la deforestación y pérdida de biodiversidad entendida como “una crisis de la civilización moderna, marcada por el deterioro de la naturaleza y una pésima calidad de vida”, viene siendo propiciada por los monocultivos de café.

La erosión del suelo causado por este tipo de monocultivos también es de considerar, pues en áreas de alta precipitación pluvial el nitrógeno del suelo se pierde cerca de tres veces más en plantaciones sin sombra en concordancia con áreas con sombra. En relación con el vertimiento de aguas mieles, se afirma que

la disminución en los volúmenes de agua vertida equivale a una disminución en la contaminación generada por lo que actualmente se habla de “beneficios ecológicos” que favorecen el menor consumo de agua en las plantas de café como, por ejemplo, la recirculación del efluente en el propio beneficio y purificación de las aguas residuales. (Pérez et al., 2010)

Garay y Rivero (2014) consideran que para la obtención del café pergamino se necesitan 10 L de agua por kilogramo de café fresco; lo que quiere decir que se gasta 1m<sup>3</sup> de agua dulce por cada 1,7 quintales de café. Si se conoce que, en el municipio de Villanueva, en el 2014 se produjeron 7340 quintales de café por cosecha, respecto a la relación mencionada, se tendría una contaminación aproximada de 4317000 litros de agua dulce, atentando de esta manera con uno de los mayores recursos del municipio.

En otros casos más impactantes, las cascarillas son arrojadas a las corrientes de agua, generando un aumento de principal importancia de la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, incremento en la temperatura del agua, proliferación de olores y, consecuentemente, pérdida de la calidad visual. Normalmente se presenta en épocas de cosecha en donde imposibilita el aprovechamiento del agua en acueductos, afectando la fauna y prohibiendo usos recreativos. (Garay y Rivero, 2014)

Por su parte, Pantoja, Rosero y Rosero (2016) afirman que, a pesar de las investigaciones realizadas por Cenicafe, aún existen zonas cafetaleras donde se utilizan más de 20 litros de agua limpia por cada kilogramo de café pergamino

en el proceso de lavado y despulpe, así mismo, los subproductos: cascarilla, pulpa y mucilago son descargados en caños y ríos aledaños a fincas, generando graves afectaciones ambientales. Al respecto, Rodríguez y Zambrano (2010) reportan que “si se despulpara 5 kg de cereza de café y esta pulpa es arrojada directamente a las corrientes de agua, la contaminación sería similar o equivalente a los excrementos y orina generados por 6 personas en un día”.

Del mismo modo, en Beyene et al. (2012) se evidenció un deterioro ecológico en los ríos aledaños, en los que son descargados los desechos orgánicos de las industrias de procesamiento de café. Los valores promedio de este análisis se pueden denotar en la tabla 6.

**Tabla 6. Valores promedio de las características fisicoquímicas para los sitios de muestreos impactados por el procesamiento del café en relación con los sitios no impactados en el 2007 y 2008**

Parámetro	Muestro temporada húmeda (2007)		Muestro temporada seca (2008)	
	Sin impacto	Impactado	Sin impacto	Impactado
DBO (mg/L)	31	436	13	18
OD (mg/L)	6,2	5,2	6,3	6,2
SDT (mg/L)	117	170	101	120
SST (mg/L)	192	598	152	158
pH	7	6,2	7,2	7,1
Nitrato (mg/L)	1,5	6,8	3,1	14
Amoniaco (mg/L)	0,3	11	0,03	4

Fuente: Beyene et al. (2012).

En la tabla 6 se observa que entre los sitios sin impacto y con impacto por parte del procesamiento del café existe una notable diferencia como es el caso de la DBO y SST, prestando especial importancia a la disminución del oxígeno disuelto en la temporada húmeda, que determina que la presencia de materiales orgánicos oxidables de los residuos de café fueron causantes de la desoxigenación casi completa del sistema acuático, ocasionando que el impacto ejercido persistiera durante un tiempo excesivamente prolongado Beyene et al (2012). Esto significa que como en Villanueva no se realiza ningún tipo de tratamiento a la cascarilla de café, seguramente el recurso acuático se está viendo afectado de la misma manera y el impacto a la calidad del agua es considerablemente alto. Si se lleva al entorno estudiado en la temporada húmeda parámetros como la DBO, SDT y SST se aumentan en un 93 %, 59 % y 75 %, respectivamente.

## Conclusiones

1. La cascarilla de café es una fuente residual de biomasa con alto poder calorífico y con una eficiencia energética sustentable que brinda un sinnúmero de beneficios en cuanto al aprovechamiento del residuo agrícola para la generación de biocombustibles e, inclusive, como sustrato y como material adsorbente.
2. La caracterización fisicoquímica de la cascarilla de café es el parámetro determinante para la cantidad de generación de biocombustibles, sin embargo, este residuo presenta notables diferencias en todo el mundo debido a las condiciones de los suelos, del clima y de la preferencia del café cosechado, pues cabe destacar que son muchas las especies existentes de este fruto empleadas en diversos productos.
3. La elaboración de briquetas provee una alternativa sostenible para la utilización de este potencial energético en la generación de un comburente doméstico que proporciona más energía por unidad de volumen que el carbón y la leña.
4. El recurso hídrico es de los más afectados, pues las aguas residuales producto del beneficiado húmedo del café impactan agresivamente por ser aguas ácidas, alterando el agua dulce receptora con un pH alrededor de 5.
5. Se determinó que en el municipio de Villanueva, La Guajira, en el 2014, se generaron cerca de 132,12 toneladas de cascarilla de café, las cuales no tuvieron utilización alguna, conta-

minando cerca de 4 317 000 litros de agua dulce, desaprovechando la posibilidad de producir cerca de 46 391,3 litros de etanol y un potencial energético de GWh.

6. El aprovechamiento de la cascarilla de café en el municipio permite reducir la contaminación del agua, atmósfera y suelo, además de disminuir la deforestación indiscriminada producto del uso de la leña.

## Referencias

- Acchar, W., Dultra, E. y Segadães, A. (2013). Untreated coffee husk ashes used as flux in ceramic tiles. *Applied Clay Science*, 75-76, 141-147.
- Alhogbi, B. (2017). Potential of coffee husk biomass waste for the adsorption of Pb(II) ion from aqueous solutions. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 6, 21-25.
- Álvarez Hincapie, A. (2016). "Caracterización fisicoquímica de varios residuos agroindustriales y sus mezclas para la producción de biocombustibles". 85.
- Arenas Castellano, D. (2009). "Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café". 147.
- Arias, R. y Meneses, J (2016). Caracterización residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol. *Laboratorios de Química UNAN-Managua*.
- Barón, L. (2014). "Evaluación de la cascarilla de café como material adsorbente para la remoción de iones plomo Pb<sup>2+</sup> presente en soluciones acuosas", p. 67.
- Beyene, A., Kassahun, Y., Addis, T., Assefa, F., Amsalu, A., Legesse, W., Kloos, H. y Triest, L. (2012). The impact of traditional coffee processing on river water quality in Ethiopia and the urgency of adopting sound environmental practices. *Environ. Monit. Assess.*, 184(11), 7053-7063.
- Cárdenas Arévalo, J. y Vásquez López, J. (2013). "Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras". p. 22.
- Carrillo, M., Zavala, D., Alvarado, K. Morales, S. y Bautista, P. (2011). Obtención de biomasa a partir de cáscara de café. *Revista Académica de Investigación*, 14.
- Coffea (2010). La cascarilla de cafe como materia prima para elaborar papel. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Conesa, J., Sánchez, N., Garrido, M. y Casas, J. (2016). Semivolatile and Volatile Compound Evolution during Pyrolysis and Combustion of Colombian Coffee Husk. *Energy and Fuels*, 30(10), 7827-7833.
- Cubides-Hernández, A. y Montaña-Martínez, C. (2017). Evaluación del impacto ambiental generado por los residuos peligrosos en el sector agrícola en la vereda de Chámeza, municipio de Nobsa, Boyacá. *Sogamoso, Boyacá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.
- De Oliveira, J., Da Silva, J., Graciosa Pereira, E., Oliveira Filho, D. y Rizzo Carvalho, D.

- (2013). Characterization and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 52-58.
- De Oliveira, J., Da Silva, J., Martins, M., Pereira, E. y Da Conceição, M., Trindade Bezerra e Oliveira (2018). Gasification of waste from coffee and eucalyptus production as an alternative source of bioenergy in Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 159-166.
- Dicovski, L., Pichardo, C., Rodríguez Celedón, A., Martínez Centeno, B. y Rodríguez Espinoza, K. (2014). Validación de briquetas elaboradas con cascarilla de café para el remplazo de leña en la producción de rosquillas de maíz. Validation briquettes made whit deseeded coffee for replacement of wood in the production of corn rosquillas. *El Higo*, 4, 10-19.
- Dos santos, L., Herrera Adarme, O., Lobo Baeta, B., Alves Gurgel, L. y Francisco de Aquino, S. (2018). Production of biogas (methane and hydrogen) from anaerobic digestion of hemicellulosic hydrolysate generated in the oxidative pretreatment of coffee husks. *Bioresour Technol.*, 263, 601-612.
- Franca, S. y Oliveira, L. (2009). *Coffee Processing Solid Wastes: Current Uses and Future Perspectives*.
- Garay Roman, J. y Rivero Méndez, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 11(1), 43-50.
- Granados, C. (1994), “El impacto ambiental del café en la historia costarricense”. p. 34.
- Louzada, L., Fonseca, L. y De Oliveira, J. (2016). Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater on seeds, roots and meristematic cells of *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 366-372.
- Lubwama, M. y Yiga, V. (2017). Characteristics of briquettes developed from rice and coffee husks for domestic cooking applications in Uganda. *Renewable Energy*, 118, 43-55.
- Manals-cutiño, E., Salas-tort, D. y Penedo-Medina, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café”. XXXVI-II(1), 198-213.
- Mera Aguas, M. y Simbaña Villarreal, E. (2016). Evaluación de la capacidad calorífica de biocombustible sólido a partir de residuos lignocelulósicos de café. *Axioma*, 35-41.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2014). Principales cultivos por área sembrada en el año 2014. Cultivo.
- Moreno-Ramón, H., Quizembe, S. y Ibáñez-Asensio, S. (2014). Coffee husk mulch on soil erosion and runoff: Experiences under rainfall simulation experiment. *Solid Earth*, 5(2), 851-862.
- Municipio de Villanueva (2000). Esquema de ordenamiento territorial, análisis y síntesis territorial. Parte I.
- Oliveira, L., Franca, A., Alves, T. y Rocha, S. (2008). Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents for treatment of dye contaminated waters. *Journal of Hazardous Materials.*, 155(3), 507-512.

- Oliveira, W., Franca, A., Oliveira, L. y Rocha, S. (2008). Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 152(3), 1073-1081.
- Pantoja-Figueroa, C., Rosero-Rodríguez, A. y Rosero Rodríguez, L. (2016). “Los residuos de la poscosecha del café 1.” San Juan de Pasto, pp. 1-78. of *Lactuca sativa L.*”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 366-372.
- Pérez Díaz, N., Castillo Ramos, R., Carballo Abreu, L. y Veliz Gutiérrez, J. (2010). “Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social”. 22.
- Rodríguez, N. y Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Avances Técnicos Cenicafé*, 3, 8.
- Romero, R. y Mamani, R. (2013). Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café. *Biomass and Bioenergy*, 15, 241-252.
- Roque, H., Medrano, J. y Sierra, J. (2013). Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción. *El Higo. Revista de Ciencia y Tecnología*, 3, 7-9.
- Sinergia (2006). Producción respetuosa en viticultura. Impactos ambientales en agricultura. Proyecto Life Sinergia, 1-11.
- Tehrani, N., Aznar, J. y Kiros, Y. (2015). Coffee extract residue for production of ethanol and activated carbons. *Journal of Cleaner Production*, 91, 64-70.
- Toscano, L. (2009). “‘Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa’ (aplicación a biomásas locales típicas)”, 181.
- Vázquez Morales, O. (2015). “Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación”. 150.

# Caracterización y clasificación geomecánica del depósito de cobre localizado en el corregimiento de Camperucho, municipio de Valledupar, Cesar

Luis Araujo<sup>1</sup>, Yasuana Britto<sup>2</sup>, Keyla Meza<sup>3</sup>, J. Olivella<sup>4</sup>

## Resumen

En las obras mineras, principalmente en aquellas a cielo abierto, se realizan numerosas excavaciones que requieren el diseño y control de los taludes abiertos; para este control se requiere explicar el comportamiento geomecánico del terreno, al igual que conocer las características de resistencia de este, para luego poder implementar los equipos necesarios para la seguridad y el rendimiento de la extracción. Este artículo presenta el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del depósito de cobre perteneciente a la formación Guatapurí (Tgr), localizado en la vereda Camperucho, corregimiento de Mariangola, municipio de Valledupar, Cesar. Para la realización de la clasificación geomecánica se tomaron datos de 548 diaclasas en los tres frentes de explotación en el que se encuentra dividida la zona de estudio. En el laboratorio se determinaron las características físico-mecánicas de las rocas. Al tabular la información y obtener los resultados del *software dips* se determinaron tres familias de discontinuidades, de las cuales se observan los diagramas de polos y la concentración de los mismos; además, luego de obtener el criterio de rotura de Hoek-Brown, se realizó la caracterización global, la cual determino que este macizo presenta una calidad media.

**Palabras clave:** estabilidad de taludes, mecánica de rocas, minería cielo abierto.

1 Ingeniero de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, programa Ingeniería de Minas. Valledupar, Colombia. Correo: laraujo@areandina.edu.co

2 Ingeniera de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, programa Ingeniería de Minas. Valledupar, Colombia. Correo: yabritto@areandina.edu.co

3 Ingeniera de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, programa Ingeniería de Minas. Valledupar, Colombia. Correo: kemeza@areandina.edu.co

4 Ingeniero de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina, programa Ingeniería de Minas. Valledupar, Colombia. Correo: joolivella@areandina.edu.co

## Introducción

El área de estudio se encuentra en el borde oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, básicamente está constituida por materiales aluviales del río Garupal que cubren las rocas antiguas vulcanosedimentarias de edad jurásica, correlacionables con la formación Guatapurí y rocas plutónicas (Batolito de Pueblo Bello). En la zona del corregimiento de Caracolí afloran, en su mayor parte, intrusivos pertenecientes a las rocas volcánicas ignimbríticas (Jvi) y riolitas (JKvr). Las rocas sedimentarias que afloran hacen parte de la formación Guatapurí (Tgr) y la formación Cogollo. La nomenclatura geológica utilizada corresponde a la propuesta por Tschanz y otros (1965).

- Rocas sedimentarias. Formación Guatapurí (Tgr). Esta formación aflora en la parte media del río Guatapurí, de donde toma su nombre, y desde este sitio hasta el arroyo las Lajas cerca de la carretera Valledupar, Bosconia. La unidad puede dividirse en dos conjuntos: una parte predominante volcánica, con algunas intercalaciones sedimentarias y una parte superior compuesta por limolitas rojizas a violáceas con intercalaciones

tobáceas y de otras rocas pertenecientes a la parte superior de la formación.

- Formación Cogollo (Kmc). Según un estudio realizado por Ingeominas (1994) “esta formación se encuentra en la región sur de la Sierra Nevada constituido por calizas en un 60%, 15% de caliza arcillosa y 25% de lutita”.

## Geología del yacimiento

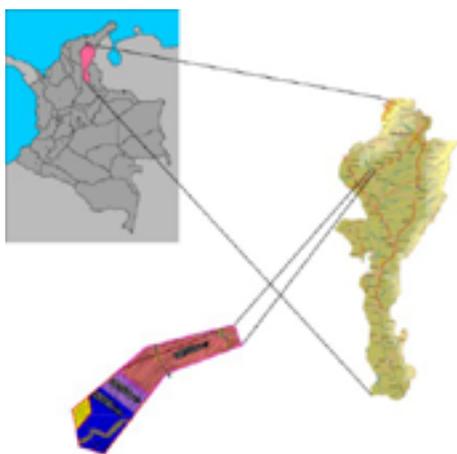
Las manifestaciones minerales de cobre se encuentra presentes en el área de estudio están representadas por malaquita con asociaciones de azurita, rellenando fracturas de rocas extrusivas de tipo riolítico y tobáceo y brechas poco o nada alteradas con poca mineralización de sulfuros con cobre nativo diseminado y cuarzo lechoso, las fracturas mineralizadas tienen una dirección preferencial al NW con inclinaciones de hasta 90 grados y están asociadas principalmente al intenso fracturamiento del área, influenciados por la falla Bucaramanga-Santa Marta y la falla en dirección NE como son la falla Cesarito al sur y la falla Maizmorcho; al norte se encuentran afectando rocas sedimentarias pertenecientes a la formación Guatapurí y Cogollo (Trabajos de Exploración y Programa de Trabajos y Obras, 2012).

## Materiales y métodos

### Localización

Localmente el proyecto se encuentra ubicado en las partes adyacentes al carreteable que comunica al municipio de Valledupar con el municipio de Bosconia, a la altura del sector de Caracolí de la vereda Camperucho, localidad situada en el valle oriental del río Cesar, a unos 50 km de Valledupar.

**Figura 1.** Localización del área de estudio.



### Procedimiento

La caracterización geomecánica se realizó basándose en los datos obtenidos en los trabajos de campo y con los resultados de los ensayos de laboratorios. El depósito de cobre está dividido en tres

frentes de explotación, en cada frente de se hizo un muestreo aleatorio simple de las muestras para ser llevadas al laboratorio. En estos tres frentes se realizó una descripción de las características generales del afloramiento, la cual consideró la identificación de las características generales del afloramiento y sus respectivos componentes. En cada zona se realizó una descripción general.

Para los ensayos de laboratorio se recolectaron las muestras directamente del macizo. Con estas muestras se llevó a cabo la ejecución del ensayo de compresión simple, para el cual se llevaron 6 muestras al laboratorio, teniendo en cuenta las normas: ASTM d3148-02 y ASTM d454; además, se realizó la prueba de desgaste utilizando la máquina de los ángeles, con el fin de determinar resistencia a la trituración o abrasión de la roca presente en la zona de estudio. Todo esto regido por la norma INV e-218.

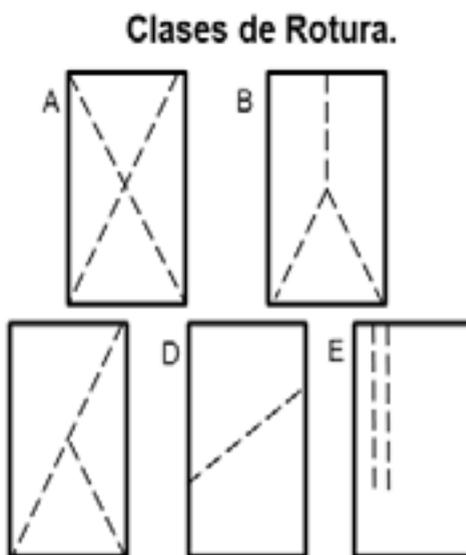
Luego de los ensayos de laboratorio se realizó una descripción detallada de cada zona, enumerando las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso y de las discontinuidades, midiendo aspectos como el número de familias de discontinuidades, orientación y características representativas de las mismas; para esto se utilizó el software dips.

**Tabla 1.** Valores obtenidos en la resistencia a la compresión simple

Muestra n.º	Resistencia la compresión simple (MPA)	Tipo de rotura
1	3	A
2	7	B
3	7	A
4	16	E
5	44	B
6	-	-

**Figura 2.** Clases de rotura de la roca

En la caracterización global del macizo rocoso se proporcionan las condiciones geológicas y geomecánicas del macizo en su conjunto. Esto para determinar los parámetros de resistencia de masas de la roca, datos que son ingresados en el programa RocLab, el cual está basado en la última versión del criterio de falla generalizado de Hoek-Brown. Algunos de los datos necesarios para parametrizar el software RocLab fueron el tipo de roca presente en el área de estudio, en este caso se escoge la rolita ya esta es la roca caja de los minerales asociados al cobre como lo son la azurita y la malaquita. Por último, y teniendo en cuenta el dimensionamiento geométrico del talud, se determina el factor de seguridad con la ayuda del software Slide de Rocscience.



## Resultados

Las características identificadas en este estudio son las que definen el esfuerzo máximo que soporta la roca, la resistencia a la abrasión y la clase a la

que pertenece según la clasificación RMR.

## Esfuerzo máximo

Para el cálculo del esfuerzo, se realizó el ensayo a compresión simple a seis muestras, el cual arrojó como resultado:

$$x = \frac{16+3+7+7+44}{5} = 15.4 \text{ MPA}$$

## Resistencia al desgaste

De esta prueba se obtuvo que el porcentaje de desgaste de la muestra fue del 22,43 %. Este porcentaje, según las normas Inviás E-218 y E-219, es una roca abrasiva, que se puede utilizar como material de base granular con un porcentaje de arena equivalente al 30 %.

Luego de obtener las propiedades físicas de la roca, pasamos a realizar la clasificación RMR, que fue desarrollada por Bieniawski (1973), “la cual constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo”. Los parámetros son los relacionados a continuación:

- Resistencia a la compresión uniaxial: 15,4 MPa
- Índice de calidad de la roca (RQD): 75-90%

- Separación entre diaclasas: <0,006 m
- Estado de las discontinuidades:
- Longitud de la discontinuidad: <1 m
- Abertura: <0,01 mm
- Rugosidad: ligeramente rugosa
- Relleno: ninguno
- Alteración ligeramente alterada.
- Presencia de agua: seco.

## Comportamiento de las familias de discontinuidades

Para realizar este análisis se tuvo en cuenta las distintas diaclasas tomadas en el área de estudio (548), con las cuales, a través del software dips de Rocscience, se analizaron las principales familias de discontinuidades presentes en esta área y se obtuvieron las siguientes gráficas: Con el valor obtenido del RMR, las direcciones de las discontinuidades y del talud se procede a realizar la clasificación SMR, la cual es una corrección del RMR, propuesta por Romana (1985) en 1985, para predecir el comportamiento de los taludes en roca. La expresión del SMR es la siguiente:

Figura 3. Polos

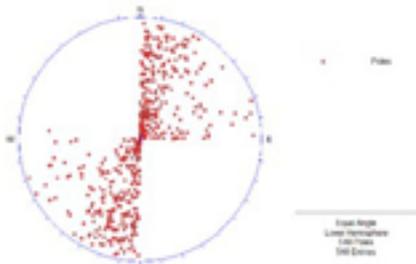


Figura 4. Discontinuidades

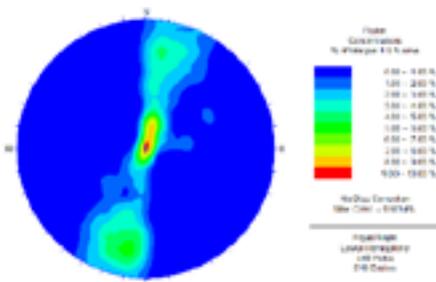
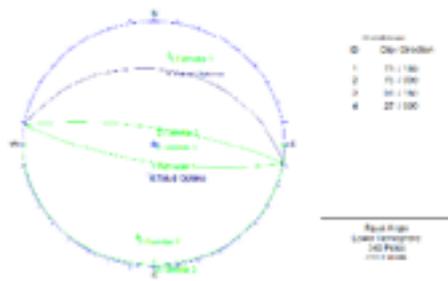


Figura 5. Talud



## Resultados

- $F1 = [1 - \text{SEN} (73 - 27)]$
- $F1 = 0,28$
- $F2 = \text{TAN} (73)^2$
- $F2 = 4.01$
- $F3 = P = 73 - 27 = 46$   
 $T = 73 + 27 = 100$   
 $46/100 = 0,46$
- $F4 = 0$

$F4$  es cero debido a que en la excavación mecánica de los taludes por ripado solo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o la roca blanda.

Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello, el método ni mejora ni empeora la estabilidad.

## Rotura de la roca

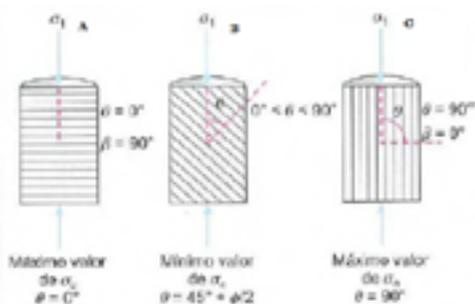
Como resultado de la parametrización del software RocLab con las condiciones geológicas y geomecánicas del macizo se obtuvo las siguientes características geomecánicas del macizo

Tabla 2. Criterio de rotura de Hoek Brown obtenidos en el software RocLab

Descripción	Valor
Resistencia a compresión simple	15,4 MPa
Constante de Hoek y Brown	25
Índice de esfuerzo geológico	65
Ángulo de fricción interna	58,44°
Cohesión	0,188 Mpa
Esfuerzo de tensión	-0,026
Módulo de deformación	6048,86 Mpa

En las muestras 4 y 5 del ensayo de compresión simple se observan diferencias significativas respecto al resultado obtenido, en comparación a los obtenidos del resto de las muestras; las diferencias se deben a que cuando la roca presenta anisotropía su resistencia compresiva para un mismo esfuerzo varía según el ángulo  $\beta$  entre la dirección de los planos de anisotropía y la dirección de la carga aplicada, pudiendo presentar valores muy diferentes (figura 6).

Figura 6. Anisotropía en rocas



Fuente: González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002, p. 159).

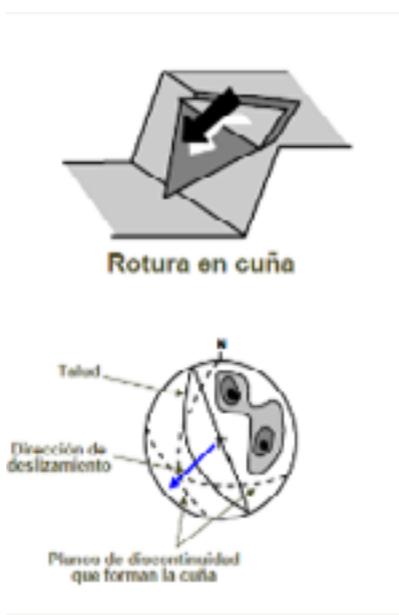
En las muestras que presenten una dirección de planos como la figura 6A presentan menor resistencia en comparación con aquellas que presentaron una dirección de planos de la figura 6C.

En cuanto a la muestra número 6, podemos indicar que los planos de debilidad preexistentes en esta muestra no permitieron realizar el ensayo dado que

estos controlan los procesos de deformación y dividieron la muestra al momento de hacer la extracción del núcleo

En el análisis de las familias de discontinuidades se obtuvieron tres familias de, que a partir del análisis cinemático mediante proyección estereográfica se deduce que la inestabilidad se presenta por una rotura en cuña.

**Figura 6.** Rotura en cuña



Teniendo en cuenta estos resultados y según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, encontramos una roca blanda, dado que su resistencia a la compresión simple es de 15,4 Mpa, y, según la clasificación RMR, el terreno se clasifica como un macizo rocoso de

clase III, el cual se considera un macizo de calidad media, con un valor final en la evaluación de 59.

## Conclusiones

Dadas las condiciones del terreno, las condiciones más favorables para el talud serían una altura de banco máxima de diez metros, con un ancho de la vía de siete metros y un ángulo de fricción interna de  $58,44^\circ$ .

Teniendo en cuenta el dimensionamiento geométrico de talud, y luego de realizar la modelación del talud en el programa Slide de Rocscience, se obtuvo como resultado un factor de seguridad de 2,079, usando el método de Bishop simplificado.

Dada la clasificación SMR una estabilidad de clase III. Este talud es normal, parcialmente estable y con desarrollo de muchas cuñas. El valor de SMR obtenido indica, además, que el talud necesita un tratamiento de carácter sistemático (Geología de Mayorca, 2006).

Debido a las condiciones del terreno y los resultados del ensayo de la compresión simple, además, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el Instituto Geológico Minero de España (IGME) en el libro Manual de perforación y voladuras en roca (López Jimeno,

Ayala-Carcedo, y Pernía Llera, 1994), se debe realizar una voladura de pequeño diámetro con las siguientes variables:

- Diámetro de barreno: 0.065 m
- Burden: 2,53 m
- Espaciamiento: 3,31 m
- Retacado: 2,27 m
- Sobreperforación: 0,65 m

Debido a la topografía de la zona de estudio y a que los yacimientos de cobre muchas veces no tienen rumbo ni buzamiento definido, el método de explotación que se puede aplicar es el método de cortas, con un botadero en el exterior.

El método de cortas, a pesar de tener una afectación ambiental tipo media-alta, por los estériles que se deben manejar, la restauración ambiental se puede iniciar en un periodo a mediano plazo, lo que lo convierte en un método seguro y amigable con el medio ambiente (Araujo, 2013).

## Referencias

- Araujo, L. (2013). Programa de trabajos y obras contrato de concesión HEF-152.
- Bieniawski, Z. T. (1973). The geomechanics classification of rock engineering application.
- Carrillo, M., Linkimer, L., Rodríguez, A. y Zúñiga, M. (1999). *Clasificación geomecánica y análisis de estabilidad de taludes de macizos rocosos*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de [http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to\\_pdf/revista/26/26-CARRILLO.pdf](http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to_pdf/revista/26/26-CARRILLO.pdf)
- Cartaya, M. (2006). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del país*. (Tesis doctoral). Recuperada de la base de datos Redalyc.
- Ferre, M. y González de Vallejo, L. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Geología de Mayorca (2006). Estudio de estabilidad de Taludes. Cantera Coma de S'aigua,
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Ingeominas (1994). *Evaluación del agua subterránea en el departamento del Cesar*. Informe Geológico. Bogotá, D. C.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2010). Exploración de materiales lapidarios en la Sierra Nevada de Santa Marta, departamentos del Cesar y La Guajira.
- López Jimeno, E., Ayala-Carcedo, F. y Pernía Llera, J. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. España: Instituto Geológico y Minero de España.

Páez, H. (2010). *La mecánica de rocas en la ingeniería de minas. Apuntes de mecánica de rocas*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.

Romana, M. (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Int. Symp.

Trabajos de Exploración y Programa de Trabajos y Obras. Contratos de Concesión LJJ-09471 y LJJ- 09211.

# Caracterización y restauración ecológica de suelos en minería de carbón a cielo abierto: antecedentes, técnicas actuales y búsqueda de nuevas técnicas para su tratamiento

Dayanna Oliveros<sup>1</sup>, Iván Molina<sup>2</sup>, Kellys Rodríguez<sup>3</sup>, Luis Díaz<sup>4</sup>

## Resumen

La remoción del suelo a causa de la minería de carbón a cielo abierto conlleva la pérdida de las propiedades del suelo y alteración drástica del paisaje, evidenciando la necesidad de caracterizar y la restaurar ecológicamente estos suelos. En este artículo se muestra el análisis realizado a diferentes artículos científicos relacionados con la caracterización y remediación de los suelos afectados por la minería. La restauración ecológica como ciencia moderna proviene del aporte segmentado de ciencias auxiliares que desde los años ochenta vienen aportando conocimiento tanto en el tema de caracterización, como en el porte de conocimiento a las técnicas empleadas.

Palabras clave: estériles, minería, remediación, suelo minero.

---

1 Estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. Estudiante investigadora del grupo de investigación Energía, Ambiente y Biotecnología. Valledupar, Colombia. Correo: [dayannaolb@gmail.com](mailto:dayannaolb@gmail.com)

2 Estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar. Estudiante investigador del grupo de investigación Energía, Ambiente y Biotecnología. Valledupar, Colombia. Correo: [molcor17@hotmail.com](mailto:molcor17@hotmail.com)

3 Ingeniera agroindustrial de la Universidad Popular del Cesar. Estudiante investigador del grupo de investigación Energía, Ambiente y Biotecnología. Valledupar, Colombia. Correo: [kellysrodriguez@unicesar.edu.co](mailto:kellysrodriguez@unicesar.edu.co)

4 Doctor en Ingeniería de la Fundación Universitaria del Área Andina. Docente investigador. Director del grupo de investigación Energía, Ambiente y Biotecnología. Valledupar, Colombia. Correo: [ldiaz164@areandina.edu.co](mailto:ldiaz164@areandina.edu.co)

## Introducción

El suelo puede definirse como la capa superficial de la corteza terrestre que resulta de la descomposición de las rocas, en el que se mezclan minerales, materia orgánica, aire y agua; y es el medio natural para que se desarrollen las plantas y comunidades de microorganismos que se adaptan a condiciones específicas.

La minería y actividades asociadas generan una gran cantidad de residuos pétreos y lodos ricos en metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero. Así, el suelo original de la mina se degrada o se pierde irreversiblemente. (Becerril et al., 2007)

Esta revisión se realizó con el objetivo de indagar sobre los estudios que han aportado conocimiento sobre la caracterización de lugares afectados por la minería en el componente suelo y la restauración ecológica de áreas afectadas.

Box (1978) propuso la definición de área drásticamente alterada como “aquella superficie de terreno en la cual vegetación y comunidad animal han sido eliminadas y la mayor parte de los horizontes superiores del suelo se han perdido, alterado o enterrado”. En estas

zonas, los procesos normales de sucesión ecológica secundaria pueden requerir períodos de tiempo superiores a la escala de la vida humana para alcanzar la recuperación de la situación original.

Algunas discusiones se encuentran planteadas sobre la caracterización tanto de los suelos no alterados, como de aquellos en los cuales se ha perdido la capacidad de mantener plantas. Arranz (2004), en su estudio doctoral, plantea consideraciones importantes:

Al emplear el concepto de suelo minero, aceptó, como ya lo hicieron Smith y Sobek (1978) y Opeka y Morse (1979), una moderna definición de suelo: el colectivo de cuerpos naturales de la superficie terrestre, en lugares modificados o, incluso, creados por el hombre a partir de materiales terrosos, que contienen materia viva, y soportan o son capaces de soportar plantas en su superficie. (U. S. Soil Conservation Service, 1975)

“Este punto de vista puede aplicarse tanto a los suelos altamente alterados, o hasta los fabricados artificialmente, como a los suelos naturales afectados por cualquier grado menor de alteración” (Smith y Sobek, 1978).

Más estrictamente, también se puede considerar que al finalizar los movimientos de tierras se encuentra en superficie un material que representa el momento cero en la edafogénesis, y las superficies mineras pueden ser consideradas nuevos suelos, que deberán atravesar el completo proceso de evolución y envejecimiento, incluso cuando los materiales expuestos en superficie sean capaces de sostener crecimiento vegetal antes de envejecer. (Lyle, 1978)

Las compañías mineras almacenan el suelo natural durante la fase de la minería del carbón y luego que se complete la minería, se retorna el suelo acopiado en la fase de restauración (Liu y Lal, 2014). Estos tipos de suelos de minas son muy degradados, contienen minerales levemente ácidos a neutro en pH y, por lo tanto, tienen relativamente buena calidad del suelo. La compactación del suelo o de la profundidad del suelo superficial es, a menudo, un problema para el establecimiento de una planta satisfactoriamente (especialmente árboles).

A finales de los noventa, muchas sociedades de las ciencias del suelo tenían definido los suelos en rehabilitación como Entisoles o Inceptisoles. Ejemplo de ello era la Clasificación Taxonómica Alemana (Ahrens y Engel, 1999).

La FAO (2006), a través de la sociedad World Reference Base for Soil Resources (WRB), aceptó el término technosol para referirse a aquellos suelos creados por técnicas utilizadas sobre materiales estériles para sostener plantas o pastos, pero diferenciada de los términos antrosoles e histosoles, y coincidiendo con los términos urban soil y mine soil. Meses después, la International Union of Soil Sciences (IUSS), aceptó el término.

## **Los estériles mineros y afectación del suelo por minería a cielo abierto**

### **Las propiedades y características**

La destrucción de la estructura del suelo previo al minado de los mantos de carbón y la ausencia de esta en el momento de rehabilitación o restauración ecológica de los suelos presenta una de las mayores limitantes. “La compactación reduce la macro-porosidad, aumenta la resistencia a las raíces, impide la infiltración y el drenaje, aireación y otros factores que son perjudiciales para la supervivencia de los árboles y el crecimiento” (Pond, 2005).

Los suelos afectados por extracción de carbón presentan problemas de acidez, comúnmente, de acuerdo con lo

planteado por Monterroso et al. (1999), la oxidación ocurrida es un proceso complejo en la que se produce la oxidación del hierro, los sulfatos, y causa la disolución de otros compuestos como el aluminio; a bajo pH, además de producir drenajes ácidos de mina, se produce la precipitación de minerales ricos en hierro como *ferrihidrita*, *jar osita* y *goetita* (Kim, 2015).

En estériles mineros, usualmente, los contenidos en elementos menores son adecuados para el desarrollo vegetal, y los elementos nutritivos que aparecen en concentraciones limitantes en estos suelos son el N y el P, a los que se une el Ca y Mg en suelos ácidos. (Sandoval, Bond, y Willis, 1973), (Smith, Redente y Hooper, 1987), (Daniels y Zipper, 1988), (Bhumbla et al., 1989).

El pH es un factor esencial, ya que condiciona fuertemente la adsorción de metales. En un estudio realizado por Tyler y Olsson (2001), sobre la movilidad de 60 elementos comprueba que 32 de ellos aumentan su movilidad al incrementar el pH. De los elementos objetos de estudio, arsénico, cromo, cobalto y mercurio presentan un aumento de la movilidad en función del pH,

mientras que para el caso del zinc ocurre lo contrario.

Existen varios ejemplos del uso de los datos de pH como principal discriminante en la calificación de las aptitudes de terrenos alterados por minería de carbón. (Tyner, Smith y Galpin, 1948; Smith et al., 1964).

La problemática de los suelos ácidos deriva en muchos casos de la toxicidad asociada al alto contenido en aluminio, que impide el buen desarrollo radicular. Se ha afirmado que, en suelos ácidos en los que el nivel de nutrientes es adecuado y las cantidades de Al y Mn son bajas, el desarrollo es normal. (Ammons, 1979)

“Las sales que suelen estar presentes en suelos mineros desarrollados sobre estériles de carbón son sulfatos de Na, Ca, Mg y K” (Daniels y Zipper, 1997). Las sales que suelen estar presentes en suelos mineros desarrollados sobre estériles de carbón son sulfatos de Na, Ca, Mg y K. (Daniels y Zipper, 1997).

La materia orgánica es considerada uno de los indicadores más útiles para la evaluación de la calidad y estabilidad del suelo.

Materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de

cambio y quelatos. Los metales, una vez que forman complejos, pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente algunos metales que pueden llegar a no ser disponibles por las plantas, como por ejemplo el Cu. La fortaleza de esta unión puede ocasionar carencias de ciertos elementos necesarios para el metabolismo vegetal en plantas que se desarrollan en suelos ricos en materia orgánica (Larson y Pierce, 1994).

**Tabla 1. Datos analíticos en los suelos mineros**

Perfil	1		2	3	4	5
horizonte	A	C	A	A	A	A
Profundidad (cm)	0-16	16-30	0-26	0-27	0-28	0-29
pH (H <sub>2</sub> O)	2,8	5,3	3,7	3,1	3,2	3,8
pH (KCl)	2,5	5,1	3,2	2,8	2,8	3,3
C.E. (1:1)(dS/m)	6,9	7,9	6,4	3,0	5,0	2,9
CaCO <sub>3</sub> (g/kg)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb biodisponible (mg/kg)	320,0	1203,0	1153,0	187,0	192,0	692,0
Zn biodisponible (mg/kg)	115,1	517,2	414,3	31,7	75,0	154,4
Cu biodisponible (mg/kg)	2,7	3,4	4,1	1,1	1,8	4,1
C.O. (g/kg)	3,7	11,1	49,1	28,6	16,5	5,1
Textura	Franco Arenoso					

**C. E.:** conductividad eléctrica; **C. O.:** carbono orgánico.

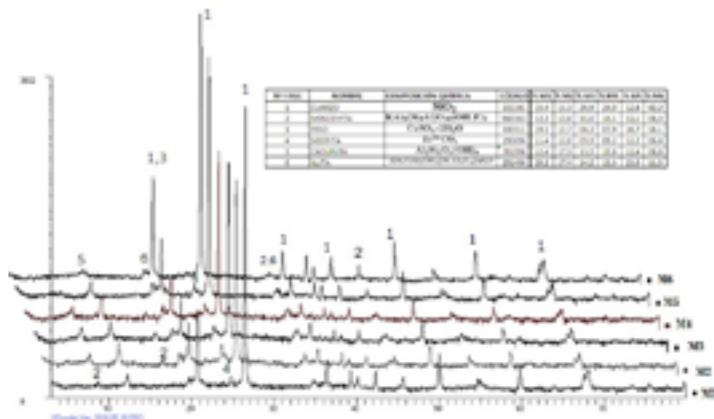
Para conocer la presencia de agregados minerales importantes en el suelo la técnica de difracción de rayos X, reporta los resultados en suelos mineros.

La identificación de una fase cristalina por este método se basa en el hecho de que cada sustancia en estado cristalino tiene un diagrama de rayos X que le es característico.

Estos diagramas están coleccionados en fichas, libros y bases de datos del Joint Committee on Powder Diffraction Standards y agrupados en índices de compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales. (Díaz, Arranz y Peñuela, 2013)

La figura 1 muestra los resultados efectuado a suelos cercanos a las pilas de acopio de carbón.

Figura 1. Difractograma que muestra los minerales identificados y semicuantificados por drx de las muestras: cuarzo (1), moscovia (2), yeso (3), siderita (4), caolinita (5), illita (6)



disminución del número de microbios fue significativa hasta el sexto año e insignificante en el año noveno y décimo, en comparación con el sexto año; adicionalmente en este estudio correlacionaron la cantidad de nutrientes encontrados (la cual fue baja a medida que aumentaba la edad de los vertederos) con la población microbiana, encontrando un alto grado de correlación, concluyendo así que la deficiencia de nutrientes fue probablemente causada por la reducción de población microbiana del suelo.

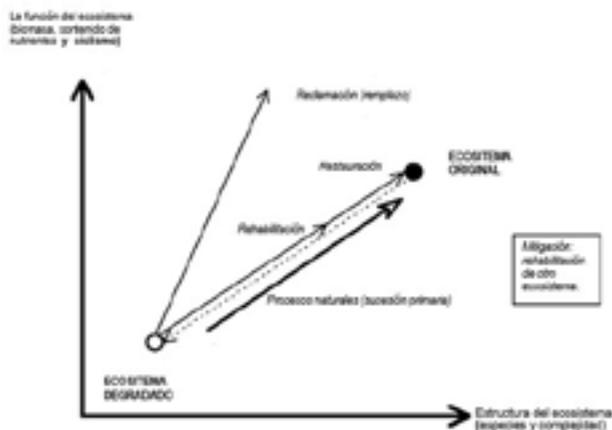
## Rehabilitación y restauración

Bradshaw (1982) apuntaba que la minería a cielo abierto afectaba extensas áreas de Gran Bretaña que antes eran de uso agrícola para la extracción de lignito,

Las diferentes opciones para la mejora de un ecosistema degradado se expresan en función de las características de la estructura y función. La restauración se define como la vuelta del ecosistema a su estado original en ambos parámetros. No obstante, existen otras alternativas, que incluyen la rehabilitación, en la cual el ecosistema no se recupera totalmente o el remplazamiento del ecosistema original por otro diferente (usualmente llamado reclamación).

El espíritu inspirador de las prácticas para la corrección de los terrenos cubiertos de estériles mineros o en las áreas de suelos mineros es el mismo, en esencia, que aquel que llevó a acrecentar nuestros actuales conocimientos y al desarrollo de técnicas para la aplicación

Figura 2.



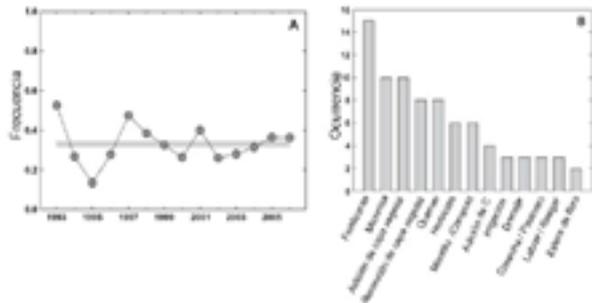
Fuente: Bradshaw (1982).

de enmiendas orgánicas, el encalado y el mulching, los cuales son realizados corrientemente sobre los suelos agrícolas. Shrestha y Lal (2006) resumen las características que deben cumplir las enmiendas orgánicas e inorgánicas en la restauración ecológica de suelos por actividad minera: mejorar las características físico-químicas de los suelos, la fertilidad para establecimiento de cultivos, la producción de biomasa, disminuir la densidad del suelo, la retención de agua como humedad, incrementar la agregación del suelo, permitir el incremento de microorganismos solubilizadores de fosfatos y fijadores de nitrógeno, y la capacidad de intercambio catiónico.

Sin embargo, el abanico de materiales que han sido reconocidos como útiles para la corrección de las carencias edáficas que se dan en estos terrenos se ha ampliado enormemente, y esto se debe en gran medida a los frutos de la investigación invertida en restauración en minería (Arranz, Almorox y García, ): los fertilizantes, hidrosiembra, compost, biosólidos, residuos de cosechas, cenizas de incineración, aserrín, estiércol, etc., que retienen la humedad y el apoyo de organismos del suelo liberando

macro y micronutrientes gradualmente a través de la descomposición. La figura 3 evidencia el interés que ha tomado la temática sobre restauración ecológica y los materiales objeto de estudio.

Figura 3. Registro estadístico del seguimiento de trabajos investigativos sobre restauración ecológica entre 1993 y 2006

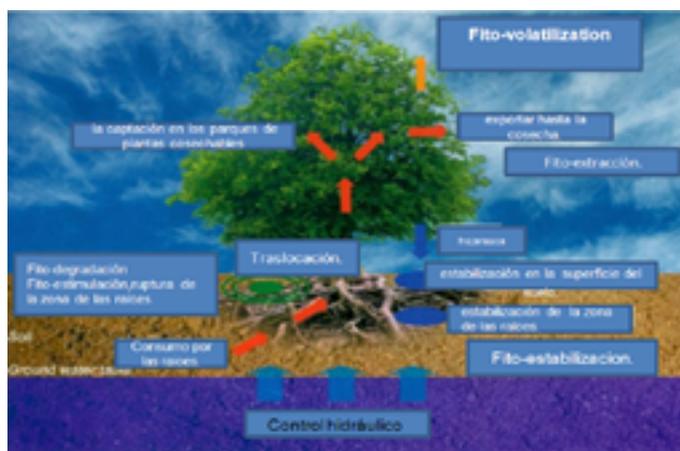


Fuente: tomado de Arranz, J. Almorox y R. de Antonio García ( ).

Como consecuencia de estas actividades industriales, grandes cantidades de desechos se han generado. Estos desechos contienen metales pesados, tales como cobre, zinc, cadmio, plomo, mercurio, así como el arsénico en niveles que exceden las normas europeas (Arranz, J. Almorox y R. de Antonio García, ). Más de 10 km<sup>2</sup> de tierras son afectadas severamente por estas actividades y ya están contaminadas, las cuales causan alteraciones importantes en la

vegetación, suelo, agua, en la atmósfera y afecta a las personas. Junto con la contaminación química por causa de las emisiones, la disposición de residuos y vertederos de las fábricas sirven como fuentes de distribuciones (Méndez y Maier, 2008)

Figura 4. Diferentes conceptos de remediación de suelos contaminados usando plantas



Fuente: Méndez y Maier (2008).

## Uso de microorganismos en la restauración ecológica de los suelos

Durante una perturbación, la pérdida de cobertura vegetal generalmente viene acompañada de la pérdida de muchas de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos, las cuales determinan el establecimiento y productividad de las plantas. Dentro de la afectación biológica de los suelos destaca la reducción del potencial de los simbiontes microbianos mutualistas que son factores ecológicos claves en el ciclo de nutrientes y en el sostenimiento de la

cobertura vegetal en los ecosistemas naturales. (Fajardo et al, 2011)

Estos microorganismos cumplen múltiples funciones dentro del ecosistema, ya que mejoran el crecimiento y salud de las plantas facilitando la absorción de agua y nutrientes, tienen impacto positivo sobre la estabilidad de los agregados del suelo y la infiltración del agua, incrementan la tolerancia al stress hídrico (Barea et al., 1991)

Además, “influyen sobre la diversidad, productividad, estructura de la comunidad de plantas y procesos

del ecosistema” (Van der Heijden et al., 1998).

Adicionalmente, “se ha señalado que la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) podría acelerar la tasa de sucesión de un ecosistema degradado” (Janos, 1980; Allen, 1991; Cuenca et al., 2002). Debido a lo anterior, se considera que estos hongos son un elemento relevante para la recuperación y restauración de los ecosistemas degradados.

## Biochar, una alternativa como enmienda para la restauración ecológica

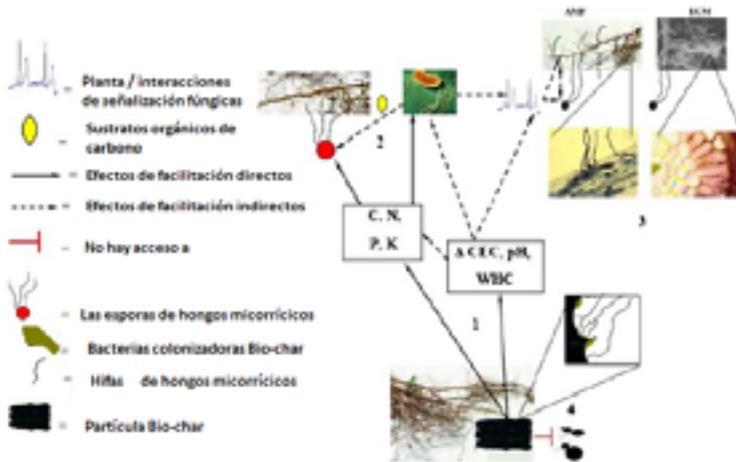
Novedosos estudios evidencian las bondades del biochar en suelos agrícolas improductivos (Major et al., 2010; Lehmann et al., 2007), con diferentes

biomasas estudiadas en su obtención (Lehmann, Rondon y Gaunt, 2006). Los mecanismos que intervienen en la relación del biochar con el suelo y las plantas no están del todo entendidos; y no se conocen aportes en restauración ecológica de suelos mineros.

“Entre las materias primas para la obtención de biochar se destacan las pruebas con residuos de madera, estiércol, hojas, residuos de cultivos, entre otros” (Brick, 2010; Lehmann y Joseph, 2009); “camas de pollo, algas, cascarilla de arroz, nueces y lodos residuales, por lo que el aprovechamiento de residuos del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), comienza a tomar interés de estudio” (Steiner, 2010).

Figura 5. Representación esquemática del

biochar con efectos directos e indirectos sobre el suelo



Fuente: Warnock, Lehmann y Kuyper (2007).

Algunos de los tipos de suelos donde se ha estudiado la aplicación de biochar incluyen Aridisoles (Lentz y Ippolito, 2012), Luvisoles en Alemania (Kammann et al., 2012), Andosoles en Colombia (Major et al., 2010), Oxisoles de Brasil en el centro de Amazonía (Smyth, y Cravo, 1992), Mollisol, Alfisol y Entisol (Kolb, Fermanich, y Dornbush, 2009), Ferrasoles (Steiner et al., 2008). Los resultados en tecnosoles mineros pueden ser provechosos utilizando materiales edáficos removidos por la minería de carbón en el Departamento del Cesar (Colombia) y biochar obtenido de residuos del cultivo de palma de aceite (figura 6). (Díaz, Arranz y Peñuela, 2013)

La aplicación de biochar tuvo potencial influencia en la agregación del material edáfico utilizado (arreglo SCIB2F Suelo arcilloso + semillas+ 10 t/Ha biochar + 10 t/Ha fertilizante; y SCB2F Suelo arenoso+ semillas+ 10 t/Ha biochar + 10 t/Ha fertilizante).

## Conclusión

La restauración ecológica como ciencia moderna proviene del aporte segmentado de ciencias auxiliares que, desde los años ochenta, vienen aportando conocimiento tanto en el tema de ca-

racterización, como en el porte de conocimiento a las técnicas empleadas.

## Referencias

- Ahrens, R. y Engel, R. (1999). "Soil Taxonomy and Anthropogenic Soils". En J.M. Kimble, R. J. Ahrens, R. B. Bryant (Eds.), *Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils: Proceedings-Nevada and California*, Lincoln, N. E. USA-NRCS, NSSS.
- Allen, M. (1991). *The Ecology of Mycorrhizae*. Cambridge, RU: Cambridge University Press.
- Ammons, J. (1979). *Minesoil Properties, Root Growth and Land Use Implications*. (Tesis doctoral), West Virginia University. West Virginia University. Morgantown, Virginia Occidental.
- Arranz, J., Almorox, J. y García, R. ( ) *Análisis crítico de modelos de predicción de la erosión hídrica en minería y obra civil*. *Boletín Geológico y Minero*, 104(4), 422-430.
- Arranz, J. (2004). *Propiedades, clasificación y evaluación de suelos mineros: implicaciones sobre la ordenación y gestión de los terrenos alterados por la minería*. (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Badiane, N., Chotte, J., Pate, E., Masse, D. y Rouland, C. (2001). Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical region. *Applied Soil Ecology*, 18, 229-238.
- Barea, J., Azcón-Aguilar, C., Ocampo, J. y Azcón, R. (1991). "Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-ar-

- busculares”. En J. Olivares y J. M. Barea (Eds.), Fijación y movilización biológica de nutrientes (pp. 149-173). España: CSIC.
- Becerril, J., Barrutia, O., García, J., Hernández, A., Olano, J. y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 1-6.
- Bhumbla, D., Singh, R., Keefer, R. y Burnell, J. (1989). Influence of Sawdust/ Fly ash Mixed with Mine Spoil on Corn Growth and Nutrient Availability, Especialy Biron. *Agron. Abstr.*, 1, 1-32.
- Box, T. (1978). “The Significance and Responsibility of Rehabilitating Drastically Disturbed Land”. En F. W. Schaller y P. Sutton (Eds), *Reclamation of Drastically Disturbed Lands* (pp. 1-10). Madison, wi: American Society of Agronomy.
- Bradshaw, A. (1982). The Landscape Reborn. *Rev. New Scientist*, 30, 901-90.
- Brick, S. (2010). *Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy*, Madison, Wisconsin: The Natural Resources Defense Council (NRDC).
- Callaham, M., Rhoades, C. y Heneghan, L. (2008). A Striking Profile: Soil Ecological Knowledge in Restoration Management and Science. *Restoration Ecology*, 16, 604-607.
- Cuenca, G., De Andrade, Z., Lovera, M., Fajardo, L., Meneses, E., Márquez, E. y Machuca, R. (2002). El uso de arbustos nativos micorrizados para la rehabilitación de áreas degradadas de la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela. *Interciencia*, 27, 65-172.
- Daniels, W. y Zipper, C. (1988). “Improving coal surface mine reclamation in the Central Appalachian region”. En J. Cairns (Ed)., *Rehabilitating damaged ecosystems* (pp. 139-162). Boca Ratón, FL: CRC Press.
- Daniels, W. y Zipper, C. (1997). “Creation and Management of Productive Mine Soils. Reclamation Guidelines”. Virginia: Virginia Cooperative Extension, pp. 121-460. [-confuso. Señor autor, no se entiende qué tipo de document se está citando; favor hacer los ajustes directamente en el texto-]
- Díaz, L., Arranz, J. y Peñuela, G. (2013). Caracterización físico-química y mineralógica de suelos en la zona carbonífera del Cesar, Colombia. *Interciencia*, 38(1), 42-47.
- Fajardo, L., Cuenca, G., Arrindell, P., Capote, R. y Hasmy, Z. (2011). El uso de hongos micorrizicos arbusculares en las prácticas de restauración ecológica, *Interciencia*, 36, 931-936.
- Faz, A. y Conesa, H. (2004). Soils affected by mining and industrial activities in Cartagena (SE Spain): classification problems. *European Soil Bureau Research. Rep. n.o 7*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006). “World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication”. FAO, Roma, *World Soil Resours. Rep.* 103.
- Ghose, M. (2004). Effect of opencast mining on soil fertility. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 63, 1006-1009.
- Ibekwe, A. y Kennedy, A. (1998). Phospholipid fatty acid profiles and carbon utilization patterns for analysis of microbial community struture under field and greenhouse

- conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 26, 151-163.
- Janos, D. (1980). Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12, 56-64.
- Kammann, C., Ratering, S., Eckhard, C. y Müller, C. (2012). Biochar and hydrochar effects on greenhouse gas (carbon dioxide, nitrous oxide, methane) fluxes from soils. *J. Environ. Qua*, 41, 1052-1066.
- Kim, Y. (2015). Mineral phases and mobility of trace metals in white aluminum precipitates found in acid mine drainage. *Chemosphere*, 119, 803-811.
- Kolb, S., Fermanich, F. y Dornbush, M. (2009). Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society of America Journal*, 73, 1173-1181.
- Larson, W. y Pierce, F. (1994). "The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management". En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek y B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 37-51). Madison, WI: SSSA Special Publication.
- Lehmann, J. y Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: science and technology*. Londres: Sterling, VA.
- Lehmann, J., Rondon, M. y Gaunt, J. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems. A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403-427.
- Lehmann, J., Warnock, D., Kuyper, T. y Rillig, M. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil. Concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300, 9-20.
- Lentz, R. y Ippolito, J. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *J. Environ. Qual*, 41, 1033-1043.
- Liu, R. y Lal, R. (2014). Quality Change of Mine Soils From Different Sources in Response to Amendments. A Laboratory Study. *Environment and Natural Resources Research*, 4, 20-38.
- Lyle, E. (1978). *Surface Mine Reclamation Manual*. Nueva York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Major, J., Rondón, M., Molina, D. y Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil*, 333, 117-128.
- Mendez, M. y Maier, R. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments-an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives*, 16(3), 278-283.
- Monterroso, C., Álvarez, E., Fernández, M. y Macías, F. (1999). Geochemistry of aluminum and iron in mine soils from As Pontes, Galicia (N. W. Spain). *Water, Air, and Soil Pollution*, 110, 81-102.
- Mummey, D., Stahl, P. y Buyer, J. (2002). Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1717-1725.
- Opeka, T. y Morse, R. (1979). "Use of Green Manure Amendments and Tillage to Improve Minesoil Productivity". *Industrial Environmental Research Laboratory*. Usepa Cincinnati, OH, Tech. Rep. 600/7-791-257.

- Pond, R. (2005). Low elevation riparian forest restoration on a former gravel mine, North Cascades National Park: native plant germination, growth and survival in response to soil amendment and mulches. (Tesis de maestría), University of Washington, Seattle, wa.
- Sandoval, F., Bond, J. y Willis, W. (1973). Lignite mine spoils in the Northern Great Plains. Characteristics and potential for reclamation". En Proc., Res. and Applied Tech. Symposium on Mined-land Reclamation. National Coal Assn., Washington, D.C.
- Shrestha, R. y Lal, R. (2006). Ecosystem carbon budgeting and soil carbon sequestration in reclaimed mine soil. Environment International, Environment International, 32, 781-796.
- Smith, H., Morse, H., Bernath, G., Gillogly, L. y Briggs, W. (1964). Classification and revegetation of strip mine spoil banks. Ohio Journal of Science, 64, 168-175.
- Smith, P., Redente, E. y Hooper, E. (1987). "Soil organic matter". En R. D. Williams y G. E. Schuman (Eds.), Reclaiming mine soils and overburden in the western United states: Analytic parameters and procedures (pp. 185-213). Ankeny, Iowa: Soil Conservation Society of America.
- Smith, R. y Sobek, A. (1978). "Physical and Chemical Properties of Overburdens, Spoils, Wastes, and New Soils". En F.W. Schaller y P. Sutton (Eds.), Reclamation of Drastically Disturbed Lands (pp. 149-172). Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Smyth, T. y Cravo, M. (1992). Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol. Agronomy Journal, Madison, 84, 843-850.
- Steiner, C., Das, K., García, M., Forster, B. y Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. Pedobiologia, 51, 359-366.
- Steiner, C. (2010). Las perspectivas de Bio-carbón. Secuestro de carbono, ciclo de nutrientes y generación de energía. Palmas, 31, 116-125, 2010.
- Tack, F. y Meers, E. (2010). Assisted Phytoextraction: Helping Plants to Help Us. Elements, 6, 383-388.
- Tyler, G. y Olsson, T. (2001). Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. European Journal of Soil Science, 52, 151-165.
- Tyner, E., Smith, R. y Galpin, S. (1948). Reclamation of strip- mined lands in West Virginia. J. Am. Soc. of Agron, 40, 313-323.
- U. S. Soil Conservation Service (1975). Engineering Field Manual. Chapter 8, "Terraces". Second Printing. United States Department of Agriculture, Washington, D. C.
- Van der Heijden, M., Klironomos, J., Ursic, M., Moutoglis, M., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A. y Sanders, L. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature, 396, 69-72.
- Warnock, D., Lehmann, J., Kuyper, W. y Rillig, M. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil. Concepts and mechanisms. Plant Soil, 300, 9-20.

# Diseño y documentación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo en la empresa Agregados de Sucre S. A. S., ubicada en el municipio de Tolviejo, Sucre

Sandra Molina<sup>1</sup>, Fabián Cruz<sup>2</sup>

## Resumen

A través del presente trabajo, se realizó el diseño y documentación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo en la empresa Agregados de Sucre S.A.S, ubicada en el municipio de Tolviejo, Sucre, según lo establecido en el Decreto 1072 del 2015 en su libro 2 parte 2 título 4 capítulo 6 y los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo establecidos en la Resolución 1111 del 27 de marzo del 2017 para empleadores y contratantes. Como resultado se documentaron las herramientas necesarias para la implementación de este sistema de gestión por parte de la gerencia de la empresa para así disminuir los riesgos laborales dentro de la operación minera y todas las actividades relacionadas con la extracción de la caliza. Se identificaron, evaluaron y valoraron los peligros y riesgos basados en las normas GTC 45, con el fin de tomar las acciones correctivas y preventivas y de evitar futuros accidentes, teniendo en cuenta los indicadores del sistema en los que se refleja la ocurrencia de accidentes, incidentes, enfermedad y ausentismos de tipo laboral.

**Palabras clave:** incidentes y accidentes, riesgos laborales, Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

---

<sup>1</sup> Ingeniera de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Correo: [Smolina17@areandina.edu.co](mailto:Smolina17@areandina.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante de la Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. Correo: [fcruz5@estudiantes.areandina.edu.co](mailto:fcruz5@estudiantes.areandina.edu.co)

## Introducción

El Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) se ha vuelto prioridad con el pasar de los años debido a la importancia que genera la seguridad y salud de los empleados en las empresas, además de cumplir con las obligaciones que tiene la empresa con sus trabajadores y velar por un espacio seguro para ejercer su labor y los impactos negativos que genera el no contar con un sistema de gestión y la no aplicación de dicho sistema en mejora de la seguridad de su operación.

En Agregados de Sucre S.A.S no existe dicho sistema, lo que trae consigo el manejo inadecuado de eventualidades en materia de seguridad laboral, como la falta de conocimientos al momento de que estas eventualidades se presentan.

Esta situación ocasiona que se presenten accidentes e incidentes en los entornos laborales y que no se manejen de manera adecuada para identificar las causas de estos hechos; adicionalmente,

no existe evidencia física de los procedimientos adecuados para una operación segura, tampoco una matriz de riesgo o un plan de emergencia. No se tiene conformado un COPASST ni un comité de convivencia laboral, no se realizan capacitaciones, entre otras carencias.

Para enfrentar estas situaciones se estructurará un plan de acción que permita realizar las actividades pendientes, basándose en el diagnóstico inicial de la empresa al momento de comenzar el proyecto con respecto a los requisitos mínimos exigidos por la Resolución 1111 de 2017, incluyendo entre estos una matriz de riesgo que permita identificar, evaluar y valorar los peligros y riesgos, además de poder verificar la implementación de las acciones correctivas, creando así los procedimientos de seguridad adecuados para cada una de las operaciones dentro de la empresa y establecer indicadores que reflejen la ocurrencia de accidentes, incidentes, enfermedades y ausentismos de tipo laboral, con la finalidad de mejorar estos indicadores.

## Materiales y métodos

### Localización

La empresa Agregados de Sucre S.A. S. se encuentra ubicada a 5 km del municipio de Tolviejo, vía Tolviejo – San Onofre, Sucre (ver figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa Agregados de Sucre S. A. S



Fuente: tomada de Google Maps.

### Tipo de investigación

El tipo de investigación que se llevara a cabo en este proyecto es de carácter cualitativo, en la cual se realizará el diseño teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1072 en su libro 2 parte 2 titulo 4 capítulo 6, comenzando por una evaluación

inicial o el diagnóstico inicial de la empresa, tomando como metodología lo definido por la Resolución 1111 de 2017, la cual define los estándares mínimos del

Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo que tiene como objeto “implementar los estándares mínimos del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo para las entidades, personas o empresas señaladas en el campo de aplicación de la presente resolución”.

### Procedimiento

Para la identificación, evaluación y valoración de los peligros y riesgos se tendrá en cuenta como metodología la

definida por la GTC 45, la cual es una “guía que proporciona directrices para identificar los peligros y valorar los riesgos en salud y seguridad en el trabajo, teniendo en cuenta la naturaleza de la empresa, el alcance de sus actividades y los recursos establecidos”

(Icontec, 2012); para controlar estos riesgos se realizaron procedimientos de seguridad, reportes de actos y condiciones inseguras y se establecieron indicadores que reflejan la ocurrencia de accidentes basados en los indicadores mínimos de seguridad y salud en el trabajo en la Resolución 1111 de 2017 en el artículo 15, los cuales se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Indicadores mínimos de seguridad y salud en el trabajo

Nombre del indicador	Definición	Fórmula	Periodicidad Mínima
Severidad de los accidentes laborales			Anual
Frecuencia de los accidentes laborales			Anual
Mortalidad de los accidentes laborales			Anual
Prevalencia de los accidentes laborales			Anual
Incidencia de los accidentes laborales			Anual
Ausentismo			Anual

Fuente: Resolución 1111 de 2017. Artículo 15

Además de preservar la integridad del empleado con dicho sistema, se busca así cumplir con los requisitos establecidos en el libro 2 parte 2 título 4 capítulo 6 del Decreto 1072 de 2015 y Resolución 1111 del 2017 por el Ministerio del Trabajo, en los que se establecen los estándares mínimos que deben cumplir las empresas de forma obligatoria.

## Resultados

Este proyecto de grado es de carácter cualitativo, el cual documentó el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo, cumpliendo con los estándares mínimos de la Resolución 1111 de 2017, el Decreto 1072 de 2015 y con los objetivos del proyecto, con la evaluación inicial del estado en el que se encontraba la empresa con respecto a

lo exigido por la norma, siguiendo con la identificación de riesgos con la matriz de peligros, valoración de riesgos y determinación de controles para así contar con los procedimientos adecuados de las operaciones dentro de la empresa y por medio de los indicadores de estructura, proceso y de resultado poder medir y realizar un seguimiento de los resultados de la implementación del sistema de gestión.

- Evaluación inicial

Con la realización de la evaluación inicial se evidencio que la empresa se encuentra en estado crítico, pues tiene

un 7% de cumplimiento con lo exigido por la normatividad colombiana; al finalizar la dejamos con un 41,7%, pues no se realizó la implementación del sistema.

- Matriz de peligros, valoración de riesgos y determinación de controles

Se realizó la matriz de peligros teniendo en cuenta el proceso operativo de la empresa con base en el lugar (planta de producción o cantera) donde se realiza la actividad (extracción de materia prima, beneficio de agregados, transporte de materia prima y mantenimiento preventivo o correctivo).

TOTAL PORCENTUAL		7%
Valoración Global en la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo		
Criterio	Valoración	
Si el porcentaje obtenido es menor al 10%	Critico	
Si el porcentaje obtenido está entre el 10 y 30%	Mediamente aceptable	
Si el porcentaje obtenido es mayor e igual al 30%	Aceptable	

Fuente: Tomada por autor (2017).

**Evaluación inicial de la empresa.**

TOTAL PORCENTUAL		41,7%
Valoración Global en la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo		
Criterio	Valoración	
Si el porcentaje obtenido es menor al 10%	Critico	
Si el porcentaje obtenido está entre el 10 y 30%	Mediamente aceptable	
Si el porcentaje obtenido es mayor e igual al 30%	Aceptable	

Fuente: Tomada por autor (2018).

**Evaluación final de la empresa.**

Figura 2.

- Procedimientos internos de seguridad

Se realizaron procedimientos para cumplir con la futura implementación del sistema por parte de la empresa, como también de seguridad para disminuir el riesgo presente en las tareas principales de la operación minera. Dentro de los procedimientos que se documentaron se encuentran el procedimiento de cargue en cantera y procedimiento para iniciar la planta trituradora.

- Indicadores del SG-SST

Se tuvieron en cuenta unos indicadores para medir la ocurrencia de accidentes y controlar las eventualidades que se presenten durante la operación. Dentro de los controles de seguimiento se establecieron los siguientes indicadores:

- Número de trabajadores directos.
- Número de trabajos de contratistas
- Número de accidentes reportados en el periodo.

## Conclusiones

Con este proyecto se puede concluir que se cumplió con los estándares mínimos de seguridad para la empresa Agregados de Sucre S.A.S., la cual cuenta con la documentación necesaria para vigilar las operaciones y controlar

los riesgos presentes en cada una de las actividades.

Es necesario que exista un compromiso por parte de la gerencia para que este sistema funcione, es por esto que se debe ir implementando paulatinamente el sistema de gestión y así hacer uso de la documentación en busca de mejorar la seguridad, la salud y la calidad de vida del trabajador, como también reducir costos y periodos de ausentismo que son generados por accidentes, lo que tiene como consecuencia el retraso en las operaciones. Es por esto que la empresa ha tomado como inicio de sus mediciones los 6 indicadores que exige la Resolución 1111 de 2017 (ver tabla 1), de igual forma ha realizado las inspecciones documentadas dentro del sistema (ver anexo inspecciones) y la conformación de COPASST y del comité de convivencia laboral y sus respectivas reuniones.

Con este proyecto se evidenció la importancia de la seguridad y la salud de los trabajadores para la empresa Agregados de Sucre S.A.S., la cual fue mostrando interés al avanzar este proyecto con el fin de ser una de las empresas mejores posicionadas en la región en todos los ámbitos, no solo minero y comercial, sino también mostrar su responsabilidad con sus empleados para así ser ejemplo

de las empresas mineras de la región.

## Recomendaciones

Teniendo en cuenta el desarrollo del presente proyecto basado en el Decreto 1072 del 2015 y la Resolución 1111 de 2017, se recomienda que para implementar el SG-SST la empresa debe contar con un profesional idóneo para el manejo adecuado del sistema (artículo 6 numeral 6.2 parágrafo 1 y 2 de la Resolución 1111) procedimental en todo tipo de actividad nueva que represente un riesgo en la salud y en la condición de trabajo de los empleados, además de realizar la socialización de estos; también socializar cualquier cambio que se genere en los que ya se dejaron documentados dentro del sistema de gestión (SG-SST). También es importante que los empleadores fomenten el buen uso de los elementos de protección personal como el realizar capacitaciones orienta-

das a concientizar al trabajador del riesgo al cual está expuesto en su trabajo cotidiano, buscando así reducir el número de accidentes y estimulando el autocuidado por parte de cada empleado dentro de sus operaciones en la empresa.

## Referencias

- Ministerio del Trabajo (2017). Decreto 1072 de 2015 libro 2, parte 2, título 4, capítulo 6. Recuperado de <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/50711/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+Octubre+de+2017.pdf/e85f8008-7886-2d70-f894-112075f0c8da>
- Ministerio del Trabajo (2017). Resolución 1111 de 2017. Recuperado de <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/647970/Resoluci%C3%B3n+1111-+est%C3%A1ndares+m%C3%ADnimos-marzo+27.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). GTC 45 de 2012. Recuperado de <http://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/gtc450.pdf>

# Producción de fracciones antioxidantes de sangre bovina

Omar Figueroa<sup>1</sup>, Karen Ospino<sup>2</sup>, Emil Mejía<sup>3</sup>, Sandy Peñaloza<sup>4</sup>, Jesús Morales<sup>5</sup>

## Resumen

En este trabajo se analizó el efecto del grado de hidrólisis (GH) de hidrolizados enzimáticos de fracciones de sangre bovina (plasma y fracción globular) con alcalasa 2,4 litros sobre la actividad antioxidante de fracciones peptídicas. A las condiciones óptimas se produjeron hidrolizados en tres tiempos de hidrólisis para evaluar la capacidad antioxidante, con los métodos ORAC, ABTS y FRAP, alcanzando, en general, mayor capacidad antioxidante en el tiempo de dos horas, salvo para el caso de la capacidad en los agentes antioxidantes de la fracción globular medidos con la técnica ABTS, en la que resulta suficiente hidrolizar 30 min y obtener hidrolizados intermedios para favorecer la mayor capacidad antioxidante, siendo esta estadísticamente igual a las fracciones con alto GH.

**Palabras clave:** antioxidantes, hidrolizados enzimáticos, péptidos bioactivos, sangre bovina.

---

1 M. Sc. en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia, Medellín.  
Correo: [omar.figueroa@udea.edu.co](mailto:omar.figueroa@udea.edu.co)

2 M. Sc. en Ingeniería de la Universidad Popular del Cesar, Valledupar.

3 Ingeniera agroindustrial de la Universidad Popular del Cesar, Valledupar.

4 Ingeniera agroindustrial de la Universidad Popular del Cesar, Valledupar.

5 Ingeniero agroindustrial de la Universidad Popular del Cesar, Valledupar.

## Introducción

El estrés oxidativo es el resultado de un exceso de radicales libres de oxígeno en el cuerpo humano, es por esto que los antioxidantes, entendiendo estos como “cualquier sustancia que, en presencia de un sustrato oxidable, retrasa o inhibe la oxidación del mismo” (Korhonen y Pihlanto, 2006), juegan un papel muy importante en la prevención de dichas enfermedades.

Existe una relación entre la ingesta de compuestos antioxidantes y las enfermedades. “La actividad antioxidante de péptidos bioactivos en particular, pueden ser atribuida a la eliminación de radicales, la inhibición de la peroxidación lipídica y las propiedades de quelación de iones metálicos de los péptidos” (Sarmadi e Ismail, 2010).

Los antioxidantes sintéticos convencionales (BHA, BHT y n-propilo galato) muestran una fuerte actividad contra varios sistemas oxidantes, pero presentan estricta regulación en su uso por su relación con riesgos potenciales a la salud. En tal medida, la tendencia actual es utilizar productos naturales antioxidantes cuya actividad se lleve a cabo no solo en los alimentos envasados, sino tam-

bién una vez el alimento ha sido ingerido. (Sabeena Farvin et al., 2014)

A pesar de que la sangre bovina es un subproducto abundante caracterizado por ser una fuente proteica de alta calidad, no se le ha dado el debido interés, considerando su enorme potencial de aplicación y utilización.

Debido al alto valor nutricional de la sangre, su fácil obtención y la abundancia con que se genera, se hace necesario el desarrollo de investigaciones aplicadas que motiven la valoración y diversifiquen las estrategias de aprovechamientos de residuos industriales como herramientas clave en la generación de valor agregado a productos de bajo valor económico. Un enfoque actual de gran interés lo representa la búsqueda de péptidos bioactivos, en especial los que poseen propiedades antioxidantes (Liu et al., 2010).

Estas razones, unidas a la necesidad de desarrollar nuevos productos con características funcionales definidas, ha conducido al estudio de procesos de hidrólisis enzimática, utilizando como sustrato fuentes proteicas alternativas. El objeto del trabajo presentado es evaluar el potencial de aplicación como antioxidante de la sangre bovina en sus fracciones (plasma y fracción globular)

y sus hidrolizados enzimáticos, así como analizar el papel de variables significativas como el pH en el rendimiento de las reacciones que definen la formación de estos compuestos de interés.

## Materiales y métodos

### Enzima, sustrato e hidrolizados enzimáticos

El sustrato utilizado fue sangre de bovino higienizada y suministrada por un proveedor comercial de la ciudad de Medellín, Colombia. La sangre fue centrifugada empleando una centrifugadora marca Boeco referencia: 1406-12 (8500 rpm, 4 °C por 15 min). Posteriormente, la fracción globular y plasmática se almacenó a -20 °C para su posterior hidrólisis. Para la hidrólisis se usó Alcalase® 2,4 litros grado alimenticio (Novozymes, Dinamarca), cuyo componente principal es subtilisina A (Subtilisina Carlsberg).

En la reacción se emplearon reactores de vidrio de 0,5 L conectados a un regulador termostático y control de pH a través de un titulador automático Titrand 842 (Metrohm, Suiza). Las condiciones de hidrólisis fueron ajustadas de acuerdo con los experimentos planeados y la reacción se inicia con la adición de la cantidad de enzima justa.

### Reacción de hidrólisis enzimática

La reacción fue monitoreada para la determinación del gh, expresado como la relación entre el número de enlaces peptídicos cortados en la hidrólisis (h) y el número de enlaces peptídicos totales en la proteína nativa por unidad de peso (ht). Para este caso, se empleó un ht de 8,3 Eqv/Kg (Márquez y Vázquez, 1999). El método empleado para la determinación del GH es el de valoración del protón o método del pH-stat ecuaciones (1-3). (Adler-Nissen, 1986)

$$GH = \frac{BN_B}{M_p} \frac{1}{\alpha} \frac{1}{h_t} 10$$

$$\alpha = \frac{10^{pH-pK}}{1 + 10^{pH-pK}}$$

$$pK = 7,8 + \frac{298 - T}{298 \times T} 2400$$

Donde B es el Volumen consumido de base en litros, NB = Normalidad de la base (Eqv/L), Mp es Masa de la proteína en Kg y  $\alpha$  es el grado de disociación de los grupos  $\alpha$ -NH<sub>2</sub> liberados en la reacción, el cual depende del pK, que a su vez está asociado con la temperatura. (Valencia et al., 2015)

## Métodos analíticos

Para la caracterización de los sustratos proteicos se emplearon técnicas oficiales de análisis. La determinación de cenizas se hizo calcinando la muestra a 550 °C en una mufla modelo D8 (Terrígeno, Colombia) por un periodo de 5 horas (AOAC 14.006). El contenido proteico se llevó a cabo por el método de determinación del nitrógeno total microkjendahl (AOAC 991.20) en un equipo dk 6 (Heating Digester, usa). La determinación de grasa se hizo por el método de Gerber (AOAC 2000.18) (AOAC Official Methods of Analysis n. d).

Para la medición de la capacidad antioxidante se emplearon los métodos de determinación directa ABTS basados en la decoloración del radical (ácido 2,2' azinobis-3- etilbenzotiazolina-6- sulfónico) provocado por la interacción con moléculas donantes de electrones; se basó en la metodología descrita por Re, et al (1999). Además, se usaron técnicas indirectas: orac, la cual emplea un mecanismo de donación de un átomo de hidrógeno y se hizo siguiendo la metodología descrita por Ou et al (2001); y frap, que usa como principio la reducción en un medio ácido el hierro férrico (Fe<sup>+3</sup>) hasta la forma ferrosa (Fe<sup>+2</sup>); se siguió la metodología ajustada de Pulido, et al. (2000).

Para los tres métodos se establecieron curvas de calibración con diferentes concentraciones del antioxidante estándar Trolox (análogo hidrofílico del alfa tocoferol). Todos los reactivos usados para la medición de capacidades antioxidantes fueron de grado analítico.

## Datos experimentales

Las muestras de plasma bovino (pb) y fracción globular (fgb) de sangre bovina se tomaron a condiciones óptimas de Temperatura, enzima y sustrato según estudios anteriores del grupo. Hidrólisis enzimáticas a distintos valores de pH muestran el efecto del mismo sobre el gh como medida de rendimiento de la reacción. Las curvas y los análisis de antioxidantes se hicieron por triplicado.

## Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra el resultado para la caracterización bromatológica del sustrato. Estos resultados son coherentes con los declarados en numerosas fuentes bibliográficas.

Son de gran interés los resultados del porcentaje de proteínas encontrado, pues permite corroborar que se trata de material con alto potencial de utilización para hidrólisis enzimática.

Desde el punto de vista de la nutrición, las proteínas y péptidos procedentes de alimentos están siendo empleados con el fin de mejorar algunas funciones biológicas o de tratar de prevenir o reducir el riesgo de enfermedad, pues se ha establecido, que algunos péptidos obtenidos por hidrólisis de proteínas, son capaces de ejercer efectos biológicos específicos. (Liu et al., 2010)

**Tabla 1. Caracterización de plasma entero (PB) y fracción globular (FGB) bovino**

Componente	pb	fgb
Porcentaje de proteína (p/v)	8,3	39
pH	6,7	7,4
Densidad (g/mL)	1,061	1,087
Porcentaje de grasa (p/p)	0,03	0,21
Porcentaje de cenizas (p/p)	0,44	
Rendimiento centrifugación	60 %	40 %

En la tabla 2 se muestran las actividades antioxidantes reportadas por varios métodos de PB, FGB y sus hidrolizados para distintos tiempos de reacción hasta dos horas máxima. Para este estudio se analizó el comportamiento de los valores de antioxidantes para hidrolizados en los tramos iniciales, medios y final de la reacción. Esto concuerda con la denominación de bajo, medio y alto grado de hidrólisis relativo, en cada caso.

A través de la hidrólisis con Alcasa 2,4L se favorece la capacidad antioxidante de la fracción globular de sangre bovina. Como se ha evidenciado en numerosos trabajos el tiempo de hidrólisis

aumenta con el tiempo y este a su vez la capacidad antioxidante, esta tendencia se observó en los resultados de Bah et al. (2015). La capacidad antioxidante de hidrolizados enzimáticos depende, en gran medida, del peso molecular y de la estructura y secuencia de la cadena de aminoácidos de la estructura peptídica resultante (Chalamaiah et al., 2012). En muchos casos el GH resulta ser una herramienta indirecta para describir la distribución del peso molecular de los hidrolizados, en el sentido que una prolongada hidrólisis redundante casi siempre en grados de hidrólisis altos y, por tanto, tamaños peptídicos mucho más pequeños (Morales y Medina et al., 2017).

**Tabla 2. Resultados de pruebas de capacidad antioxidantes de sustratos e hidrolizados enzimáticos de fracción globular sin hidrolizar (FGSH) y plasma bovino sin hidrolizar (PBSH) y sus respectivos hidrolizados con bajo, medio y alto grado de hidrólisis. Para Hidrolizados de fracción globular: T= 55°C, pH= 9 y de plasma T=61°C, pH=9**

Muestra	orac	frap	abts+
FG e Hidrolizados			
fgsh	234,1 ± 21	45,2±2,5	608,9±4,1
Hbajo	461,2 ±37,7	54,8±2,2	747,5±68,5
Hmedio	464,2 ±14,0	57,4±1,8	725,6±56,0
Halto	513,7 ±8,2	65,3±5,8	748,3±71,3
pb e hidrolizados			
pbsh	-	18,5±2,5	174±6,7
Hbajo	-	68,3±3,2	783,4±7,6
Hmedio	-	91,6±4,2	1032,6±9,0
Halto	-	125,7±4,0	1413,3±20,3

En el análisis de antioxidante de la fracción globular e hidrolizados, los resultados por los métodos de ORAC y FRAP, al aplicar la prueba de múltiples rangos de Duncan, se agrupan en dos columnas, en las que el gh alto difiere significativamente ( $p < 0,05$ ). En el análisis de abts se agrupan en una columna, no difiriendo en ninguno de los hidrolizados analizados ( $p < 0,05$ ). Esto implica que para obtener la mayor capacidad de reducción de radicales libres de oxígeno y Fe se debe efectuar a un tiempo de hidrólisis de dos horas para llegar a un gh

bajo las condiciones óptimas, mientras que para obtener la máxima capacidad de los agentes antioxidantes de la hemoglobina bovina para atacar el catión radical ABTS+ basta con ejecutar la hidrólisis enzimática a 30 minutos o cualquier otro tiempo estudiado.

En tanto, los resultados para las muestras de plasma y sus hidrolizados registran valores satisfactorios en la medida en que se ha comprobado la capacidad antioxidante de hidrolizados de plasma bovino y que, efectivamente,

esta actividad se potencia significativamente ( $p < 0,05$ ) con la hidrólisis (Hyun-Woo et al., 2015).

Según Cumby et al. (2008), este fuerte poder reductor se puede atribuir a la mayor disponibilidad de iones de hidrógeno (protones y electrones) debido a las divisiones de péptidos. Se sabe que la Alcalasa es una endopeptidasa que actúa sobre los enlaces peptídicos en el interior de la cadena polipeptídica, por lo que produce principalmente oligopéptidos y polipéptidos pequeños y medianos, algunos de los cuales son antioxidantes (Cumby et al., 2008).

Los resultados logrados en el presente trabajo indican, que la hidrólisis enzimática podría mejorar significativamente el potencial antioxidante de los hidrolizados a través de la extensión del tiempo de hidrólisis, puesto que fracciones de proteínas con peso molecular grande son paulatinamente degradadas a fracciones de peso molecular relativamente pequeñas. En esta medida, uno de los mecanismos que conduce al aumento de la actividad puede estar asociado con la exposición de aminoácidos específicos en las cadenas peptídicas resultantes (Rajapakse et al., 2005).

Por otra parte, la capacidad de reducción del ion  $Fe^{+3}$  fue muy superior

a las reportadas por Liu et al. en plasma porcino, por ejemplo, lo cual puede relacionarse con el GH alcanzado, pues se ha comprobado que este es proporcional a la capacidad antioxidante hasta cierto límite, cuando los péptidos son hidrolizados hasta sus unidades fundamentales (Liu et al., 2010).

En general, la captación de radicales libres de los hidrolizados de proteína del plasma se puede explicar a través de varios mecanismos que incluyen la capacidad de donar hidrógeno, estabilizar radicales, secuestrar iones metálicos prooxidativos y, probablemente, formar una barrera física alrededor de las gotas de grasa usando aminoácido especial (Hyun-Woo et al., 2015).

La tabla 3 muestra los resultados de gh para distintos valores de pH evaluados.

Considerando la naturaleza bioquímica de la reacción, cambios importantes se registran en el rendimiento de la reacción cuando se presentan leves incrementos en el pH de la misma, hasta ciertos niveles indicados, esto contrasta con las disminuciones observadas en la velocidad de ruptura de enlaces peptídicos cuando los valores de pH son inferiores, Mientras que valores intermedios de

pH registran mejores resultados en términos de rendimiento en reacciones de este tipo. Estos fenómenos son comunes puesto que es sabido que cambios en el pH, pueden influenciar la disociación de grupos activos de la enzima, afectando la dinámica de asociación de esta con el sustrato. (Liu et al., 2010)

Tabla 3. Grado de hidrólisis final de hidrolizados de FG y PB a distintos valores de pH

Fuente	SO (m/v)	EO/SO (m/m)	pH	gh (% 2 horas)
FG	10,5	8	7,3	22,7
			9	30,3
			10,6	22,5
pb	6	7,5	7,4	18,7
			8,2	21
			9	21,5

## Conclusión

El pH juega un papel importante en el rendimiento de la reacción de hidrólisis enzimática de proteínas, pues interviene en la disociación de grupos activos de la enzima, por tanto, es de vital importancia ajustar los valores de pH adecuados para el trabajo de la enzima con cada sustrato. En general, la capacidad antioxidante de los hidrolizados mejora en relación con la de los sustratos nativos y se potencia en la medida en que aumenta el gh.

## Referencias

- AOAC 14.006, 991.20, 2000.18 (2007). Association of Analytical Communities (International). Official Methods of Analysis.
- Bah, C., Bekhit, A., Carne, A., McConnell, M. (2015). Production of bioactive peptide hydrolysates from deer, sheep and pig plasma using plant and fungal protease preparations. *Food Chemistry*, 176, 54-63.
- Chalamaiah, M. (2012). Dinesh Kumar, B., Hemalatha, R. y Jyothirmayi, T. Fish. Protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135, 3020-3038.
- Cumby, N., Zhong, Y., Naczki, M. y Shahidi, F. (2008). Antioxidant activity and water-holding capacity of canola protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 109, 144-148.

- Hyun-Woo, S., Eun-Young, J., Gwang-Woong, G., Gap-Don, K., Seon-Tea, J. y Han-Sul, Y. (2015). Optimization of hydrolysis conditions for bovine plasma protein using response surface methodology. *Food Chem*, 185, 106-111.
- Liu, Q., Kong, B., Xiong, Y.L. y Xia, X (2010). Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis. *Food Chemistry*, 118, 403-410.
- Korhonen, H. y Pihlanto, A. (2007). Bioactive peptides: Production and functionality. Int. Dairy J., 4th NIZO Dairy Conference. Prospects for Health, Well-being and Safety 4th NIZO Dairy Conference. *Prospects for Health, Well-being and Safety*, 16, 945-960.
- Márquez, M. C. y Vázquez, M.A (1999). Modeling of enzymatic protein hydrolysis. *Process Biochemistry*, 35, 111-117.
- Morales-Medina, R., Pérez-Gálvez, R., Guadix, A. y Guadix, E.M. (2017). Multiobjective optimization of the antioxidant activities of horse mackerel hydrolysates produced with protease mixture. *Process Biochem.*, 52, 149-158.
- Ou, B., Hampsche-Woodill, M. y Prior, R. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4619-4626.
- Pulido, R., Bravo, L. y Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3396-3402.
- Rajapakse, J., Mendis, E., Jung, W. K., Je, J. Y., y Kim, S. K. (2005). Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties. *Food Research International*, 38, 175-182.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology y Medicine*, 26(9), 1231-1237.
- Sarmadi, B.H. e Ismail, A (2010). Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides* 31, 1949-1956.
- Sabeena Farvin, K. H., Andersen, L. L., Nielsen, H. H., Jacobsen, C., Jakobsen, G., Johansson, I. y Jessen, F. (2014). Antioxidant activity of Cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: In vitro assays and evaluation in 5% fish oil-in-water emulsion. *Food Chem.*, 149, 326-334. doi:10.1016/j.foodchem.2013.03.075
- Valencia, P., Espinoza, K., Ceballos, A., Pinto, M. y Almonacid, S. (2015). Novel modeling methodology for the characterization of enzymatic hydrolysis of proteins. *Process Biochem*, 50, 589-597.

# Prospectiva estratégica en los procesos de extracción y del beneficio de la roca caliza en el norte del Cesar, Colombia

Jan Carlos Buelvas<sup>1</sup>, Martha Mendoza<sup>2</sup>, Sandra Molina<sup>3</sup>

## Resumen

A nivel mundial, en los países subdesarrollados, se denota una mayor incidencia de la actividad minera artesanal y a pequeña escala (MAPE), que representa un porcentaje significativo en el producto interno bruto (PIB). Colombia es poseedor de un importante potencial geológico en recursos sujetos a extracción, un ejemplo es la roca caliza distribuida en las cordilleras Oriental, Central y en la región Caribe, teniendo dicho recurso un dinamismo en el mercado interno. En tal sentido, esta investigación se direccionó al norte del Cesar en las canteras de caliza ligadas al proceso de extracción y del beneficio de la roca; por tal motivo, se hizo indispensable tener identificado el proceso como también caracterizarlo y se buscó generar una prospectiva estratégica a través de la política competitiva “Prospecta Colombia 2032” en matices DOFA de los procesos de arranque, cargue, transporte y beneficio, proponiendo medidas que mejoren y optimicen la labor minera en pro de un mercado con un alto valor agregado e innovación. No obstante, se implementó como metodología un modelo mixto de enfoque cuanti cualitativo con un diseño de campo cuasiexperimental, en el que se utilizaron como técnicas e instrumentos: la lista de chequeo, la observación, la encuesta, los ensayos de laboratorios, entre otros.

**Palabras clave:** beneficio, caliza, cantera, MAPE, prospectiva estratégica.

---

1 Ingeniero de minas de la Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Correo: jbuelvas3@estudiantes.areandina.edu.co

2 Administradora de empresas, magíster en Gerencia de Proyectos I+D+I, docente investigadora de la Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Correo: mmendoza27@areandina.edu.co

3 Ingeniera de minas y docente coinvestigadora de la Fundación Universitaria del Área Andina. Valledupar, Colombia. Correo: smolina17@areandina.edu.co

## Introducción

Dentro del contexto mundial, el autor Earrthascan a través de IIED (2012) expresa que naturalmente el enfoque de atención en el aspecto laboral de las pequeñas minerías se ha visto reflejado en consecuencia por lo descrito por Mining Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project, que

la mayor parte de la atención en la industria de la minería se concentra en las grandes empresas; sin embargo, en muchas partes del mundo, en especial en los países en desarrollo, los minerales son extraídos por la minería artesanal y en pequeña escala (MAPE) personas que trabajan con herramientas y equipamiento simples, por lo general en el sector informal, fuera del marco regulador y legal.

Es oportuno aludir al autor Chaparro (2000), quien manifiesta que

es importante por cuanto el conglomerado agrupado bajo la denominación de pequeña minería, representa un porcentaje significativo de la producción minera del continente, así como de la fuerza laboral dedicada a la extracción de minerales y metales. Por otra parte, es importante estable-

cer que la pequeña minería no es un fenómeno reciente y tiene un carácter universal, lo cual permite que se encuentren expresiones de ella en los cinco continentes y en países tan disímiles como: Canadá, Colombia, Chile, China, Bolivia, España, Inglaterra y Perú.

Ahora bien, hoy en día ¿cómo se concibe la ejecución de la labor extractiva en el país de un recurso técnicamente rentable como la roca caliza? para responder este interrogante se trae a colación a Güiza (2013) quien define que

la minería en Colombia, aún es muy incipiente y se lleva a cabo principalmente en pequeña escala. Gran parte de esta pequeña minera no cuenta con el correspondiente título minero. Actualmente hay 6813 pequeñas minas ilegales es decir el 66% de la actividad. El 39% de las pequeñas minas ilegales del país llevan más de 10 años en explotación minera por lo cual pueden ser consideradas como minería tradicional que no ha sido formalizada. Teniendo en cuenta el reporte del censo minería de 2011, el 95% de las pequeñas minas ilegales no cuentan con ningún tipo de permiso o autorización ambiental, lo que está generando graves impactos ambientales en el país.

Es justo decir que en cuanto a la roca caliza surge la incertidumbre de ¿quiénes son las empresas que han venido dedicándose a la extracción y al beneficio de este recurso? Por tanto, Latorre A. (2008) en su investigación: La industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda, da a conocer que

en Colombia para entonces solo existían cinco empresas comercializadoras y productoras de cemento: Argos, Cemex, Holcim, Cementos del Oriente y Cementos Tequendama; Y que, debido a este reducido número de empresas dedicadas a la elaboración de este producto de la roca Caliza, él consideró que en ese momento prevalecía un mercado concentrado, con un modelo de integración vertical, con barrera a la entrada de nuevos jugadores, además de altas inversiones iniciales y un producto poco diferenciado.

Paralelamente, emerge otra pregunta: ¿qué importancia tiene la roca caliza como materia prima en la industria de la construcción u otros mercados en Colombia? Se comienza por evocar que Solano R. (2011) describe que

la producción de cal es una parte integral de la cadena de construcción a

nivel nacional, más específicamente el 80% de la producción del país, sin embargo, también observó que ascendió el porcentaje de cal importada debido a la falta de tecnología y a las técnicas rudimentarias que elevan el precio nacional de este material, haciendo más atractivo el precio extranjero. Adicionalmente, señala que el mercado de la cal crece paralelamente con el del cemento, permitiendo que la compra del producto se mantenga estable y que las demás industrias como la siderúrgica y la química compitan por ofrecer valores de compra atractivos para productores y pequeños mineros.

No obstante, se procede a resolver otra inquietud sobre ¿qué política se ha impartido para fortalecer la competitividad y la informalidad del desarrollo de la actividad minera y artesanal a pequeña escala en el país colombiano? Conforme al CPC (Concejo Privado de Competitividad) (2008) expresó que “hace 5 años se tramitó el CONPES 3439 de 2006 que se estableció el Sistema Nacional de competitividad, el cual, meses más tarde, a través de la comisión nacional de competitividad, aprobó la visión de largo plazo prospecta Colombia 2032. De tal modo que

en el 2032 Colombia será uno de los tres países más competitivos de América Latina y tendrá un elevado nivel de ingreso por persona, equivalente al de un país de ingresos medios altos, a través de una economía exportadora de bienes y servicios de alto valor agregado e innovación.

Dentro de esta investigación, se plantean los siguientes objetivos: en primera instancia, determinar las canteras de calizas ubicadas en el departamento del Cesar en la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE); en segunda instancia, determinar los métodos de extracción del recurso de la roca caliza; en tercera instancia, caracterizar el beneficio por el cual pasa la roca caliza para la obtención del producto y por último proponer una prospectiva estratégica basándose en los procesos de extracción y del beneficio de la roca caliza.

En tal sentido, para así poder mejorar y proponer estrategias con un enfoque competitivo hacia la formalidad en el que se mejore el proceso y con este la operación por la cual deben atravesar la roca. Por consiguiente, se contribuya a un adecuado desarrollo sostenible y sustentable de la actividad minera, dado que así se accede a fortalecer los conocimientos tácticos que optimicen las ca-

racterísticas en pro de una productividad en calidad y cantidad. De tal manera que a través de la separación, molienda, trituración homogenización, clasificación, entre otras operaciones y procesos se propongan pautas y lineamientos que se convierten en patrones de seguimientos hacia la prospectiva estratégica, a través de matrices DOFA, para las demás canteras y con estas se logre perpetuar no solo a nivel local sino también nacional e internacional.

## **Materiales y métodos**

Al margen de la investigación, se tuvo en cuenta un paradigma de investigación que es un cúmulo de creencias teóricas y metodológicas entrecruzadas que accede la selección, valoración enjuiciada de temas, problemas y métodos. Según el autor Creswell et al. (2008, citado por Hernández, 2013) manifiestan que

al adoptar una postura pragmática se está aceptando la posibilidad de “colocar” múltiples paradigmas en un solo estudio y estar abierto a todas las posibilidades. Si el diseño seleccionado es el explicativo y se otorga mayor importancia a la dimensión cuantitativa, el paradigma predominante puede ser el pospositivista,

pero el diseño elegido es el exploratorio secuencia con más importancia en lo cualitativo, el paradigma es esencial que guíe al estudio puede ser el interpretativo-naturalista.

Es oportuno mencionar a Hernández (2014), quien describe

que el modelo mixto es el grado más alto de combinación entre los enfoques cuantitativos y cualitativos; ambos se entremezclan o combinan en todo el proceso de investigación, o al menos, en la mayoría de sus etapas. Requiere de un manejo completo de los dos enfoques y una mentalidad abierta. Agrega complejidad al diseño de estudio; pero contempla todas las ventajas de cada uno de los enfoques. Se concibe un modelo de enfoque dominante en donde se lleva a cabo bajo la perspectiva de alguno de los enfoques, el cual prevalece, y el estudio conserva componentes del otro enfoque.

Es decir, de acuerdo con lo previo en esta indagación, los tres primeros objetivos de estudios se conciben dentro del enfoque cuantitativo, influenciados y determinados por su proceso deductivo-analítico mediante el procesamiento de datos sistematizados y lógicos a través de datos estadísticos. No obstante,

en el último objetivo de estudio su proceso es inductivo, de tal manera que es interpretativo naturalista, en el que existe una prelación con base al enfoque cuantitativo, en el cual se hace una reflexión más profunda con la ayuda de los datos suministrado a través del enfoque cualitativo; en tal sentido, la investigación se direcciona a un enfoque mixto que requiere de un manejo idóneo de los dos enfoques, abarcando un grado de complejidad.

Según Zamora (2009),

es un modelo de investigación derivado del paradigma experimental, se caracteriza por el estudio de la variable de tratamiento en contextos donde el investigador no puede asignar las unidades de análisis a las variables de interés; habitualmente se llevan a cabo fuera del laboratorio.

De tal modo que los diseños de campo cuasiexperimentales se traducen en el hecho de que las variables están dadas en el objeto de la investigación de manera natural pero que se ven reflejadas en la manipulación, que no se pueden ejercer o presentar de forma independiente de la variable a voluntad, en el cual no se permite rechazar completamente otras explicaciones causales distintas a la que nos interesa establecer. Se sos-

tiene que maneja una extrema relación con la casualidad-efecto que se puede proporcionar en el objeto de estudio de la investigación, pero que las proyecciones de las circunstancias arrojadas por la intervención del investigador pueden ser visualizadas desde distintos enfoques que pueden o no coexistir con el planteamiento de la indagación.

Se examina minuciosamente que la investigación, según su profundidad o el alcance que puede tener de acuerdo con la temática, se tendrían en cuenta los diseños de tipos exploratorios, descriptivos y correlacionales. En primer lugar, los tipos exploratorios ayudan a identificar con que se cuenta antes de intervenir al objeto de estudio a partir de los interrogantes planteados; en segundo lugar, los descriptivos tienen como objetivo describir características de una población sujeto de estudio y analizar su incidencia o interrelación en un momento dado. Finalmente, se busca describir la relación que hay entre diferentes factores.

Según D'Angelo (2008), población es

un conjunto de individuos, objetos, elementos o fenómenos en los cuales puede presentarse determinadas características susceptibles de ser

estudiadas; en el cual se extrae una muestra que es cualquier subconjunto del universo. Desde la estadística pueden ser probabilísticas o no probabilísticas; por ende, una unidad muestral es un conjunto de elementos extraídos de la población que conforman la muestra.

De esta manera, a partir de los títulos mineros registrados en el departamento del Cesar, se estimó que existen 35 canteras de caliza, las cuales se desglosan, según los contratos de legalización y concesión, así: 17 en etapa de exploración, cinco en etapa de construcción y montaje y trece en etapa de explotación consignados en el departamento del Cesar. Paralelamente, se tomó una muestra de siete canteras en el norte del departamento del Cesar, a las cuales se estará realizando la investigación pertinente teniendo en cuenta los parámetros establecidos y los criterios de selección para cumplir con los objetivos planteados.

Conforme a la indagación se le atribuye una lista de chequeo descriptiva debido a que es una de las que se utiliza en la identificación de impactos ambientales, como también se organizan cuestionarios diseñados para cada factor en una serie de interrogantes relacionados con la posible ocurrencia de impactos

producidos por un proyecto en particular. Quintan y Montgomery (2006) expresan que

es posible emplear una guía completamente estructurada de observación, Lista de Chequeo (check list, en inglés), todo esto con la finalidad de registrar la existencia o no de aspectos o elementos considerados a la luz de los parámetros y criterios de evaluación adoptados como claves en el cumplimiento de los objetivos del proyecto o programa de investigación, o como requisito de funcionamiento de la organización o institución, objeto de estudio.

Se sostiene que para Blanco (2011) la encuesta es “un método científico de recolección de datos de carácter cuantitativo que permite recopilar información sobre opiniones, creencias y/o actitudes de los sujetos estudiados e indagar acerca de temas múltiples, tales como pautas de conducta, prejuicios, tendencias políticas”.

Se recapitula entonces que, en cuanto al objeto de estudio que tiene la investigación cuantitativa, se hace indispensable la aplicación de la técnica que mejor evidencia la base de la estadística como tal, la encuesta, que concede instituir predicciones representativas en relación

con las características de grandes poblaciones. Por tal razón, la encuesta permite describir cómo se revelan explícitas propiedades de una población, teniendo en cuenta el análisis de la conducta de las variables de una muestra.

Por otro lado, la Universidad Nacional de Colombia, en su guía lineamientos para la validación y estimación de la incertidumbre de la medición asignadas mediante el acuerdo 164 de 2014, establece que

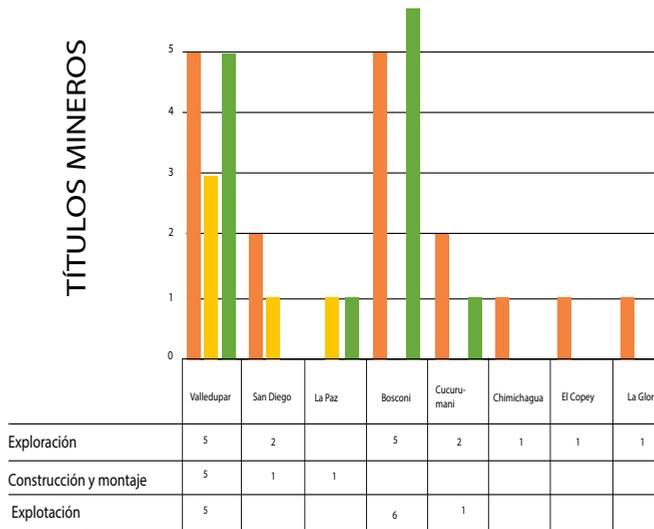
para realizar la validación de una metodología analítica es necesario inicialmente determinar qué parámetros son necesarios para demostrar la confiabilidad del método, de acuerdo con las normas nacionales e internacionales que sean aplicables, y a los recursos disponibles (patrones, muestras de referencia, insumos, etc.), para asegurar la trazabilidad de las mediciones y determinaciones que se deban realizar en la fase experimental de la validación. Esto implica que antes de iniciar la validación de un ensayo o calibración los equipos e instrumentos de medición deben estar calibrados y validados. Es importante tener en cuenta que existen dos tipos de metodologías de análisis, las cualitativas (falsos

positivos y negativos, especificidad, sensibilidad, región de incertidumbre y límite de corte) y las cuantitativas (exactitud, precisión, linealidad, robustez, límite de detección y de cuantificación); ambas son susceptibles a ser validadas, su diferencia para su validación radica en que los parámetros evaluados para llevarla a cabo son diferentes.

Sin embargo, para el desarrollo del objetivo cualitativo se procederá a elab-

orar estrategias de desarrollo local basadas en lo propuesto por el Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Según Silva (2003), “siguiendo el análisis de los objetivos que se realizó, en este caso se trata de formular estrategias para alcanzar cada objetivo específico planteado. Para ello se propone realizar un ejercicio tipo Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas (FODA)”.

Figura 1. Datos de títulos mineros extraídos de la AGN-Secretaría de Minas Departamental



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

## Resultados

Se determinaron 35 de los títulos mineros registrados en el departamento del Cesar según la Agencia Nacional de Minería (ANM) Secretaría de Minas Departamental.

mental del Cesar que se ilustran en la figura 1, en el que se distribuyen de la siguiente manera: 17 en etapa de exploración, cinco en etapa de construcción y montaje y trece en etapa de explotación.

Figura 1. Datos de títulos mineros extraídos de la AGN-Secretaría de Minas Departamental.

### **Titulos ubicados al noroccidente del departamento del Cesar**



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

A continuación, se escogen siete títulos mineros, siendo la muestra seleccionada de aquellos que se encuentran en la etapa de explotación para realizar los objetivos de la investigación, la cual se puede contemplar en la tabla 1, en la que se presenta el número del expediente de la ANM, el mineral o recurso que se extrae, el muni-

cipio, la zona rural, el titular proponente y su etapa. Del mismo modo, se realiza la delimitación geográfica de los polígonos del área de concesión en el norte del Cesar a través del software de Google Earth.

Tabla 1. Títulos seleccionados para la aplicación de la investigación obtenidos a través de la ANM y la Secretaría de Minas departamental. Adaptado por criterios del autor Buelvas (2016)

No.	No. EXP.	Mineral	Municipio	Zona rural	Titular Proponente	Etapas
1	0150-1-20	Caliza	Valledupar	Caracolí, Via los Venados	Minera de los Santos	Explotación
2	0184-20	Caliza	Bosconia	Via Bosconia-Caracolí - La gran via	MIDAS	Explotación
3	0189-20	Caliza y Mármol	Valledupar	Via Caracolí, Camperucho	Eliseo Cañón	Explotación
4.1	FLA-101	Caliza y Mármol	Bosconia	Via Bosconia-Caracolí	Minera de los Santos	Explotación
4.2	0363-20	Caliza	Bosconia	Via Bosconia-Curumani-Carrera 3	Minera de los Santos S.A.	Explotación
5	0349-20	Caliza	Valledupar	Caracolí, Via los Venados - Camperucho	Minera de los Santos S.A.	Explotación
6	032-20	Caliza	La Paz	Via la Paz - Manauare	José Calles Mielés	Explotación

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Figura 2. Delimitación de los títulos mineros seleccionados ubicados al noroccidente del departamento del Cesar en el software Google Earth

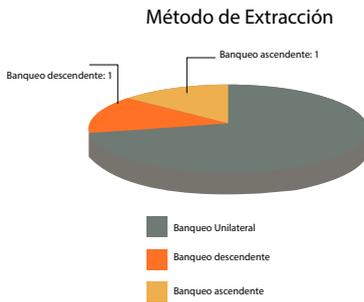
### Titulos ubicados al noroccidente del departamento del Cesar



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Por otro lado, se tienen que las canteras seleccionadas: 1, 2, 3, 4.2 y 5 tienen método de extracción por banco unilateral o único; por ende, la cantera 4.1 tiene banqueo descendente y la cantera 6 banqueo ascendente con un sistema a cielo abierto-cantera, en el que 5 se encuentra con explotación continua y 2 con explotación intermitente que se pueden visualizar en la figura 4.

**Figura 4. Método de extracción del sistema a cielo abierto tipo cantera del recurso de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar**



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Del mismo modo, conforme a las canteras 1, 2, 3, teniendo en cuenta el arranque, se tienen que son mixtos má-

quina y perforación; por consiguiente, las canteras 4.2, 5 y 6 perforación, voladura y maquinaria. No obstante, la cantera 4.1 con maquinaria ilustradas en la figura 5.

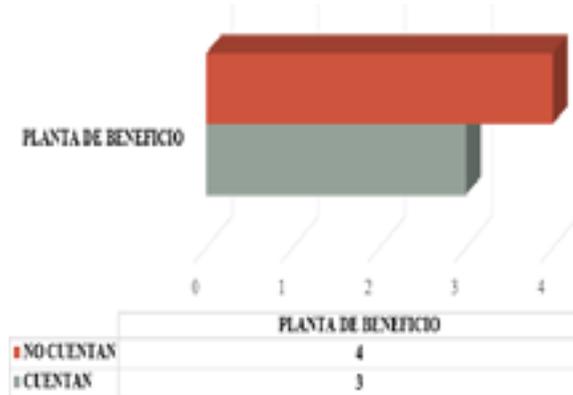
**Figura 5. Método de arranque del sistema a cielo abierto tipo cantera del recurso de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar**



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Por otro lado, de acuerdo al beneficio por el cual atraviesa el recurso de la roca caliza, las canteras 1, 3, 4.1 y 4.2 no cuentan con una planta de beneficio y las canteras 2, 5 y 6 cuentan con planta de beneficio que se representan en la figura 6.

Figura 6. Canteras del norte del departamento del Cesar en el cual la roca caliza pasa por un proceso de beneficio.



Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Se señalan, posteriormente, los análisis físicos (resistencia al desgaste y granulometría); geoquímicos (contenido de porcentajes de elementos o compuestos químicos) realizados a las canteras objeto de estudio de la roca caliza en la muestra seleccionada en el norte del departamento del Cesar. A continuación, se observan los análisis físicos de resistencia al desgaste hechos por medio de la máquina de los Ángeles.

Tabla 2. Cantera Midas. Informe de resistencia al desgaste de los agregados de tamaño menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los ángeles conforme a las normas de ensayos: INV E-218 equivalentes: ASTM c 131, AASHTO t 96, Incontec 98

**Análisis físicos - Cantera Midas**

GRADACIÓN USADA	A
No de esferas	12
No de Revoluciones	500
Peso Inicial (g)	3564,0
Peso Final (g)	2599,0
Perdida (g)	965,0
% De desgaste	27,1

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

**Tabla 3. Cantera Minera de los Santos; Informe de resistencia al desgaste de los agregados de tamaño menores de 37,5 mm (1 1/2") por medio de la máquina de los ángeles conforme a las normas de ensayos: INV E-218 equivalentes: ASTM C 131, AASHTO t 96, Incontec 98.**

GRADACIÓN USADA	A
No de esferas	12
No de Revoluciones	500
Peso Inicial (g)	3981,0
Peso Final (g)	3086,4
Perdida (g)	894,6
% De desgaste	22,5

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).  
Cantera Minera de los Santos

Teniendo en cuenta los estudios previamente evidenciados, se verificó que las muestras recolectadas de las canteras seleccionadas, de acuerdo con el estudio de la resistencia al desgaste, son competentes para cualquier requerimiento de la norma y especificaciones Inviás 2013.

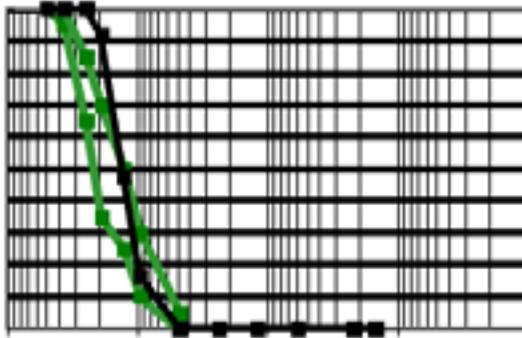
**Tabla 4. Normas y especificaciones de Inviás 2013. Capítulo 3, afirmados. Bases y subbases (artículos 311-13)**

ESPECIFICACIONES		
CAPA		NORMA
AFIRMADO		<50%
SUB- BASE GRANULAR		<50%
BASE GRANULAR		<40%
TRATAMIENTO SUPERFICIAL Y DOBLE		<40%
LECHADA ASFALTICA		<35%
MEZCLA BIERTA EN FRIO	BASE	<35%
	RODADURA	<30%
MEZCLA DENSA EN FRIO	BASE	<40%
(AGREGADO GRUESO)	RODADURA	<30%
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE		<35%
MEZCLA DENSA EN CALIENTE	BASE	<40%
(AGREGADO GRUESO)	RODADURA	<30%
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE		<40%
MATERIAL DE ADICCIÓN		

Fuente: adaptaciones del laboratorio Fundación Universitaria del Área Andina (2016)

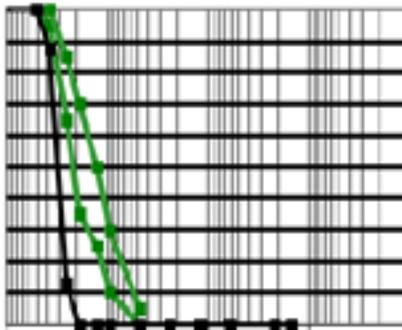
Seguidamente, se muestra el análisis granulométrico de las muestras escogidas en las canteras de caliza para brindar la información pertinente al propósito de la indagación.

Figura 7. Cantera Midas. Curva granulométrica para agregados gruesos para pavimento de concreto hidráulico especificaciones Inviás 500.2.1.4.e.



Fuente: elaborado con base en las normas y especificaciones de Inviás 2013. Cap. 5, "Pavimentos de concreto" (artículo 500-13). Adaptaciones del laboratorio Fundación Universitaria del Área Andina (2016).

Figura 8. Cantera Minera de los Sanos. Curva granulométrica para agregados gruesos para pavimento de concreto hidráulico especificaciones de Inviás 500.2.1.4.e



Fuente: elaborado con base en las normas y especificaciones de Inviás 2013. Cap. 5, "Pavimentos de concreto" (artículo 500-13). Adaptaciones del laboratorio Fundación Universitaria del Área Andina (2016).

Tabla 5. Estudio de fluorescencia en rayos X

Elemento y/o compuesto	XRF- 2401 CALIZA CREMA	Elemento y/o compuesto	XRF- 2402 CALIZA CAFÉ
CaCO <sub>3</sub>	93,424	CaCO <sub>3</sub>	96,173
SiO <sub>2</sub>	3,986	SiO <sub>2</sub>	1,884
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,370	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,715
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,535	MgO	0,461
MgO	0,193	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,296
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,188	K <sub>2</sub> O	0,243
K <sub>2</sub> O	0,129	Na <sub>2</sub> O	0,081
TiO <sub>2</sub>	0,061	TiO <sub>2</sub>	0,056
Na <sub>2</sub> O	0,051	Cl	0,083
MnO	0,025	Sr	0,024
S	0,022	S	0,019
Sr	0,008	Y	0,003
Zn	0,003	Zn	0,002

Fuente: adaptado por Buelvas (2016) a partir de Moreno (2016).

De tal modo que, de acuerdo con la información del estudio de espectrometría en fluorescencia en rayos X proporcionado por Moreno 2016, se tuvo en cuenta los factores que afectan la calidad de la cal viva (CaO). Según Hassibi (2009), quien con respecto a los porcentajes de calcio-magnesio le atribuyó su clasificación de caliza cálcica con un contenido expresado de la siguiente manera: (Ca: 90%-95%); (Mg: 1%-2%) y, por otro lado, la caliza dolomítica denotada de la siguiente forma: (Ca: 60%-65%); (Mg: 35%-40%). No obstante, lo antes expuesto fue de vital importancia para la información que se despliega en la tabla 6.

Tabla 6. Estructura química expuesta en el cemento Portland

Cemento	C35	C25	C3A	C4AF
Tipo I	48	27	12	8
Tipo II	40	35	5	13
Tipo III	62	13	9	8
Tipo IV	25	50	5	12
Tipo V	38	37	4	9

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

Ahora bien, se basó en el autor Silva (2003), conforme a la metodología, para la elaboración de estrategias de desarrollo local, teniendo en cuenta la matriz DOFA que establece se implementó en los procesos de extracción y del beneficio en las canteras de caliza en el norte del departamento del Cesar que se muestran

en las figuras 7, 8, 9 y 10 en el proceso de extracción (arranque, cargue y transporte) y en el proceso de beneficio-mercado respectivamente.

**Tabla 7. Matriz DOFA de la actividad de arranque del proceso de extracción de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar**

Proceso de extracción. Actividad de arranque
<b>Fuerza</b>
• F.1= manejo adecuado de equipos y maquinarias.
• F2= trabajos u horas/hombres con menos riesgos laborales.
<b>Debilidades</b>
• D1= no poseen una consecución de los explosivos adecuada.
• D2= no cuentan con un método específico (planificación).
<b>Oportunidades</b>
• O1= optimizar las mallas de perforación.
• O2= optimizar los métodos manuales de perforación.
<b>Amenazas</b>
• A1= no se cuenta con un departamento o un soporte para el mantenimiento de los equipos y maquinarias de la mina.
• A2= Falta de análisis costo- beneficio para la producción y respectivas metas de la mina.
• A3= Tener personal con experiencias en costos y planificación de proyectos.

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

**Tabla 8. Matriz DOFA de la actividad de cargue del proceso de extracción de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar.**

Proceso de extracción. Actividad de cargue
<b>Fuerza</b>
• F1= manejo adecuado de equipos y maquinarias en el frente de explotación que aseguran una producción óptima.
• F2= trabajos o horas/hombres con menos riesgos laborales.
<b>Debilidades</b>
• D1= no hay un uso adecuado de maquinaria para el cargue del material en el frente de explotación.
<b>Oportunidades</b>
• O1=planificar la implementación de equipos de cargue específicos en los frentes de trabajo.
<b>Amenazas</b>
• A1= no contar con un departamento o un soporte para el mantenimiento de los equipos y maquinarias de la mina.
• A2= costos financieros para la producción y respectivas metas de la mina.
• A3= tener personal con experiencias en costos y planificación de proyectos.

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

**Tabla 9. Matriz DOFA de la actividad de transporte del proceso de extracción de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar**

Proceso de extracción. Actividad de transporte
Fuerza
F1= manejo adecuado de equipos y maquinarias en el frente de transporte.
F2= trabajos u horas/hombres con menos riesgos laborales.
Debilidades
D1= no cuentan con una organización en los sitios de cargue tanto en los frentes de trabajo como en la planta de trituración.
D2= no poseen una disposición adecuada de los ciclos de acarreo debido a que no cuentan con alguno.
D3= no cuentan con un arreglo en las vías (internos y externos).
Oportunidades
O1= optimizar ciclos de acarreo.
O2= optimizar las vías.
Amenazas
A1= no contar con un departamento o un soporte para el mantenimiento de los equipos y maquinarias de la mina.
A2= costos financieros para la producción y respectivas metas de la mina.
A3= tener personal con experiencias en costos y planificación de proyectos.

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

**Tabla 10. Matriz DOFA del mercado en el proceso de beneficio de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar**

Proceso de beneficio. Mercado
Fuerza
<ul style="list-style-type: none"> <li>• F1= manejo adecuado de la planta trituradora, nos aseguran una producción óptima.</li> <li>• F2= trabajos u h/h con menos riesgos laborales.</li> </ul>
Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• D1= no poseen una disposición adecuada del material acopiado debido a que están muy cercanos y tienden a mezclarse.</li> <li>• D2= desconocimiento de la utilidad del material en distintos mercados.</li> <li>• D3= no tener claridad de los mecanismo y para desarrollar la labor minera en suelo pertenecientes a los cuatro grupos indígenas.</li> </ul>
Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O1= optimizar el proceso de conminución de la roca caliza de acuerdo con sus características, ya sean físicas o químicas, dependiendo del mercado hacia el que está dirigido.</li> </ul>

Amenazas
• A1= no contar con un departamento de análisis en estándares físicos y químicos para el material acopiado.
• A2= costos financieros para la producción y respectivas metas de la mina
• A3= tener personal con experiencias en costos y planificación de proyectos.
• A4= trabajar en áreas delimitadas por la línea negra de los cuatro grupos de los resguardos indígenas.

Fuente: adaptado por Buelvas (2016).

## Discusión

En primera instancia, para determinar las etapas en las que se encuentran las canteras de caliza dedicadas a la extracción en el norte del Cesar, se recurre a recolectar la información pertinente de los archivos en la Agencia Nacional de Minería y la Secretaría Departamental de Minas, gobernación del Cesar. Luego, se procede a hacer la tabulación estadística de las 35 canteras halladas de los datos proporcionado, teniendo en cuenta las etapas en la que se encontraron (exploración, construcción-montaje y explotación) de la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE), en la que se selecciona aquellas que estuvieron en explotación para aplicar una encuesta y así recolectar la información pertinente para suplir los demás objetivos de la investigación, seleccionando una muestra de siete canteras de las trece que se encontraban en la labor minera extractiva y del beneficio.

En segunda instancia, para identificar los métodos utilizados en la extracción de la roca caliza en el norte del Cesar. De tal modo que se realiza una ruta de las visitas técnicas a campos en el software Google Earth de los títulos mineros seleccionados conforme a sus polígonos de concesión otorgados por la Agencia Nacional de Minas (ANM) y ubicados en el nororiente y noroccidente del departamento del Cesar; por ende, se ejecuta la encuesta objeto de estudio y así se recolectan los datos referentes al sistema, método de extracción, el arranque, la relación de equipos utilizados, los instrumentos, el recurso humano y la maquinaria.

En tercera instancia, para caracterizar el beneficio que se genera en la roca caliza en el norte del Cesar, se realiza una nueva visita para recolectar las muestras físicas en aquellas en las que se le hacía un proceso de conminución del

recurso; de tal forma que al clasificarlo en pilas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, 1 pulgada y  $1\frac{1}{2}$  pulgada se procedía a hacer un cuarteo en cada una de ellas y así hacerle su caracterización física. Después, se llevan a cabo los ensayos de laboratorio de resistencia al desgaste y granulometría en la Fundación Universitaria del Área Andina; por consiguiente, se verifica la calidad de la roca caliza, teniendo en cuenta las normas y especificaciones del Invías 2013 en el capítulo 3, de afirmados, bases y subbases (artículos 311-13), constatando que son de excelente calidad y que pueden ser utilizadas en cualquier campo de uso en el mercado.

Desde luego, para la caracterización geoquímica se tomó los estudios de espectrometría en fluorescencia de rayos X suministrados por las canteras en las que se hicieron las visitas técnicas de campo; dicho estudio mostraba la relación del porcentaje de la presencia de elementos y compuestos en la roca caliza de denominación caliza crema XRF-2401 y caliza café XRF-2402. A partir de los datos previos se hizo la correlación pertinente a la literatura de calizas cálcicas y calizas dolomíticas conforme a sus calidades en el campo de aplicación de la industria cementera y fabricación de la cal. Es oportuno evocar que se agruparon datos pertinentes de los productos,

subproductos o aplicaciones que abarcan en su mercado, tales como: pisos de mármol, lo relacionado con la mampostería, baldosas, enchapes, gravas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, arena y arenón, procesamiento del clínker, entre otros. No obstante, sus clientes son: Granitos y Mármoles S.A.; constructoras en Bosconia que edifiquen vías y puentes en Mompox; Cemex; Argos; Cemento vallenato, entre otros.

No obstante, se delimitan que los mercados en los que se movilizan las empresas mineras son de infraestructura urbanística y vial, mampostería, cemento y fabricación de cal. Algo particular es que dichas calizas cálcicas son utilizadas para la fabricación del cemento en esta región que se contradice del proceso de beneficio, basándose en la literatura conforme a la estructura química del cemento Portland, en el que es adecuada la utilización de la caliza dolomítica debido a que en sus porcentajes de calcio requerido contiene lo indicado o para llevarlo a su porcentaje menor su proceso de beneficio es mucho menor; por ende, al utilizar la caliza cálcica se estaría haciendo un proceso de beneficio aun mayor, lo que afectaría los costos de productividad. Pero se encuentra que para que tal proceso de beneficio de la caliza cálcica fuera utilizado de tal manera, lo que se realiza es una disminución de su

contenido cálcico diluyendo su concentración al suministrar arcilla, llevándolo al porcentaje requerido de la fabricación del cemento.

En última instancia, para proponer estrategias que mejoren u optimicen el proceso de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar en la etapa extractiva y en la de beneficio, se utilizó la implementación de matrices de competitividad DOFA al establecer las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de agentes tanto externos como internos de las canteras objetos de estudio; de tal forma que se propiciaron las estrategias DO, FA, FO y DA en el proceso de extracción de la actividad del arranque, cargue, transporte y del beneficio con el fin de generar un valor agregado al producto.

Conforme a la actividad del arranque, se establecieron las siguientes prospectivas estratégicas:

1. Estrategia FO: O1-O2.F1= capacitar al personal teniendo en cuenta estándares de perforación y voladura por métodos manuales-uso adecuado de explosivos.
2. Estrategia DO: O1.F1= gestión con la entidad Indumil para la consecución de explosivo; O2.F2= implemen-

tación técnica de un método diferente de voladura (averiguar el método manual que sea más eficiente) (track drill, martillos neumáticos).

3. Estrategias FA: A1.F2= articular con el SENA mediante practicantes en mecánicas de maquinaria pesada para soporte de mantenimiento de equipos; A2.F1= mirar la viabilidad de un sitio dedicada al mantenimiento y el suministro de repuesto ubicada estratégicamente que sea apoyo a las canteras del sector de influencia; A3.F1= incentivar proyectos de implementación costo-beneficio que sean productivos para este tipo de minería desde la FUAA-SENA.

4. Estrategia da: A2.D1= mirar la viabilidad de una subcontratación del costo de la perforación y la voladura en el mercado.

Igualmente, teniendo en cuenta la actividad del cargue se define la posterior prospectiva estratégica:

1. Estrategia FO: O1.F1= optar por mecanismos de control de productividad (toma de tiempo de cargue); O1.F2= capacitación del personal en cuanto a estándares de operación de equipos de cargue (carga, posicionamiento, manejo del equipo, aculata-miento).

2. Estrategia DO: O1.D1= optimización de las flotas de cargue para garantizar una mayor productividad.

3. Estrategias FA: A1-F2= articular con el SENA mediante practicantes en mecánicas de maquinaria pesada para soporte de mantenimiento de equipos; A2.F1= mirar la viabilidad de un sitio dedicado al mantenimiento y el suministro de repuestos, ubicado estratégicamente para que sea apoyo a las canteras del sector de influencia; A3.F1= incentivar proyectos de implementación costo-beneficio que sean productivos para este tipo de minería desde la FUAA-SENA.

4. Estrategia DA: A2.D1= implementación de un plan minero para la optimización de recursos.

Así mismo, de acuerdo con la actividad del transporte, se determina la próxima prospectiva estratégica:

1. Estrategia FO: O1.F1= capacitación del personal en estándares en equipos de acarreo e implementación de equipos de apoyos.

2. Estrategia DO: O1.D2-D3= rediseño de las vías de acarreo e implementación de equipos de la mina (Buldócer: motoniveladora); O2.D1= implementación de un control de pro-

ductividad (base de datos-tablas dinámicas).

3. Estrategias FA: A1.F2 articular con el SENA mediante practicantes en mecánicas de maquinaria pesada para soporte de mantenimiento de equipos; A2.F1= mirar la viabilidad de un sitio dedicado al mantenimiento y el suministro de repuestos, ubicado estratégicamente para que sea apoyo a las canteras del sector de influencia.

4. Estrategia DA: A2.D1-D2-D3= implementación de un plan minero para la optimización de recursos.

Por último, acorde con el proceso de beneficio-mercado, se precisa la subsecuente prospectiva estratégica:

1. Estrategia FO: O1.F1= capacitación del personal en estándares de equipos en la planta trituradora e implementación de equipos de apoyos.

2. Estrategia DO: O1.D1= rediseño del sistema de acopio del material para su clasificación; O2.D2= agrupación de un sistema en red de integración de canteras de los materiales acopiados; O1.D2= implementar un plan de gestión y articulación de otros mercados de aplicación industrial (agrícola, estabilización de suelos, cal viva, siderúrgica, farmacéutica, entre otros).

3. Estrategias FA: A1-A3.F1= articular con el SENA mediante practicantes de laboratorio, analistas de control y de calidad para los estudios físicos y químicos del material acopiado; A1-A2.F1= implementación de un control de calidad (análisis granulométricos, resistencia al desgaste); A3.F2= capacitación técnica del personal en las en las tecnologías utilizadas de estándar de calidad.

4. Estrategia DA: A1.D1= constituir un departamento de gestión de calidad en procedimientos físicos y químicos para el material acopiado; A4.D3= establecer mecanismos de apoyo como la consulta previa para establecer acuerdos y evitar el conflicto en el uso del suelo por el desarrollo de actividades mineras en áreas de delimitación de la línea negra, territorio ancestral de comunidades indígenas.

## Conclusiones

Se puede determinar, que según los análisis fisicoquímicos y conforme con los ensayos de laboratorio de la resistencia al desgaste, análisis granulométricos y el de espectrometría de fluorescencia en rayos X, se obtuvo que las rocas calizas son cálcicas, con un rango entre 90%-95%; dichos porcentajes son óptimos para mercados del cemento,

mampostería, sector vías y construcción (bases-subbases y afirmados), teniendo en cuenta que los procesos para la fabricación del cemento permiten la incorporación de la arcilla como mezcla para obtener el porcentaje de contenido de  $\text{CaCO}_3$  deseado. No obstante, de acuerdo a lo previo, estas calizas se pueden proyectar a mercados agrícolas, farmacéuticos, siderúrgicos, entre otros. En tal sentido, esto permite concluir que a futuro dicho recurso sería de vital importancia como materia prima en las distintas industrias antes mencionadas. Por otro lado, con esta información se visiona un gran potencial para la fabricación de un horno industrial para la producción de cal en el departamento del Cesar.

Sin duda alguna, existe un desafío por parte de la investigación, el cual se plantea la inclusión de conocimientos técnicos en las diversas explotaciones de caliza para mantener una productividad a futuro y un crecimiento dentro de los procesos, haciendo necesario que el dueño de la producción conozca en gran medida lo que produce debido a que de esta manera se puede proyectar a mercados futuros; por tanto, la utilización de maquinaria, tecnologías, ensayos de calidad de su producto le permite empoderarse del recurso explotado y abrirse a nuevos mercados. Es justo decir que

la prospectiva estratégica comprende que existen unos desafíos que se pueden orientar a asociaciones entre las canteras para promover e impulsar la calidad de su producto ya que existe una seria limitación en el uso de la caliza en un solo mercado por desconocimiento técnico del producto o el temor a proyectarse en un mercado distinto.

## Recomendaciones

Dentro de esta investigación se llevó a cabo un exhaustivo diagnóstico interno de la minería artesanal y a pequeña escala en el recurso de la roca caliza en el norte del departamento del Cesar, al proponer una prospectiva estratégica en los procesos de extracción y del beneficio. No obstante, se realizó de manera muy somera un diagnóstico externo, basándose en la mercadotecnia enfocada en estrategias de mercados de la diversidad del campo de aplicación de este recurso. Por tanto, se sugiere que para futuras investigaciones se implemente un diagnóstico externo, teniendo en cuenta un modelo de competitividad que, para el criterio de los autores de este trabajo, se sugiere las cinco fuerzas de Porter, el cual es un modelo estratégico elaborado por el ingeniero y profesor Michael Porter, de la Escuela de Negocios Har-

vard, en el año 1979, que determina la intensidad de competencia y la rivalidad en una industria. Del mismo modo, en esta investigación se tuvo como fin proponer estrategias ligadas a los procesos de extracción y del beneficio de la roca caliza para optimizarlas o mejorarlas y que se llegaran a reflejar en indicadores de productividad (costo-beneficio), que para otra posible investigación a futuro podría ser la aplicación de la prospectiva estratégica a las canteras, en las que se realizaron los objetivos propuestos de esta indagación.

## Referencias

- Blanco, C. (2011). Encuestas y estadísticas métodos de investigación cuantitativa en ciencias sociales y comunicación. Disponible en <https://edoc.site/-encuestas-y-estadisticasmetodosdeinvestigacioncuantitativaencienciasocialesycomunicacion--pdffree.html> (consultado el 10 de mayo de 2017).
- Chaparro, E. (2000). La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial. Disponible en <http://archivo.cepal.org/pdfs/2000/S00060497.pdf> (consultado el 15 de marzo del 2015).
- Consejo Privado de Competitividad. (2008). A dónde queremos llegar: visión 2032 y principales estrategias. Disponible en <http://www.compite.com.co/site/wpcontent/uploads/informes/20072008/05CAPITULO2.pdf> (consultado el 16 de agosto del 2015).

- Creswell (2008). Cap. 12. “Ampliación y fundamentación de los métodos mixtos”. Disponible en [novella.mhhe.com/sites/dl/free/000001251x/1016239/CAPITULO12.pdf](http://novella.mhhe.com/sites/dl/free/000001251x/1016239/CAPITULO12.pdf) (consultado el 7 de septiembre del 2016).
- D’Angelo, S. (2008). Población y muestra. Disponible en [http://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACI%C3%93N%20Y%20MUESTRA%20\(Lic%20DAngelo\).pdf](http://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACI%C3%93N%20Y%20MUESTRA%20(Lic%20DAngelo).pdf) (consultado el 20 de mayo del 2015).
- Güiza, L. (2013). La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/prinFRIENDLY/35819/45320> (consultado el 20 de agosto del 2016).
- Hernández, S. (2014). El proceso de investigación y los enfoques cuantitativo y cualitativo: hacia un modelo integral. Disponible en <http://metodoscomunicacion.sociales.uba.ar/files/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf> (consultado el 25 de septiembre del 2016).
- International Institute for environment and Development (IIED) (2012). Cap. 13: “Minería artesanal y en pequeña escala”. Reporte final. Disponible en <http://www.iied.org/mmsd-final-report> (consultado el 5 de diciembre del 2015).
- Latorre, A. (2008). La industria del cemento en Colombia determinantes y comportamiento de la demanda. Disponible en [http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis\\_16.pdf](http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis_16.pdf) (consultado el 10 de agosto del 2016).
- Quintan, A. y Montgomery, W. (2006). Metodología de investigación científica cualitativa. Disponible en <http://biblioteca.iplace.cl/RCA/Methodoog%C3%ADa%20de%20investigaci%C%B3n%20cient%C3%ADfica%20cualitativa.pdf> (consultado el 7 de mayo del 2017).
- Silva, I. (2003). Metodología para la elaboración de estrategias de desarrollo local. Disponible en <https://www.cepal.org/publicaciones/xml/7/13867/sgp42.pdf> (consultado el 17 de mayo del 2017).
- Solano, R. (2011). Factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la explotación de piedra caliza en el municipio de Charata, Santander. Disponible en <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137834.pdf> (consultado el 10 de agosto del 2015).
- Universidad Nacional de Colombia. (2014). Lineamientos para la validación y estimación de la incertidumbre de la medición. Disponible en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rf4KvqLSu4oJ:www.laboratorios.bogota.unal.edu.co/userfiles/files/GU%25C3%258DA%-2520validacion%2520e%2520incertidumbre.docx+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co> (consultado el 16 de junio del 2016).
- Zamora, O. (2009). Diseños experimentales y cuasiexperimentales: reflexiones operaciones sobre el uso de la aleatorización. Disponible en [http://berniecl.weebly.com/uploads/7/2/5/3/72531/diseos\\_de\\_investigacion\\_2012.pdf](http://berniecl.weebly.com/uploads/7/2/5/3/72531/diseos_de_investigacion_2012.pdf) (consultado el 25 de septiembre del 2016).



REVISTA  
AGUNKUYÂA

---

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

**AREANDINA**

Fundación Universitaria del Área Andina  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básica