

Volumen 12 Número 2 , 2022 ISSN: 2711-4260



REVISTA
AGUNKUYÂA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

AGUNKUYAA

Volumen 12 Número 2 , 2022

ISSN: 2711-4260



AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Transversal 22 Bis, 4 - 105, Valledupar, Colombia

Correo electrónico: rev.agunkuyaa@areandina.edu.co

Editor

MSc. Aida Sanes Orrego
Docente Investigadora
Programa de Maestría en Gestión Ambiental
Fundación Universitaria del Área Andina

Comité Científico

Dr. Cristian Julián Díaz Álvarez
Fundación Universitaria del Área Andina.

MSc. Martha Cervantes Díaz
Docente Investigador
Universidad Santo Tomás – Seccional
Bucaramanga

MBA. Diego Andrés Molina Casallas
Director de calidad y Medio Ambiente
Procaps – Bogotá

Dra. Gabriela Arrita Loyo
Docente Investigador
Universidad Nacional de Colombia - Bogotá

MSc. Carlos Alberto Abreo Villamizar
Investigador
Universidad del País Vasco - España

Comité Editorial

Dr. Cristian Julián Díaz Álvarez
Decano Nacional
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Fundación Universitaria del Área Andina

Dr. Eduardo Mora Bejarano
Decano Nacional
Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Fundación Universitaria del Área Andina

MSc. Camilo Andrés Cuellar Mejía
Subdirector Nacional de Publicaciones.
Fundación Universitaria del Área Andina

MSc. Hernando Hermida Castillo
Docente Investigador
Programa de Maestría en Gestión
Ambiental
Fundación Universitaria del Área Andina

Consejo Directivo

Pablo Oliveros Marmolejo †
Gustavo Eastman Vélez
Miembros Fundadores

Carlos Patricio Eastman Barona
Miembro Asamblea General - Presidente
Consejo Superior

José Leonardo Valencia Molano
Rector Nacional - Representante Legal
Miembro del Consejo Superior

Martha Patricia Castellanos Saavedra
Vicerrectora Nacional Académica

Karol Milena Pérez Calderón
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

Carlos Edwin Camarillo Torres
Decano de la Facultad de Ingeniería y
Ciencias Básicas

Política Editorial

La *Revista Agunkuyâa* es una publicación académica de carácter científico que tiene como propósito la divulgación del conocimiento generado a partir de investigaciones, reflexiones y disertaciones que contribuyan a ampliar el conocimiento en todos los campos de las ciencias. Esta publicación se dirige a la comunidad académica en general y de manera especial a docentes y estudiantes.

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.

Contenido

Revista Agunkuyâa

Valledupar, Cesar

Volumen 12, Número 2, páginas 1 a 73, 2022

Editorial

- 9 Tejiendo redes de investigación

Jessica Perdomo Useche

Artículos de investigación

- 13 Evaluación de alternativa de abastecimiento de agua mediante sistema atrapanieblas en finca El Descanso, Manaure-Cesar

Luis Fernando Patiño Galvis

José Mauricio Pérez Royero

- 25 Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la estación de servicio en la entrada del municipio de Manaure, Cesar

Aristides José Noriega Hernández, M. Sc (c)

César Jaime Urbina Mejía

- 41 Caracterización y análisis de los suelos disturbados en el centro del departamento del Cesar (Colombia)

Aleana Cahuana, M.

- 55 ¿Está el futuro de la energía relacionado con el hidrógeno?

Victor Hugo Ferman Ávila

Sergio Eduardo Núñez Caraveo

Evelyn Ochoa García

Resúmenes extendidos

- 63 | Evaluación de la concentración de nitratos y fosfatos por
Chlorella vulgaris en aguas superficiales en el tramo Salguero del río Cesar
María Isabel Téllez Luna
Jean Carlos Ospino Jiménez
- 69 | Implementación pedagógica de la economía circular en un colegio
Ruth Perea Martínez



Editorial

Tejiendo redes de investigación

Jessica Perdomo Useche¹

Estudiar la ciencia de forma independiente, solo desde el punto de vista del campo de acción al que se pertenece, es no entender por completo el eje central de la investigación: la interdisciplinariedad. Las relaciones entre distintos conocimientos se han venido tejiendo desde el inicio de los tiempos, y nos ha permitido desarrollar diferentes técnicas, evaluar procesos y crear modelos que permiten comprender la vida. El valor de este tejido de disciplinas es que no se para en una sola disciplina; por el contrario, es la suma de diferentes campos que se unen en un objetivo.

En esta edición de la *Revista Agunkuyâa*, se invita a la comunidad a hacer parte de nuestra red. Invitamos a esa comunidad a leer nuestra revista como un ecosistema en el que cada artículo es una pieza fundamental de construcción y sostenimiento. En este número se recogen cuatro temas fundamentales de la sostenibilidad ambiental: el suelo, el agua, la energía y la educación ambiental. Estos temas son estudiados desde diferentes disciplinas: es la esencia de la revista, un espacio de intersección. La interdisciplinariedad es uno de los grandes objetivos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas: aportar en la búsqueda de soluciones integrales que permitan una transformación social y ambiental del territorio.

La investigación en la sociedad cumple un papel esencial. En esa medida, visibilizar estos procesos desde una visión holística es parte clave de la divulgación científica. Invito a la comunidad académica a seguir incluyendo dentro de sus proyectos actividades que permitan dar a conocer los avances que desde diferentes campos de la sociedad aportan a la discusión ambiental. El fin de esta invitación es estimular el tejido del conocimiento desde diferentes áreas y dar a conocer el potencial que tiene la región y el país.

¹ Bióloga, magíster en Gestión Ambiental, docente en Fundación Universitaria de Área Andina.



Artículos de investigación

Evaluación de alternativa de abastecimiento de agua mediante sistema atrapanieblas en finca El Descanso, Manaure-Cesar

Luis Fernando Patiño Galvis¹
José Mauricio Pérez Royero²

Resumen

La finca El Descanso está localizada a 2.100 msnm en zona rural del municipio de Manaure; donde la actividad productiva principal del municipio es la agricultura. El recurso hídrico se obtiene al desviar un arroyo cercano, proceso que afecta la cuenca baja, principalmente en temporada seca. El presente estudio se centra en evaluar la eficiencia de un sistema atrapanieblas como método de captación del agua proveniente de la niebla mediante fase de prospección. Primero se realizaron mediciones en temporada seca con neblinómetros, para luego diseñar el sistema, así como realizar un registro diario de los volúmenes captados en temporada húmeda. Los resultados de captación promedio tanto en temporada seca (0,28 l/m²/día) como húmeda (0,94 l/m²/día) muestran que la zona cuenta con potencial hídrico, y que este sistema es una alternativa que contribuye al cubrimiento parcial (1 - 5%) de riego en temporada seca para el cultivo de mayor producción (mora) y a disminuir la presión ejercida sobre el afluente.

Palabras clave: Captación, niebla, atrapanieblas, riego, eficiencia, temporada seca.

Introducción

A nivel mundial, la crisis generada por el acceso al agua ha llevado a la exploración de diversos mecanismos que permitan la obtención de ese recurso en cualquiera de sus formas; dentro de estas formas está el servicio ecosistémico que presenta la niebla. Para la obtención del agua a partir de la niebla, se desarrolla la tecnología del sistema atrapanieblas, que permite conseguir el recurso de forma económica y sin generar un impacto considerable sobre el medio. El método implica la aplicación de conceptos hidráulicos basándose en procesos naturales desarrollados por las plantas (Mada-riaga, 2017).

La niebla implica una oferta hídrica importante, una oportunidad de abastecimiento para áreas rurales en las que ese fenómeno sea frecuente. Se trataría de zonas con problemas para acceder al líquido por razones de planeación territorial, falta de fuentes hídricas o conflictos por el uso del recurso (Carvajal, 2018); tal es el caso del presente estudio; se analiza la finca El Descanso, Vereda El Cinco, Manaure, Cesar, donde la niebla puede representar una alternativa al sistema de colección existente.

En la presente investigación, la metodología implementada se basa en los

estudios elaborados por Cereceda et al, (2014), en el libro Agua de niebla y el de Hidalgo (2016), desarrollado de acuerdo con las directrices del manual para la captación de agua de niebla desarrollada por Schemenauer, Cereceda, y Os- ses, (2005) denominado “*FogQuest: fog water collection manual*”. Se establece que es necesario realizar un monitoreo en campo básico de parámetros meteorológicos formadores de niebla y analizar la eficiencia de captura del sistema para así estimar el potencial de la niebla y cómo puede ser aprovechada para las actividades agrícolas de la finca El Descanso, sobre todo en lo concerniente a la siembra y la recolección de cultivos, entre los que predomina la mora; por otra parte, se busca reducir el impacto sobre la fuente hídrica tradicionalmente usada para conseguir agua.

Materiales y métodos

Inicialmente se realizó un análisis de los parámetros meteorológicos de operación del sistema, y se procedió a recopilar información socioeconómica y ambiental sobre las características del área de estudio. Posteriormente fue necesario identificar las variables que inciden en la formación de niebla mediante la revisión de diferentes estudios similares, que permitieron establecer una referencia de



Figura 1.
Charlas con la comunidad de la Finca El Descanso
Fuente: Elaboración propia.

selección y priorización de parámetros; por último, se socializó la propuesta y se capacitó a la comunidad en cuanto a los beneficios de los colectores de niebla dando a entender a la comunidad la importancia de la oferta hídrica que esta presenta.

Para la segunda etapa, se procedió a diseñar a nivel planta-piloto un sistema atrapanieblas para la captación de aguas provenientes de la niebla. Inicialmente se desarrolló la fase de prospección de niebla mediante el uso del neblinómetro (figura 2) para caracterizar el potencial de la neblina en temporada seca, y se tomaron datos desde el 8 de febrero hasta el 10 marzo de 2021.

Posteriormente, se seleccionó el criterio de diseño y de materiales del sistema: se realizó una investigación de recursos bibliográficos que permitieron

establecer el modelo más apropiado para obtener una mayor eficiencia. Se priorizaron costos y calidad de materiales (tabla 1) para así dar paso a la construcción y la ubicación del modelo atrapanieblas seleccionado. La medición de datos se desarrolló durante la temporada de lluvias en la región, desde el 5 de junio hasta el 19 de julio.

La última etapa consistió en formu-



Figura 2.
Neblinómetro instalado en la Finca El Descanso.
Fuente: Elaboración propia.

lar las mejores condiciones de operatividad del sistema buscando funcionalidad dentro de la finca El Descanso. Se hizo una estimación de la demanda requerida por el cultivo de mora (al ser el de mayor extensión y producción dentro de la finca) mediante el software CROPWAT versión 8.0, al no contar con información sólida del gasto hídrico en la zona, y dado que ciertos autores sugieren que el agua captada a partir de la niebla no es apta para consumo humano, pero sí para riego (Cuellar, 2018). De igual forma, se establece que unidades experimentales pequeñas como la del presente estudio son implementadas para el riego de especies agrícolas y forestales en búsqueda de productos de consumo (Cereceda et al., 2014).

Resultados y discusión

Descripción de la zona de estudio

La vereda El Cinco, incluida la zona de la finca El Descanso se desarrolló en la década de 1990. La región fue poblada por cultivadores de amapola, establecidos allí por los beneficios económicos. Sin embargo, este modelo ilegal no prosperó y generó afectaciones en todas las esferas de la sociedad, lo que se evidenció en la confrontación con grupos al margen de la ley establecidos en las zonas de alta montaña (Fontalvo, 2019).

Esta situación hizo necesario retornar a la siembra de cultivos legales, por lo que, de forma autónoma, los residentes de la zona seleccionaron la mora con espina como el cultivo de máxima prioridad, en aras de garantizar los valores integrales del campesino (Ibidem, 2019). De acuerdo con la entrevista, dentro de la finca El Descanso la principal actividad productiva es la agricultura: cultivos de mora (2 ha), lulo (1,5 ha), granadilla (1 ha), tomate de árbol (1 ha) y limón (1 ha).

Tabla 1. Materiales a utilizar en el sistema atrapanieblas.

Elemento del sistema	Material	Obtención	Unidad	Cantidad
Malla	Malla Raschel o polisombra 65%	Almacenes Homecenter	m ²	1 rollo de 3*2 metros.
Postes	Eucalipto (<i>eucalyptus globulus</i>)	Residuos de tala de la finca.	UND	3
Canaleta	tubo PVC 2"	Ferretería Cesar	metro	3 1/2
Recipiente de recolección	Envase plástico de 10 y 20 litros	Envase reciclado	UND	1
Tensores externos e internos	Alambre galvanizado	Ferretería Cesar	kilo	1
	Alambre dulce	Ferretería Cesar	kilo	2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.
Mora cultivada en la finca El Descanso
Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a los requisitos ambientales, las variables objeto de estudio que actúan como condicionantes en el establecimiento de un sistema atrapanieblas son satisfechas, considerando que dentro de la finca El Descanso, el piso térmico es frío (1600 a 2600 m.s.n.m.), y a lo largo del paisaje se cuenta con áreas que facilitan la movilidad de las corrientes de viento.

Prospección de niebla e implementación del sistema

La identificación de los puntos seleccionados con base en lo estipulado en el manual de FogQuest (2005) se muestra en la figura 4. Allí se expone la localización geográfica mediante la utilización del software Arc GIS.

Los resultados comparativos entre los neblinómetros instalados en relación

con las variables analizadas muestra que 2.132,9144 m.s.n.m. el neblinómetro N°ro.4 fue el que logró captar mayor agua de niebla, con un volumen de 7,35 litros durante los 27 días de medición en época de sequías. La mayor captación del neblinómetro 4 se explica por la zona en la que fue posicionado: era la de mayor altura, y además se trata de un área sin obstáculos visibles. Por las características del relieve suele condensarse la niebla en horas de la noche y la madrugada. El promedio generado por el neblinómetro 4 es de 0,28 l/m²/día. De esta forma, identificado el sitio de mayor eficiencia de captura, se realizó el montaje del atrapanieblas como se puede ver en la figura 5.

Medición y registro del agua captada por el sistema

El registro diario de volumen de agua captada por el atrapanieblas se pre-

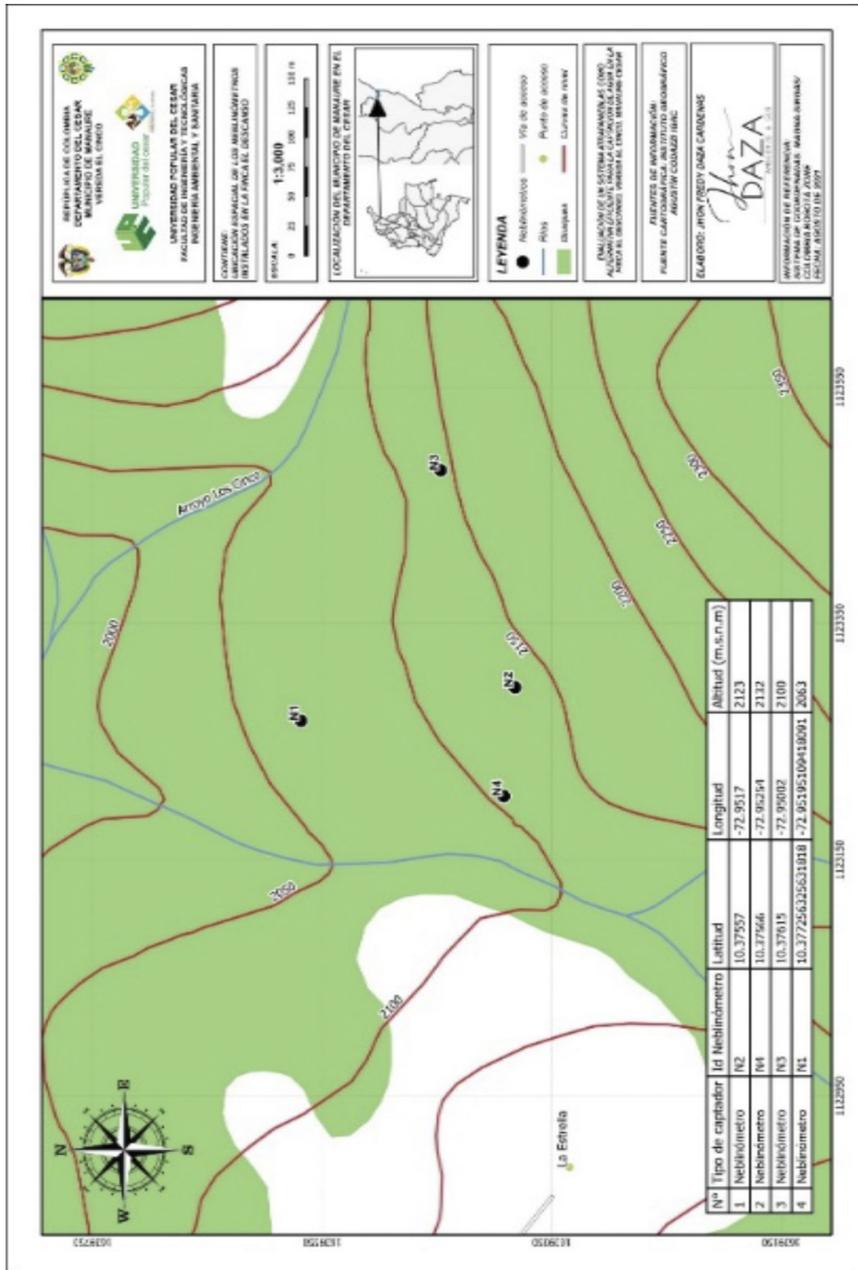


Figura 4.
Ubicación espacial de la finca El Descanso y neblinómetros instalados.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.
Sistema atrapanieblas instalado en la Finca El Descanso
Fuente: Elaboración propia.

senta en la figura 6. El volumen de recolección diario promedio es 5,634 litros, y el volumen de recolección total fue de 253,55 litros para el periodo completo de 45 días. Así mismo, se puede observar cómo la presencia de lluvias incide en el registro de agua captada, entendiendo que los sistemas no sólo captaron agua proveniente de la niebla, sino también la presente en la oferta atmosférica. De igual forma, también se puede atribuir está mejor recolección a la niebla frontal que “*se forma por la saturación del aire con lluvias continuas*” (Mora, 2020).

Eficiencia del sistema

Para obtener la eficiencia del sistema instalado en la finca El Descanso, se procedió primero a calcular el volumen captado por día de medición en 1 m² de malla Raschel, para lo cual se utiliza la ecuación 1.

$$V_{m^2} = \frac{V_{promdía}}{m^2} = \frac{5,634 \text{ L/día}}{6 \text{ m}^2} = 0,94 \text{ L/m}^2/\text{día}$$

Ecuación 1. Volumen por metro cuadrado de malla.

Eficiencia teórica. Rivera (2011) estableció que la eficiencia de un atrapanieblas bidimensional es de 30%. Estos valores de acuerdo con Cereceda et al (2014), representan tasas de captación de entre 1,4 a 8,3 l/m²día, concluyendo un promedio de eficiencia de colección aproximado de 3 l/m²día.

Eficiencia experimental. Para la obtención de la eficiencia experimental se parte de la ecuación propuesta por Hidalgo (2021).

$$\eta_{coll} = \frac{0,94 \text{ L/m}^2/\text{día}}{3 \text{ L/m}^2/\text{día}} * 100 = 31,30\%$$

Ecuación 2. Eficiencia experimental del sistema

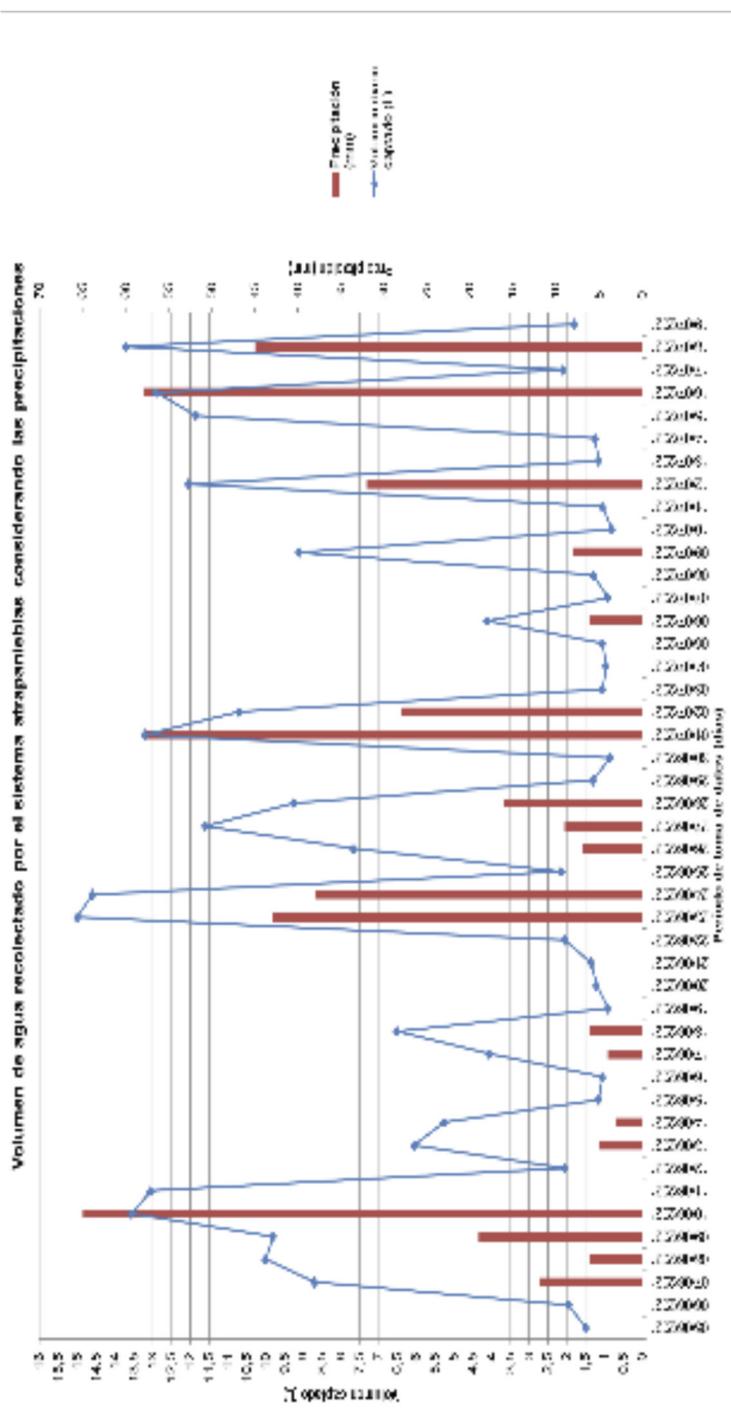


Figura 6.
Influencia de las precipitaciones en el volumen captado por el sistema
Fuente: Elaboración propia.

Se representa una eficiencia de captación del sistema atrapanieblas instalado de 31,30%. Es decir que cumple la funcionalidad de su objetivo primordial consistente en la captación y almacenamiento de agua proveniente de la oferta hídrica que otorga la niebla.

Agua requerida por el cultivo de mora mediante software CROPWAT versión 8.0

El software CROPWAT cuenta con cuatro módulos de precisión de información referente a las condiciones climáticas de la zona, denominados clima y precipitación, así como aspectos del cul-

tivo y del suelo; estos señalan el requerimiento de agua de cultivo analizado.

- Satisfacción de demanda hídrica del cultivo por parte del sistema.

Para el cálculo del porcentaje de satisfacción que brinda el sistema atrapanieblas instalado, inicialmente se desarrolló una esquematización mostrada en la tabla 2.

En función de los valores obtenidos de captación para el atrapanieblas, en la tabla 3, y con base en el estudio desarrollado por Hidalgo (2016), se calcularon las dimensiones y el número de atrapanieblas que deben colocarse en la zona de estudio para cumplir con parte

Tabla 2.

Promedio de captación de agua mensual por metro cuadrado de malla acorde a la temporada.

Temporada	Mes	Agua colectada promedio por m ² de malla (L)	Agua colectada promedio por mes (L)
Sequía	21 NOV – 21 DIC	0,28	8,4
	21 DIC – 21 ENE	0,28	8,4
	21 ENE – 21 FEB	0,28	8,4
	21 FEB – 21 MAR	0,28	8,4
	21 MAR – 21 ABR	0,28	8,4
	21 ABR – 21 MAY	0,94	28,2
Lluvias	21 MAY – 21 JUN	0,94	28,2
	21 JUN – 21 JUL	0,94	28,2
	21 JUL – 21 AGO	0,94	28,2
	21 AGO – 21 SEP	0,94	28,2
	21 SEP – 21 OCT	0,94	28,2
	21 OCT – 21 NOV	0,94	28,2
Total, volumen captado			239,4

Fuente: Elaboración propia.

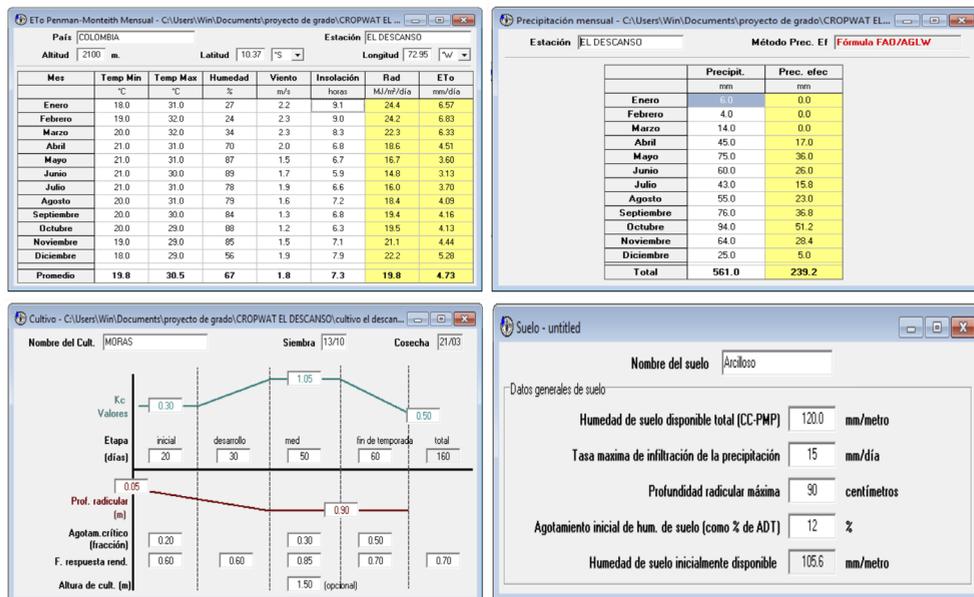


Figura 7. Información requerida por CROPWAT para programación de riego.

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se obtuvo un valor para la temporada de 1'178.496 litros de agua necesarios para las dos hectáreas existentes en la finca El Descanso.

del requerimiento de agua del cultivo, y además se modeló un sistema de mayores dimensiones (5 metros de alto por 5 de ancho) para un total de 25 m².

De acuerdo con la anterior tabla, se establecieron porcentajes de satisfacción de 1 a 100% del requerimiento de agua para el cultivo de mora en la temporada analizada. Se concluyó que la cantidad de agua demandada para riego es demasiado alta, por lo que, se pretende con el desarrollo del sistema atrapanieblas proyectado satisfacer del 1 al 5% de la demanda.

Conclusiones

El modelo atrapanieblas implementado en la presente investigación se exhibe como un esquema que cumple con el propósito de brindar una alternativa de abastecimiento. Efectivamente puede interceptar y captar el agua proveniente de la niebla tanto en periodo seco como húmedo en la finca El Descanso. Es de recordar que ese recurso se encuentra en una situación de conflicto al depender enteramente del arroyo El Cinco para la satisfacción de su demanda hídrica. El

atrapanieblas permite obtener el recurso sin la utilización de energía o el empleo de grandes esfuerzos. El uso potencial es el de un instrumento de adaptación y resiliencia al cambio climático.

Aun cuando el sistema propuesto y proyectado no satisface totalmente las exigencias de riego para el cultivo de mora, sí brinda la oportunidad de mitigar el impacto generado sobre la fuente hídrica El Cinco, al proveer porcentualmente del recurso a la finca El Descanso en temporada seca, cuando el afluente se ve mayormente afectado por la disminución de su caudal.

En el país, la información sobre este tipo de tecnologías (estudios de producción de agua a partir de la niebla) es escasa o se encuentra poco desarrollada, centrándose en la esquematización de los sistemas, más no en su desarrollo; por tal motivo, se resalta la importancia de la presente investigación al presentar resultados en campo que expongan los planteamientos teóricos, estableciéndose como una base para futuras investigaciones.

Agradecimientos

El presente proyecto se agradece primeramente a Dios, por haber otorgado las capacidades para llegar hasta

este punto de formación profesional. A nuestros padres por permitirnos la oportunidad de avanzar en nuestra educación profesional. Al señor Ever Guerra, por ser quien nos otorgó el espacio para desarrollar la investigación, así como a los habitantes de la finca El Descanso por estar prestos a compartir el espacio de la finca y colaborarnos en nuestros requerimientos. Por último, a la Universidad Popular del Cesar por generar el espacio que permite desarrollar los proyectos de investigación entendiendo la importancia de establecer tecnologías que busquen el beneficio y la mejora en la calidad de vida de la sociedad.

Referencias

- Carvajal de la Sota, R. A. (2018). *Diseño de un sistema de refrigeración para un atrapanieblas tridimensional* (tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito). Repositorio Digital USFQ. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7322>
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., y Rivera, J. (2014). Agua de niebla: Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas. *Corporación de Fomento de la Producción*. <https://www.eae-publishing.com/catalog/details/store/gb/book/978-620-2-12935-0/agua-de-niebla-nuevas-tecnolog%C3%ADas-para-el-desarrollo-sustentable>
- Cuéllar Mayta, J. G. (2018). Impacto económico de la implementación de mecanismos

- capturadores de agua atmosférica para uso agrícola. Villa María del Triunfo, Lima-Perú. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3356>
- Fontalvo, L. E. (2019). Justicia transicional sin transición: el caso de la vereda El Cinco, Balcones de Manaure, Cesar. *Revista Oraloteca*, (10), 110-120. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/oraloteca/article/view/3807>
- Hidalgo Maylle, F. S. (2021). Eficiencia del sistema de atrapanieblas con dos tipos de malla raschel para la captación de agua de niebla-Lomas de Paraíso–2017 [tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59654>
- Hidalgo, D. (2016). Captación de agua por medio de la técnica de atrapanieblas en las comunidades campesinas de Galte, Cantón Guamate, Provincia de Chimborazo, Ecuador. [tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Sangolquí]. <https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11891>
- Madariaga Olivares, I. P. (2017). Evaluación del potencial de neblina mediante el sistema de atrapanieblas en las lomas de Ancón durante el evento del niño, en el distrito de Ancón, provincia de Lima periodo 2015-2016 [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua]. https://repositorio.unam.edu.pe/bitstream/handle/UNAM/55/T095_46281694_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mora Alarcón, K. T. (2020). Análisis de viabilidad para la implementación de mallas atrapanieblas en la vereda San Antonio bajo en el municipio de Arbeláez-Cundinamarca. [tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Bogotá]. Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24305>
- Rivera, J. (2011). Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. *Atmospheric Research*, 102(3), 335-342. https://www.researchgate.net/publication/238504184_Aerodynamic_collection_efficiency_of_fog_water_collectors
- Schemenauer, R., Cereceda, P. y Osses, P., (2005) FogQuest Fog Water Collection Manual, Toronto, Canada, 100pp.

Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la estación de servicio en la entrada del municipio de Manaure, Cesar

Aristides José Noriega Hernández, M. Sc (c)¹
César Jaime Urbina Mejía²

Resumen

La caracterización geomecánica ayuda a prevenir o reducir los inconvenientes relacionados con el desprendimiento de rocas; se emplean instrumentos que permiten controlar la estabilidad de las rocas, y estos instrumentos son usados generalmente como palancas para mantener las rocas estables durante los procesos de minería; así, se brinda seguridad y, por ende, calidad a la operación (Cueva y Arana, 2019). Además, esta técnica permite estudiar las propiedades físicas y mecánicas de un macizo. A su vez, por medio de ella, se busca describir, estudiar y analizar los diferentes aspectos importantes a la hora de realizar la caracterización de un macizo rocoso mediante resultados obtenidos por medio de ensayos de laboratorio al aplicar los conceptos básicos. La investigación a continuación es el análisis de la información obtenida de un macizo rocoso tras de la estación de servicio a la entrada del municipio Manaure, Cesar. Este trabajo comprende el levantamiento de diferentes discontinuidades con su respectiva representación y el análisis estereográfico del macizo rocoso; la caracterización geomecánica, el ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca y la clasificación geomecánica.

Palabras clave: Geomecánica, macizo rocoso, discontinuidades, estabilidad.

¹ anoriega8@estudiantes.areandina.edu.co

² curbina3@estudiantes.areandina.edu.co

Introducción

Los criterios empleados para la caracterización y la clasificación del macizo rocoso en estudio están condicionados por la metodología empleada por Maday Catarya en 2006. Según (De la Cruz et al., 2011) el propósito inicial es asegurar que la estabilidad. Además, tales criterios se han fundamentado en un conjunto de experiencias que han dado paso a nuevas teorías, las cuales buscan fomentar la mejora y la evolución del conocimiento en lo que respecta al medioambiente, sobre todo en los espacios rocosos, que es el contexto en el que se trabaja. A pesar de esto, los criterios en cuestión no tienen la misma veracidad o pertinencia en ambientes inestables, como sucede en el caso de los suelos blandos.

En ese sentido, en el señalado ambiente inestable, en el que las características mencionadas se suman a la natural inclinación del suelo debido al movimiento subterráneo de las rocas, a su estructura y, en consecuencia, a sus posibles fracturas, pueden verse planos de ruptura que comprenden las características geomecánicas, y una información que es tomada principalmente con los datos estructurales recolectados del municipio Manaure, Cesar. Haciendo uso de la información obtenida por (Driggs

& Miguel, 2019) “este estudio se identificó las diferentes familias de diaclasas y varias características relacionadas a estas como el espaciado, continuidad, abertura, rugosidad y relleno”.

Identificación y caracterización de discontinuidades

La toma de discontinuidades permite conocer el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y clasificar geomecánicamente los datos obtenidos en campo, por ejemplo, la resistencia al corte de las discontinuidades.

Durante esta fase de campo *in situ*, se tomaron y caracterizaron en el sitio de estudio 150 discontinuidades. Los datos obtenidos del trabajo en campo en las discontinuidades son los que identifican las propiedades índices.

El objetivo general de esta investigación es la caracterización geomecánica del macizo rocoso al margen derecho de la entrada del municipio de Manaure, Cesar. Se identificaron las familias de discontinuidades en el macizo rocoso, se definieron los tamaños de bloque presentes en el macizo rocoso por medio de análisis estadísticos y cinemáticos a los planos de discontinuidades, y finalmente se clasificó por medio del RQD, Q de Barton, y RMR la calidad del macizo rocoso.



Figura 1.
Vista frontal del macizo rocoso.
Fuente: Elaboración propia.

El afloramiento está en el extremo noroeste del Cesar, en la vertiente occidental de la Serranía del Perijá, a 775 metros sobre el nivel de mar. La ubicación geográfica es en las coordenadas $10^{\circ}23'29.1''$ N y $73^{\circ}02'12.7''$ W; y en coordenadas planas de latitud 10.3914167 y Longitud -73.03686111111111. La orientación del macizo es NE – SW. El macizo está detrás de la estación de servicio a la entrada del municipio de Manaure, Cesar. Por lo tanto, algunas unidades rocosas se encuentran en diferencias en litología, donde los intervalos de tiempo son seleccionados. Es la unidad estratigráfica principal más grande del municipio, está limitada a la Serranía del Perijá, donde se puede identificar el área, los tipos de rocas cercanas.

En la Serranía del Perijá, los diferentes tipos de rocas están formadas por depósitos detríticos, arenisca de arco,

lutita, limolita y conglomerado rojo; en la parte frontal, en el medio del área, se encuentran formaciones de basalto, brechas y flujos de toba. El afloramiento está conformado por roca metasedimentaria con una estratificación estrato paralela en forma tabular. Por procesos o la actividad tectónica, este afloramiento sufrió una inclinación de sus estratos. En el área de estudio, se identifica que el ambiente es de formación marina. Este afloramiento presenta una litología de lutitas con cementación carbonatado alternadas con calizas que han sufrido metamorfismo de grado bajo, y que se han vuelto metalutitas. También podemos apreciar la apariencia de cuarzo lechoso por pequeñas intrusiones de diques y calcita. El presente afloramiento tiene demasiada meteorización y no se ha podido clasificar (Molano & Gómez, 2010).

Metodología

Fuentes y técnicas de recolección de información

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron en cuenta distintos antecedentes de estudios sobre las formaciones geológicas de Manaure, Cesar. Así, fue posible conocer la disposición del terreno. También se revisaron investigacio-

nes geomecánicas que se hayan realizado en el macizo rocoso escogido; de esta forma, fue posible distinguir el enfoque del proyecto.

Instrumentos para recolección de información

Análisis de resultados

Datos tomados de campo

En este apartado se incluyen los análisis estadísticos en los que se describen las características de las discontinuidades. Este análisis sirve para comprobar los rasgos dominantes en el área de estudio del macizo rocoso.

En un tiempo determinado, las diaclasas en el macizo rocoso detrás de la bomba la frontera se vieron afectadas por un gran flujo del agua que produjo una alta meteorización; sin embargo, cabe recalcar que, al momento del levantamiento de las discontinuidades, el flujo de agua era completamente nulo, pero el área estaba húmeda debido a los cambios climáticos que se han venido presentando en estos meses del año.

Espaciado

El tamaño de los bloques de la matriz rocosa se ve configurado por la distancia entre los planos que muestran tal separación:



Figura 2.
Materiales y equipos utilizados para la investigación.
Fuente: Elaboración propia.

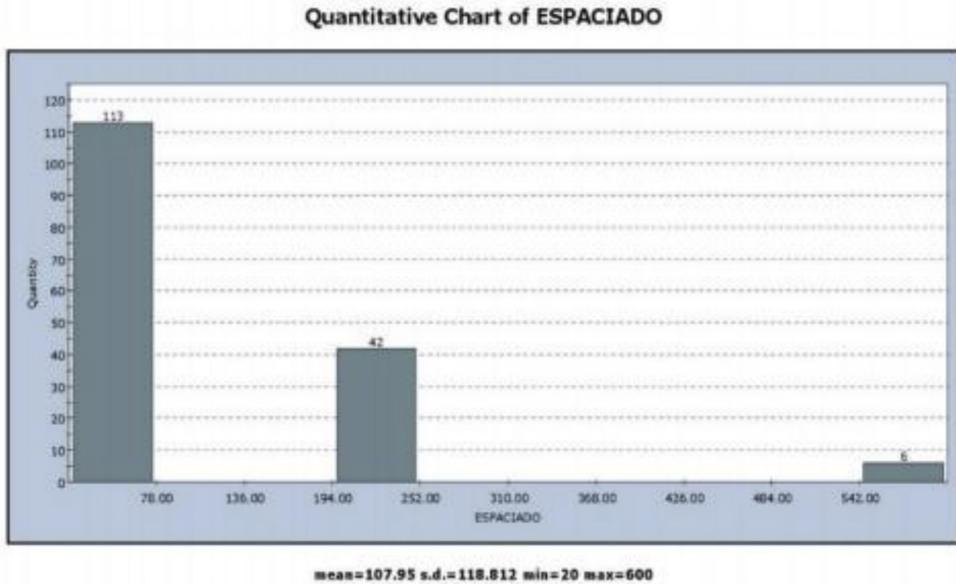


Figura 3.
Espaciado de las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia.

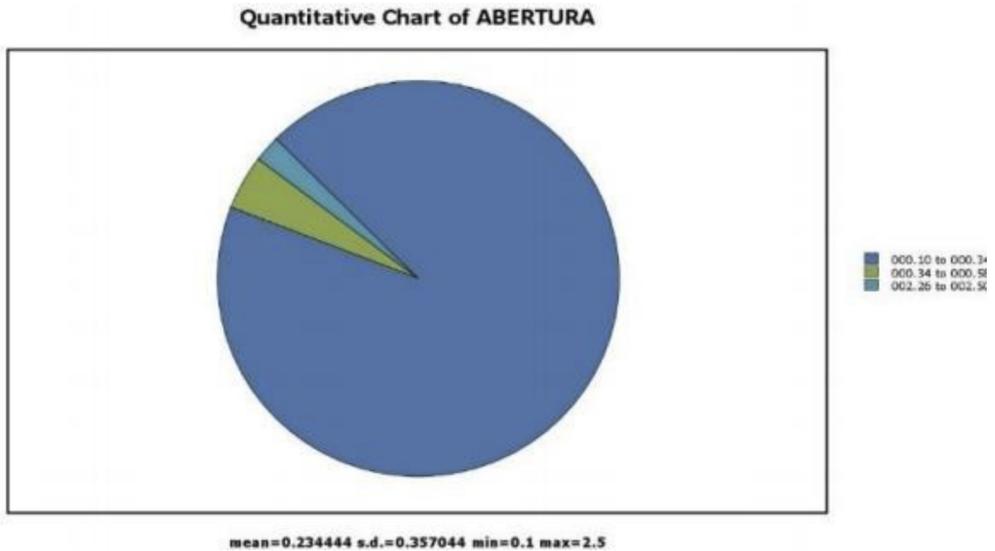


Figura 4.
Abertura de la discontinuidad.
Fuente: Elaboración propia.

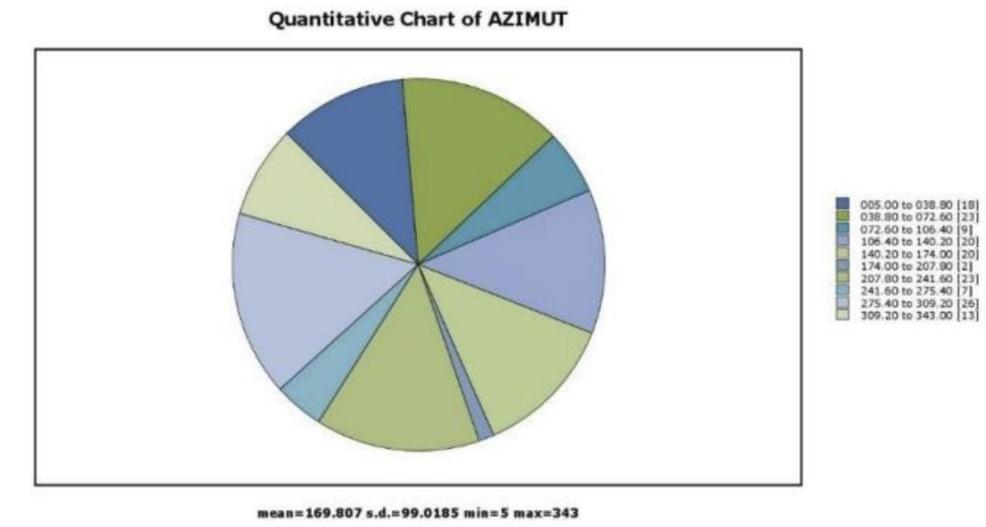


Figura 5.
Orientación.
Fuente: Elaboración propia.

Abertura

Este término se refiere a la separación perpendicular entre los lados de la discontinuidad en los casos en los que no hay un relleno.

Orientación

Es el ángulo de la posición que se traza por encima de una superficie esférica virtual o real.

Continuidad

La continuidad es la extensión del plano de discontinuidad.

Relleno

En lo que concierne a las separaciones, pueden rellenarse con un material diferente del que están compuestas las rocas que dan forma a las paredes.

Filtraciones

El líquido que fluye a través de las separaciones da origen al agua dentro del macizo rocoso.

Rugosidad

La rugosidad calculada es directamente proporcional a la resistencia; por ende, se afirma que la primera influye en la segunda al momento de cortar.

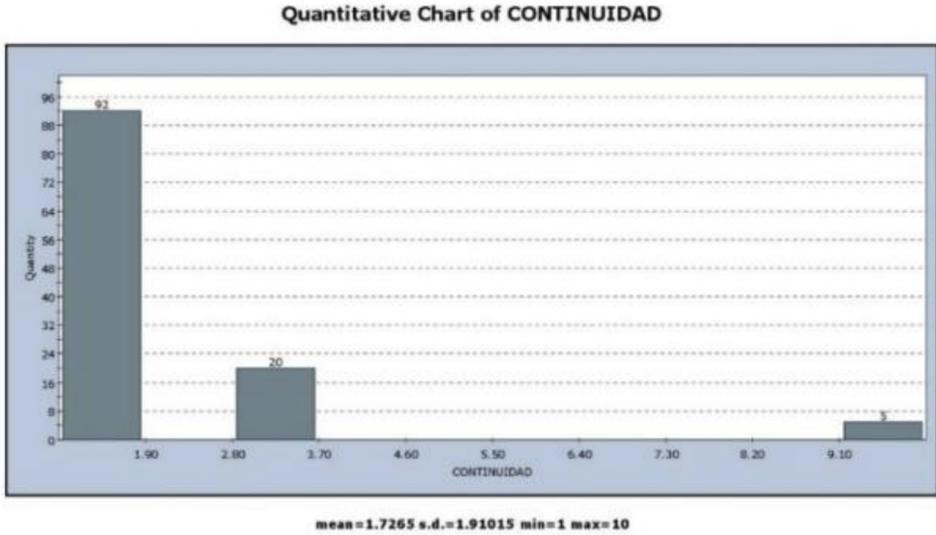


Figura 6.
Continuidad.
Fuente: Elaboración propia.

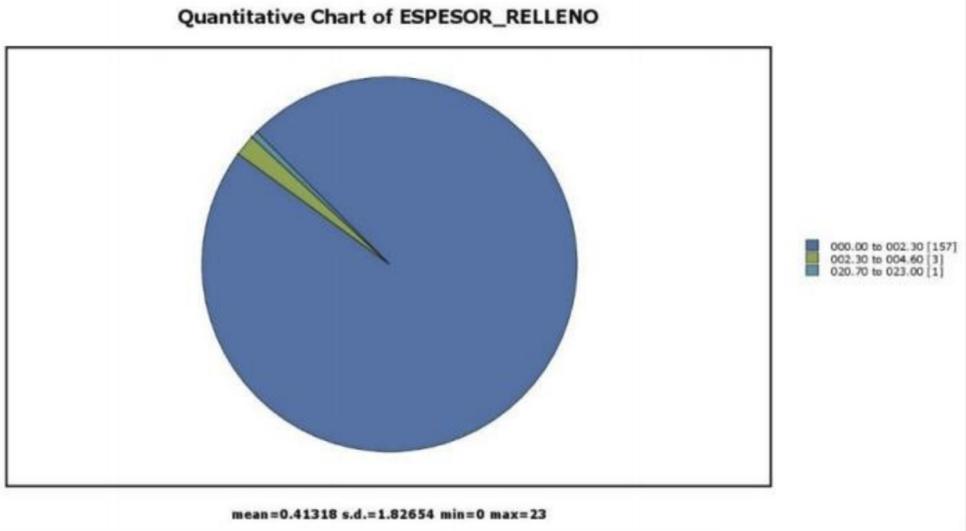


Figura 7.
Relleno.
Fuente: Elaboración propia.

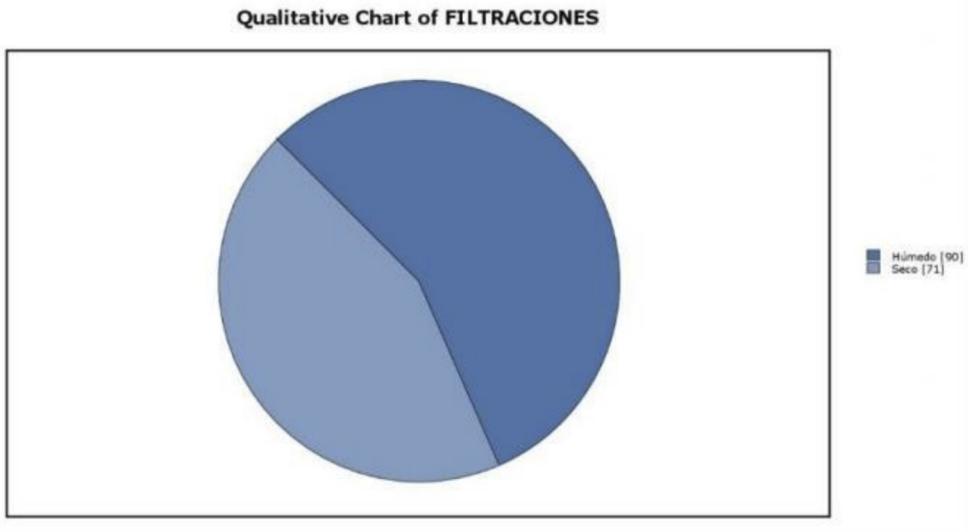


Figura 8.
Filtraciones.
Fuente: Elaboración propia.

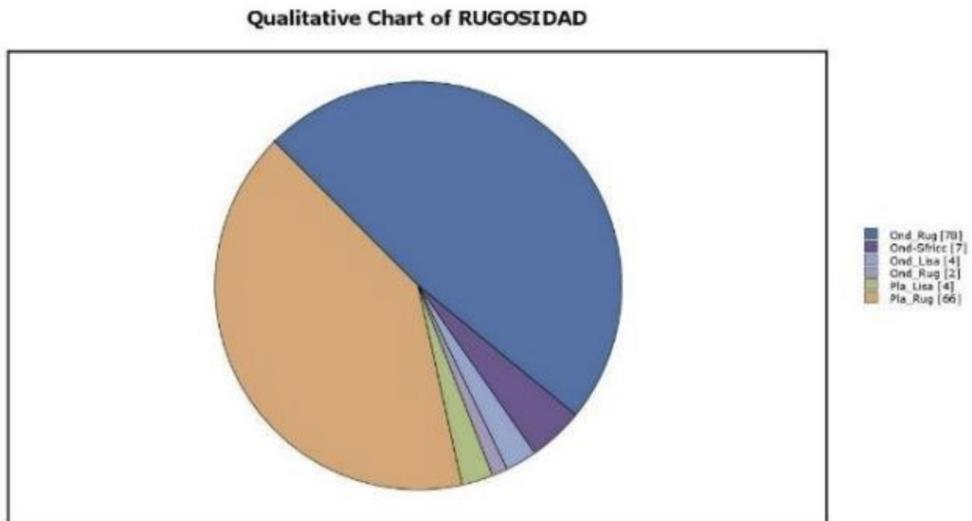


Figura 9.
Rugosidad.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis cinemático

Con frecuencia, y de acuerdo con la separación, se diseñan diagramas de tipo pi para señalar los juegos de diaclasas o separaciones que afectan al macizo rocoso (Ramirez y Alejano, 2004). Si esta separación es mínima, se observan los juegos en cuestión sobre la superficie con mayor densidad (Jover et al., 2002). Para la representación estereográfica de las diaclasas de esta investigación, se utilizó el *software* Dips. Este *software* es capaz de arrojar resultados precisos y acordes con los datos tomados en las discontinuidades del macizo rocoso estudiado.

Ensayos de laboratorio

Para corroborar que toda la teoría antes vista sea válidamente aplicable al macizo rocoso, se deben realizar prácticas de laboratorio: en específico, ensayos de carga puntual y compresión simple.

- 1.1. Ensayos diametrales: $D_e = 47,53 \text{ mm}$
- 1.2. Índice de resistencia a carga puntual no corregido: $I_s = 2524,56 \text{ Kpa}$
- 1.3. Índice de resistencia a carga puntual corregido: $F = 0,9776 \rightarrow I_{sC} = 2467,24 \text{ Mpa}$

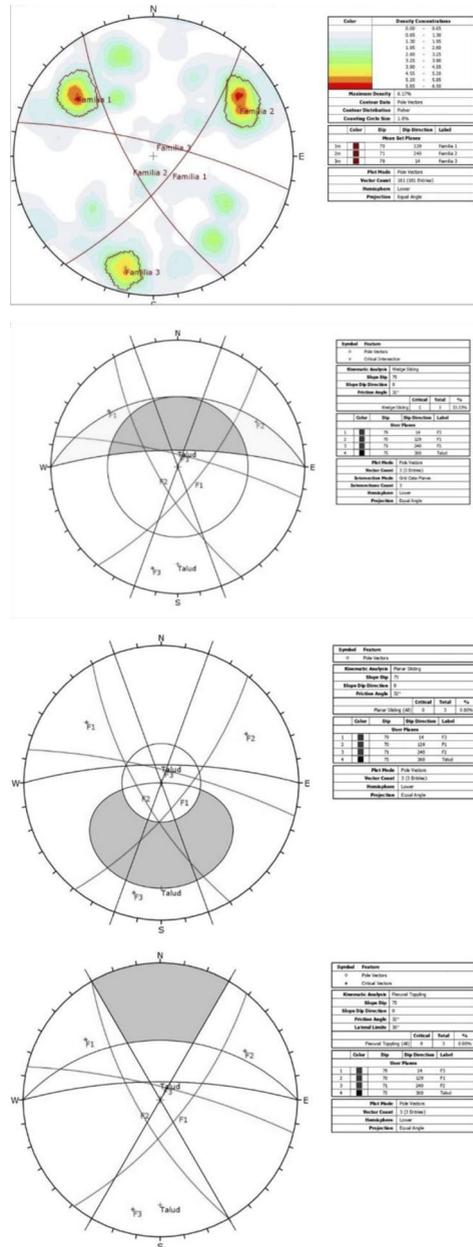


Figura 10. Diagramas de diaclasas o separaciones. Fuente: Elaboración propia.

1.4. Resistencia a compresión simple:

$$\sigma_c = 56,75 \text{ Mpa}$$

Clasificaciones geomecánicas

El propósito de las clasificaciones geomecánicas es, como su nombre lo indica, hacer un análisis geomecánico del conjunto rocoso a través de trabajos de campo² y ensayos simples.

Clasificación RQD

Con base en la recuperación de un testigo, y con el objetivo de aproximar las cualidades del conjunto rocoso a una

cantidad numérica, los autores Deere et al. (1967) crearon el índice RQD (en inglés, *Rock Quality Designation Index*) que se relaciona indirectamente con la alteración del macizo rocoso y la cantidad de fracturas.

$$RQD = 100e^{-0,1(\gamma)} * (0,1\gamma + 1)$$

número de discontinuidades

$$\gamma = \rightarrow = 150 / 8,46 \rightarrow = 17,732$$

longitud en la que se tomaron.

$$RQD = 100e^{-0,1(17,732)} * (0,1(17,732) + 1) = 47,094$$

Detalles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Masa (gr)	69,50	110,01	26,20	52,40	92,60	41,90	21,00	13,00	81,60
Masa seca (gr)	69,37	109,99	26,08	52,29	92,52	41,83	20,96	12,95	81,16
Humedad %	0,19%	0,018%	0,460%	0,210%	0,086%	0,167%	0,191%	0,386%	0,542%
Volumen (ml)	25	45	09	20	31	15	06	08	30
Masa saturada (gr)	69,60	110,02	26,30	52,50	92,62	41,91	21,05	13,03	81,80
Saturación %	56,52%	66,67%	54,54%	52,39%	80%	87,5%	44,44%	62,5%	68,75%
Densidad seca	2,775	2,4442	2,898	2,614	2,984	2,789	3,493	1,619	2,705
Densidad natural	2,780	2,4446	2,911	2,620	2,987	2,793	3,50	1,625	2,720
Densidad saturada	2,784	2,4448	2,922	2,625	2,988	2,794	3,508	1,629	2,727
Porosidad	0,92%	0,067%	2,444%	1,05%	0,3225%	0,467%	1,5%	1%	2,13%
Relación de vacíos	0,0052	0,00045	0,0137	0,0055	0,00259	0,00469	0,00677	0,00631	0,0149

Figura 12.
Clasificación geomecánica.
Fuente: Elaboración propia.

Según el resultado de RQD, el porcentaje está en el rango de 25 a 50%; por lo tanto, la calidad de la roca es mala.

Clasificación de RMR

La clasificación de RMR es la clasificación planteada por Bieniawski.

- Resistencia de material intacto: 56,75 Mpa → RQD: 47,09
- Distancia entre discontinuidades: 6- 20 cm
- Condición de discontinuidades: 1,3 m < 0,1m
- Ondulada, relleno blando < 5mm Muy alterada.

- Presencia de agua: Completamente secas.

Por lo tanto, se obtiene que,

$$R4 = 4 + 5 + 1 + 0 + 1 = 11$$

- RMR = 7 + 8 + 8 + 11 + 15 → RMR = 49. Lo que permite entender que la calidad e la roca es regular, ya que dio en el rango de 41-60.

Clasificación Q de Barton

En ese sentido,

$$Q = \left(\frac{47}{4}\right) \cdot \left(\frac{3}{6}\right) \cdot \left(\frac{1}{5}\right)$$

$$Q=1,175$$

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10 a 4	4 a 2	2 a 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-20	25 a 5	5 a 1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2 M	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	Estado general		Seco	Ligeramente húmedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo		
Puntuación			15	10	7	0			

Figura 13.
Estado de las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia.

Q de Barton: Estimación de los parámetros	
J_n número de familias	valor
Roca masiva	0.5 - 1
Una familia de juntas	2
Id. con otras juntas ocasionales	3
Dos familias de juntas	4
Id. con otras juntas ocasionales	6
Tres familias de juntas	9
Id. con otras juntas ocasionales	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15
Roca triturada	20
J_r coeficiente de rugosidad de la junta	valor
Juntas (contacto entre las dos caras)	
Discontinuas	4
Onduladas, rugosas	3
Onduladas, lisas	2
Onduladas, perfectamente lisas	1.5
Planas, rugosas o irregulares	1.5
Planas, lisas	1
Planas y perfectamente lisas	0.5
Juntas rellenas (relleno impide contacto entre las dos caras)	
material arcilloso	1
Material arenoso, de grava o triturado	1

J_a coeficiente de alteración de la junta	valor
Juntas (sin minerales de relleno intermedios)	
Juntas de paredes sanas	0.75 - 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Juntas (minerales de relleno en pequeño espesor)	
Con partículas arenosas	4
Con minerales arcillosos no blandos	6
Con minerales arcillosos blandos	8
Con minerales arcillosos expansivos	8 - 12
Juntas (minerales de relleno en gran espesor)	
Con roca triturada/desintegrada y arcilla	6 - 12
Con zonas de arcilla limosa o arenosa	5
Con zonas de arcillosos (espesor grueso)	10 - 20

J_w coeficiente reductor por la presencia de agua	valor
Excavaciones secas o con <5 l/min localmente	1
Afluencia media con lavado de algunas juntas	0.66
Afluencia importante por juntas limpias	0.5
Id. Con lavado de juntas	0.33
Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo	0.2 - 0.1
Id. mantenida	0.1 - 0.05

SRF	
Zonas débiles intersectan a la excavación:	
Multitud de zonas débiles o milonitos	
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	
Id. con cobertura > 50 m	
Abundantes zonas débiles en roca competente	
Zonas débiles aisladas en roca competente	
(cobertura ≤ 50 m)	
Id. con cobertura > 50 m	
Roca competente (problemas tensionales en las rocas)	
Pequeña cobertura	
Cobertura media	
Gran cobertura	
Rocas deformables (flujo plástico de roca)	
Con bajas presiones	
Con altas presiones	
Rocas expansivas	
Con presión de hinchamiento moderada	
Con presión de hinchamiento alta	

Figura 14.
Clasificación Q de Barton.
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se entiende que la valoración es mala, ya que está en el rango entre 1,0 y 4.

Conclusión

El macizo tiene unas características especiales que pueden deberse a la influencia de ríos, materiales erosionados en zonas de alta montaña y materiales

parentales. Generalmente, la textura de un macizo es muy diversa: franco, franco arenoso, arcilloso, franco limoso y arcilloso, lo que aumenta el contenido de sedimentos en el suelo de la llanura aluvial. Debido a la complejidad de los factores que inciden en la migración de contaminantes del suelo subterráneo y las características de cada actividad, es necesario clasificar la vulnerabilidad de cada unidad en el área de estudio como un conjunto de características inherentes. Es la unidad estratigráfica de mayor tamaño de la ciudad, limitada a la Serranía del Perijá, donde se puede identificar el área y el tipo de rocas cercanas. Debido a la complejidad de los factores que inciden en la migración de los contaminantes del suelo subterráneo y las características de cada actividad, es necesario clasificar la vulnerabilidad de las unidades en el área de estudio como un conjunto de características inherentes. Las características regionales de la estructura de formación del suelo en el área no son sólo estudiadas como parte de un proyecto de uso e investigación de la estructura del suelo municipal, sino también por el papel del fertilizante potásico. Se trata, en ese sentido, de un proyecto de elementos que contribuyen a sus cambios. Reaccionará unilateralmente, y la presencia de fósforo y nitrógeno no reaccionará unilateral-

mente, porque el fertilizante de potasio provocará un desequilibrio de nutrientes en el suelo.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que el macizo rocoso presenta bloques grandes. En otras palabras, si se llega a intervenir, existen riesgos: puede haber un desprendimiento de rocas y se pueden generar daños. De igual manera, se pudo encontrar que las discontinuidades son bastante largas si se divide el talud en varias rebanadas para favorecer así la inestabilidad, puesto que se hallaron res familias de discontinuidades con buzamientos similares controlando la estabilidad de todo el macizo.

La alta humedad del macizo rocoso viene a jugar un papel muy importante, ya que, se pudo ver que hay muchas filtraciones. También, se observó que el nivel freático presente en el macizo rocoso es bastante alto y esto se debe a la gran cantidad de agentes meteorológicos de la zona que favorecen la presión de poro, la presión intersticial dentro del macizo. En ese sentido, se pueden generar planos de deformación que influyen en su estabilidad a corto, mediano y largo plazo. En cuanto al análisis cinemático que se hizo al talud, se obtuvo que las familias de discontinuidades dentro del talud no

presentan ningún tipo de rotura (planar, volcamiento y cuña) haciendo de este modo que el desprendimiento de roca sea impredecible ya que la inestabilidad del talud va a estar sometida a los procesos meteorológicos antes mencionados.

Finalmente, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos por las clasificaciones que se le hicieron al macizo, se tuvo como resultado que tanto para el RQD y el Q de Barton, la calidad de la roca es mala, ya que sus propiedades físicas y químicas la hacen poco resistente y poco competente para el desarrollo de edificaciones como túneles, según (Singh et al., 1997). Por otra parte, la clasificación del RMR tuvo como resultado que el material es regular para esta roca presente en este macizo, por lo cual se recomienda, para evitar cualquier caída de roca o posible inestabilidad, hacer uso del método de estabilización de concreto usando drenajes. De esta forma, se garantiza que las filtraciones y el alto nivel freático del talud no suponga un riesgo a largo o mediano o corto plazo, ya que este talud presenta una inestabilidad imprecisa suponiendo un riesgo para la vivienda que se encuentra a tres metros y a la estación de servicios La Frontera que está a nueve metros, junto con las personas y automóviles que allí frecuentan.

Referencias

- Clasificación Geomecánica Slope Mass Rating Smr. (s. f.). http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/revisionestado-actual-clasificacion-geomecánica-slope-mass-ratingsmr/id/70195595.html
- Colmenares, F. H., Mesa, A., Roncancio, J., Arciniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A. et al. (2007). Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33, 34 y 40. Proyecto: evolución geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Bogotá: Ingeominas.
- Cueva Romero, J. G., & Arana Cabrera, J. A. (2019). Caracterización geomecánica en minería subterránea: una revisión de la literatura científica [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15035>
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Jr., Patton, F.D., and Cording, E.J., (1967), "Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock", Failure and Breakage of Rock, ed. C. Fairhurst, Soc. of Min. Eng., AIME, N.Y., pp. 237-302
- De la Cruz, M. A., Trujillo, J. Á., & Morales, T. (2011). LA SUSTENTABILIDAD DEL COSTO EN LA DIRECCION Y GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL EN ESPACIOS DE INESTABILIDAD ECONOMICA. Aepro.com. https://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_0014_0022.3250.pdf
- Driggs, A., & Miguel, Y. (2019). Evaluación de estabilidad de los taludes en la corta este, Yacimiento Castellanos; Pinar del Rio. Departamento de Minas.

- Espitia, Martin. (s.f.). Clasificación geomecánica de macizos rocosos. UPTC. Manual de estaciones geomecánicas. Descripción de macizos rocosos en afloramientos. https://www.researchgate.net/publication/35798937_Manual_de_estaciones_geomecnicas_Descripcion_de_macizos_rocosos_en_afloramientos
- Etseccpb. (Mayo 2019). Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/06.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Fernández-Gutiérrez, J. D., Pérez-Acebo, H., & Mulone-Andere, D. (2017). Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino. *Informes de la Construcción*, 69(547), 205.
- FORERO (A), 1972. Estratigrafía del Precretácico en el flanco occidental de la Serranía del Perijá. *Geol, Colombiana*, No7, p.7-78, Bogotá Construmatica, Aplicación de Geotextiles en Taludes. https://www.construmatica.com/construpedia/Aplicaci%C3%B3n_de_Geotextiles_en_Taludes#-Geomallas
- Geotecnia, C. G. I.-G. y. (2018, mayo 2). CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA RMR14. <https://www.linkedin.com/pulse/clasificaci%C3%B3ngeomec%C3%A1nica-rmr14-centro-geot%C3%A9cnico>
- González de Vallejo, Luis. Et al. Ingeniería geológica. 2002. Madrid, España: Pearson educación. Alonso, Javier. Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. 2007. Universidad de Oviedo.
- Ingeniería Gráfica*. Alicante, España. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21681/1/29.pdf>
- Irigaray, C., Fernández, T., & Chacón, J. (2003). Preliminary Rock-Slope Susceptibility Assessment Using GIS and the SMR Classification. *Natural Hazards*, 30(3), 309-324. <https://doi.org/10.1023/B:NAHAZ.0000007178.44617.c6>
- Jover, R. (7 de junio del 2002). Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21681/1/29.pdf>
- Jover, R. T., Prieto, I. F., Gadea, I. S. y Ivorra, M. C. D. (2002). Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica. [Ponencia]. *XIV Congreso Internacional de Molano*, L. A. H., & Gómez, J. F. H. (2010). Caracterización y comparación de propiedades físico-mecánicas de los mampuestos tipo tolete de productoras formales e informales en Bogotá y alrededores. Universidad de La Salle.
- Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Romana, M., Gáñez, S., & Bernardo, J. (2017). Revisión del estado actual de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/70953>
- Singh, B., Goel, R. K., Jethwa, J. L., & Dube, A. K. (1997). Support pressure assessment in arched underground openings through poor rock masses. *Engineering Geology*, 48(1-2), 59-81. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(97\)81914-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(97)81914-X)

Caracterización y análisis de los suelos disturbados en el centro del departamento del Cesar (Colombia)

Aleana Cahuana, M.¹

Resumen

El suelo como componente vital para los ecosistemas tiene diversos usos: ganadería, agricultura, extracción de materiales y minerales. Estos usos son necesarios para el ser humano, pero también implican la acelerada degradación del suelo a partir de procesos degenerativos que llevan a la reducción de sus capacidades de desempeño de sus importantes funciones; se pierde la flora y la fauna, y se hace necesario dar a conocer la importancia de este recurso para la toma de decisiones que lleven a su protección. En este artículo, se exponen las diferentes afectaciones en dos puntos específicos: Boquerón y Estados Unidos, partes de los municipios de la Jagua de Ibérico y Becerril, respectivamente. El objetivo es incentivar la toma de decisiones con respecto al suelo en búsqueda de la adopción de políticas de protección del recurso suelo.

Palabras clave: Suelo, caracterización de suelos, propiedades físicas.

¹ Grupo de Estudios Sanitarios y Ambientales ESA. Docente Departamento de Ingeniería y Tecnológicas; Universidad Popular del Cesar.

Introducción

El suelo es una colección compleja de materiales orgánicos e inorgánicos que forma la capa superior de la superficie terrestre y que a su vez ocupa un espacio. Se caracteriza por tener capas que se diferencian a través del tiempo debido a los distintos cambios experimentados: adiciones, pérdidas y transformaciones en términos de intercambio de materia y energía (Sposito, 1989). A nivel mundial, el principal uso de los suelos es el agropecuario, puesto que, en general, el suelo es un sistema dinámico y complejo que sustenta la vida en la tierra y proporciona un medio para el crecimiento de las plantas, de las cuales se obtienen alimentos (FAO 2017). Sin embargo, a parte de las actividades agropecuarias, del suelo también se derivan muchas otras actividades que deterioran su calidad y sus propiedades, como la ganadería, la extracción de minerales, el soporte de carga de edificaciones, la pérdida de la cobertura, el tratamiento de residuos, la recreación, etc.

Según la FAO (2017), la demanda mundial de alimentos ha influido en el intensivo uso del suelo; la industria agricultura a escala mundial ha incentivado el uso desmedido de plaguicidas e insecticidas, la explotación de grandes

extensiones de cultivos para la generación de biocombustibles, entre otras. La consecuencia de este uso desmedida es la degradación misma del suelo y su poca capacidad de recuperación. Una de las principales actividades económicas que afectan los suelos es la explotación minera a gran escala y su uso desmedido, que ha generado que el uso del suelo esté totalmente condicionado y limitado al tamaño y la distribución de la minería en el mundo (Porta, López-Acevedo y Roquero, 2003).

Específicamente, en el centro del departamento del Cesar, el uso del suelo estuvo principalmente orientado a la ganadería y la agricultura; sin embargo, la minería de carbón a cielo abierto es actualmente la actividad predominante en la zona. Dentro de este corredor minero se encuentran los municipios de El Paso, Chiriguaná, Becerril y La Jagua, que conforman la Asociación de Municipios Mineros del Cesar (Asomineros) (Alcaldía del Municipio de Becerril, 2010).

En la zona de La Jagua-La loma-Boquerón, en El Paso, hay una fuerte presión de parte de los proyectos mineros. Esta zona se caracteriza por unos aspectos físico-bióticos muy particulares: se trata de una geología en la que se distinguen miembros cuaternarios y ter-

ciarios, y tres miembros sedimentarios: cuaternarios de terraza (terrazas altas no consolidadas que han sufrido erosión), cuaternario aluvial (depósitos de ladera conglomerados arenosos y areniscas de granos mediano a finos, malgranados) y rocas terciarias. También hay una geomorfología en la que es posible distinguir tres geoformas: valles estrechos aluviales, ondulado y geoforma montañosa. La zona es parte de la Serranía del Perijá que corresponde al gran sistema andino; son las estribaciones de la Cordillera Oriental, su último ramal, y sus alturas llegan hasta los 2.500 m s. n. m.

Los suelos de la región están conformados por rocas sedimentarias cretácicas y juratrásicas de composición arenisca y pizarra dura, blanda y conglomerada. La topografía es escarpada y a



Figura 1.
Perfil de cuarzo y óxido de hierro, oolitos de hierro (plintosol).
Fuente: Elaboración propia.

la vez compleja, y abundan los subpaisajes de coluvios, coluviones, aluviones, escarpes, lomas, colinas etc. (Alcaldía Municipal de la Jagua de Ibirico, 2000).

Precipitación media anual

La estación seleccionada fue La Loma [25020280], dado que es la estación más cercana a la cuenca, y cuenta con una excelente calidad de datos. No faltaron datos en la serie de precipitación total mensual entre el año 2000 y el 2014. Así mismo, la tendencia lineal tiene un coeficiente de determinación de 0,94 mayor a los coeficientes de las estaciones La Jagua, Centenario HDA, y Poponte (Corpocesar, 2016).

Para los municipios de La Jagua de Ibirico y Becerril

En estos municipios es posible observar las distintas tendencias del componente biótico: el cambio de las coberturas naturales de la tierra debido a los usos conflictivos del suelo, y que conlleva la pérdida de hábitats para los organismos vivos y la exposición del suelo directo a todos los procesos erosivos, la pérdida de ecosistemas estratégicos, de importancia ambiental a nivel nacional y regional, y el uso excesivo de agroquímicos y explotación minera.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio comprende dos municipios del centro del departamento del Cesar: La Jagua de Ibirico y Becerril. Estos municipios se caracterizan por pertenecer a la zona de vida del bosque seco tropical. Boquerón es un corregimiento de la Jagua de Ibirico, municipio fundado en 1980 por Pantaleón Mendoza y Antonio Meza Molina, en el sitio denominado La Ciénaga, en las coordenadas norte $9^{\circ} 37' 50,3''$, Oeste $73^{\circ} 32' 51,7''$ y con 59 m s. n. m. (Alcaldía del Municipio de Becerril, 2010). El corregimiento tiene una pequeña zona urbana con poco equipamiento social, vías definidas, cobertura de servicios públicos y cumple de manera mínima con las funciones urbana-rurales; su clima es cálido seco, el relieve es plano a ondulado, con una pendiente que alcanza el 12%. Tiene suelos poco evolucionados, desarrollados a partir de conglomerados ferruginosos, los cuales son abundantes en la superficie o están cerca de ella y cascajos petroféricos limitando la profundidad efectiva a muy superficial.

Tierra de alta aptitud ganadera, se estima un área de 15.215,36 ha, con

aproximadamente 19,9% del total de tierras ganaderas tanto a la Palmita como Boquerón. Se considera como zona de alta fragilidad hidrológica en proceso de degradación, zonas degradadas y zonas de alta significación ambiental por su alta biodiversidad y protección hídrica.

Por su parte, Estados Unidos es un corregimiento de Becerril, en las coordenadas norte $9^{\circ} 38' 56,7''$, Oeste $73^{\circ} 16' 36,2''$ y con 143 m s. n. m. Últimamente en el corregimiento se han generado varias alertas de inundación a causa del desbordamiento del río Tucuy. El corregimiento tiene clima cálido seco, los suelos presentan un relieve plano y plano cóncavo y en parte ligeramente inclinado, en pendientes que pueden alcanzar 7%, son bien a moderadamente drenados; los suelos se han formado a partir de materiales arcillosos y arenosos, profundos de texturas medias, moderadamente finas, y el régimen de humedad es údico.

En Estados Unidos, los usos del suelo no es de expansión urbana, dado que se encuentra cobijado por la línea de reserva forestal de la Serranía del Perijá, que se define en la Ley 2° de 1959 y restringe o prohíbe el crecimiento de asentamientos y poblaciones.

Método de campo

Se tomaron muestras en dos puntos estratégicos: Boquerón, en el municipio de La Jagua, y Estados Unidos, en el municipio de Becerril. Se observaron las características del suelo, la bioperturbación y los diferentes perfiles. El procedimiento usado para la toma de muestras en los diferentes puntos se describe a continuación:

Se tomaron *in situ* varios parámetros físico-químicos; dentro de estos, el pH, la temperatura, el carbono orgánico, el fósforo, la textura y el color del suelo.

- **pH:** La técnica que se utilizó para su medición fue porción suelo-agua 1:1, medida con cinta de pH.
- **T°:** Toma directa al suelo muestreado con termómetro digital con vástago de acero.
- **Materia orgánica:** Se establece mediante la aplicación directa a la muestra del perfil del suelo de gotas de peróxido de hidrógeno; si se observa efervescencia denota presencia de materia orgánica.
- **Fósforo:** Este parámetro se cuantifica mediante el método Olsen, con una solución de bicarbonato de sodio al 0,5 N a pH 8,5, para la extracción de P de suelos cal cáreos, alcalinos y neutros.
- **Textura:** Se determina por medio del método Boyoucos, el cual consiste en humedecer una cantidad de muestra del suelo y determinar la capacidad que este tiene para moldearse y así establecer el contenido de arena, limo y arcillas.
- **Color:** Se establece mediante la notación musell: el tono o matriz corresponde al color primario predominante, en escala nominal, rojo-amarillo-verde-azul-púrpura (R-Y-G-B-P) y sus intermediarios.
- **Descripción visual de las condiciones del suelo:** de manera exhaustiva se realiza un reconocimiento del área en la que se toman las diferentes muestras con el fin de establecer características geomorfológicas, perfiles, pendientes, composición, entre otros; se llega a una determinación pedológica del área en estudio. Adicionalmente se tomaron parámetros *ex situ* en laboratorio: capacidad de intercambio catiónico, densidad real y aparente y porosidad.



Figura 2.
Perfil de cuarzo y óxido de hierro.
Fuente: Elaboración propia.

- **Capacidad de intercambio catiónico:** Se mide la capacidad que tiene el suelo para retener y liberar iones positivos, según el contenido en arcillas y materia orgánica.
- **Densidad real y aparente:** La relación existente entre el peso seco de la muestra de suelo y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo.
- **Porosidad del suelo:** Se determinan los espacios vacíos o poros del suelo que se distinguen en macroscópico y microscópicos.
- **Carbono orgánico:** Se determina mediante el método Walkley-

Black, que consiste en la oxidación húmeda del suelo con una solución de dicromato de potasio estandarizada utilizando dilución de ácido sulfúrico concentrado.

Resultados

A continuación, la descripción del suelo en el primer punto de muestreo: Boquerón, en el municipio de la Jagua de Ibirico (ver tabla 1).

A continuación, se realiza la descripción del suelo del segundo punto de muestreo en Estados Unidos, corregimiento del municipio de Becerril (ver tabla 2 y tabla 3).

Tabla 1.
Descripción de horizontes en Boquerón, La Jagua de Ibirico.

Descripción de los Horizontes. Primer punto.	
Horizonte A 0 - 20 cm	Presencia de materia orgánica con algunos materiales minerales; coloración oscura 2,5 YR 3/1, húmedo y 4/4 seco; poca intervención de raíces, textura arenoso, baja en contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, con presencia de nódulos de óxido de hierro (fragmento de hierro) y cuarzo lechoso, horizonte plíntico, con pH 5, T° del horizonte 30,3 °C.
Horizonte B 20 - 50 cm	Presencia de pocas raíces, de color rojizo 2,5 YR 4/6, húmedo y 4/8 seco; se observa un horizonte de transición por moteado en la coloración dado por los niveles de agua donde se atrapan los iones metálicos de hierro, indica lixiviación al momento de la prueba de humedad táctil manchando de coloración rojiza: se determina alta concentración de hierro, textura arcillosa granular, no permite moldear, bajo en contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, con pH 6, T° 28,7 °C.
Horizonte C 50 - 130 CM	Sin presencia de raíces, con color rojizo 2,5 YR 5/8 húmedo y 5/8 seco, textura arcillosa moldeable en seco y húmedo, bajo en contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, T° 28,8 °C.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Descripción del suelo de Estados Unidos, Becerril.

Característica	Unidad	Segundo punto		
		A	B1	B2
Fecha de descripción	04 de noviembre de 2017			
Descrito por	Luis Carlos Díaz Muegues			
Relieve	Relieves inclinados de 7 a 12 % en la parte baja y la parte alta. Pendientes muy inclinadas mayores al 50%.			
Material parental	Valles aluviales como planicies de piedemonte			
Vegetación natural	Rastrojos y arbustos de altura mediana y alta, predomina el palo pietro, corazón fino, palma de aceite.			
Uso del suelo	Agrícola y pecuario.			
Erosión	Hídrica y eólica			
Observaciones	T° 36,2 se observa un horizonte de piedras			
coordenadas	Norte 9° 38' 56,7" Oeste 73° 16' 36,2" 143 m s. n. m.			
T° ambiente	36,2 °C			
Influencia Humana	Medianamente intervenida por las acciones antrópicas			
		A	B1	B2
Color del suelo seco	Notación Munsell 5YR	4/4	5/4	6/4
Color húmedo del suelo		4/3	5/6	6/6
Profundidad de perfil		0,20 m	0,30 m	0,30 m
Tipo de textura		Arc-Are	Arcilla	Arcilla
Arena	%	61,21	30,70	33,59
Arcilla	%	35,49	56,77	61,30
Limo	%	3,30	12,54	5,11
Densidad aparente	g/cm ³	1,05	1,25	1,44
Densidad real	g/cm ³	2,66	2,56	2,73
Porosidad	%	60,59	51,09	47,38
Tamaño de poros	mm	0,08	0,47	0,31
Humedad del suelo	%	7,96	37,43	21,30
pH (1:1)	Unidad de pH	5,22	5,30	4,76
Conductividad Eléctrica (1:5)	dS/m	0,06	0,05	0,12
C I C	1 /100g meq	46,96	31,25	17,42
Carbono orgánico	%	4,11	4,99	2,30
Fosforo disponible	mg/Kg	2,81	5,30	6,81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.
Descripción de horizontes de Estados Unidos Becerril.

Descripción de los horizontes, Segundo punto	
Horizonte A 0 - 20 cm	Presencia de materia orgánica, con bioturbación; se observan lombrices y hormigas, lo cual denota buena salud y aireación del suelo, con algunos materiales minerales como nódulos de óxido de hierro (fragmento de hierro), coloración rojiza 5 YR 4/4 seco y 4/3 húmedo con intervención de raíces, textura arcillosa-arenosa, alto en contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, con pH 5, T° del horizonte 31,5 °C.
Horizonte B 20 - 50 cm	Presencia de materia orgánica, con bioturbación; se observan lombrices y hormigas lo cual denota buena salud y aireación del suelo, coloración rojiza 5 YR 4/4 seco y 4/6 húmedo, con intervención de raíces, textura arcillosa, moldeable en seco y húmedo, contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, con pH 5, T° del horizonte 31 °C.
Horizonte C 50 - 60 cm	Coloración rojiza 5 YR 6/4 seco y 6/6 húmedo, con intervención de raíces, textura arcillosa, moldeable en seco y húmedo, contenido de materia orgánica en referencia a la prueba de peróxido, con pH 5, T° del horizonte 31,5 °C.

Fuente: Elaboración propia.

Suelos

El área está dominada por suelos formados por modernos depósitos aluviales bajos y medios, pendientes entre 1-3% y largas colinas exteriores de forma irregular, pendientes de 3-7-12%. Al norte del área de impacto, enmarcada por el río Calentouritas, existen llanuras de inundación modernas o no, con suelos planos.

Junto con la Asociación La Loma y en la misma terraza o posición geomorfológica se encuentran la consociación Boquerón que corresponde a suelos poco evolucionados, desarrollados a partir de conglomerados ferrogénicos. En las zonas altas, por la cantidad de basura y desechos, la fertilidad es muy

baja, el suelo es ácido o muy fuerte, muy pobre en nutrientes y materia orgánica, alto en Fe y Al, con dos partes a causa de las pendientes y la erosión.

La Asociación Tucuy corresponde a suelos de relieve plano a plano cóncavo, de texturas medias (franco gruesas a franco finas), fertilidad moderada, neutros a ligeramente ácidos, alto contenido de carbono orgánico en el primer horizonte, sometidos a inundaciones periódicas cortas y drenaje imperfecto. Apto para varios cultivos semestrales y ganadería intensiva, y se han clasificado en la clase agrológica II, o sea suelos con ligeras restricciones para su aprovechamiento agropecuario (Cuanalo, 1990; Buol, Hole y McCracken. 1991).



Figura 3.
Perfil de cuarzo y óxido de hierro, oolitos de hierro (plintoso).
Fuente: Elaboración propia.

Actividades antrópicas y movimientos naturales del recurso suelo

Actividad minera

Con respecto a este recurso, el estudio de impacto ambiental identifica que los sitios y actividades que generan la alteración atmosférica son los siguientes:

- Ocupación irreversible del suelo fértil para la creación de huecos (escombreras).
- Remoción de la cobertura vegetal.
- Construcción de las zonas de operación de edificios y talleres.
- Construcción de vías.
- Contaminación permanente de las aguas superficiales derivada de cambio en la cantidad de sólidos, cambio en el pH, aumento de sedimentos, presencia de minerales tóxicos, rociado de pilas de carbón, riego de vías, aguas de escorrentía.
- Creación de botaderos, remoción de la cobertura vegetal, inducción de efectos edáficos negativos en los alrededores de la explotación, debido a la acumulación de residuos, aumento de erosión por mayor exposición de áreas privadas de cobertura protectora, cambios en la trayectoria de los drenajes naturales, efectos por cambio en las propiedades físicas del suelo, entre otras.



Figura 4.
Bosque seco tropical, zona de Estados Unidos, Becerril.
Fuente: Elaboración propia.

Cobertura y uso del suelo

En general, los suelos de la zona son pocos desarrollados. Los principales cultivos de la zona son el arroz, el maíz, la yuca y el frijol, mientras que la producción ganadera incluye ganado vacuno, porcino y aves de corral. La cubierta de vegetación natural en el área ha sido reemplazada en gran parte por estas actividades agrícolas, y sólo quedan pequeñas manchas de bosque en algunas

áreas. Además de la agricultura y el pastoreo, también hay algunas actividades mineras a pequeña escala en la región, particularmente extracción de oro y carbón. Sin embargo, estas actividades tienen un impacto relativamente menor en la cobertura total del suelo y el uso del suelo del área. En general, la cobertura del suelo y el uso del suelo en Becerril son principalmente agrícolas y pastoriles, y algunas actividades mineras. El

área ha sufrido cambios significativos debido a la actividad humana: la cubierta de vegetación natural fue reemplazada en gran parte por cultivos y tierras de pastoreo (Díaz, 2016).

Discusión

Para el segundo punto de muestreo, sector de Estados Unidos (Becerril), se presentan un suelo con una apariencia más rica en vegetación y con menor grado de afectación, a pesar de que se denota una fuerte erosión hídrica. Se detallan tres perfiles: perfil A, con gran contenido de materia orgánica, bioturbación, presencia de raíces y lombrices, que da un aspecto de gran contenido nutricional, con textura arcillo arenosa; perfil B1, de textura arcillosa, con bioturbación y gran contenido orgánico que se percibe por la presencia de lombrices de tierra, hormigas —buena salud del suelo—; el perfil B2 tiene una textura arcillosa, con bioturbación y presencia de hormigas, es un suelo saludable. No omitimos aquí la discusión sobre el uso conflictivo de este suelo. A pesar de que está en la ladera de la Serranía del Perijá, protegida por la ley 2° de 1959, este suelo continúa siendo usado de forma inadecuada para la expansión de cultivos cuestionables en la región como los de aceite de palma, explotación minera y grandes extensión de ganadería, lo que

conlleva a un uso excesivo de agroquímicos que terminan destruyendo la capacidad de recuperación del suelo.

El segundo sector es un bosque seco tropical con presencia de grandes rocas que se deben a la formación geológica y a la erosión; cuenta con buena salud lo que permite el establecimiento de ecosistemas estratégicos, fauna de mayor tamaño y vegetación de mayor tamaño; a diferencia del sector del primer punto de muestreo, en el que la flora es mucho menor y de gran exigencia de adaptación a las condiciones adversas. En ese primer sector, de hecho, la fauna es de menor tamaño y predominan los reptiles.

Conclusiones

Teniendo en cuenta el desarrollo de esta caracterización y el posterior análisis, se determina que los usos conflictivos del suelo en el sector del centro del departamento del Cesar conllevan al deterioro de su salud, lo que en poco tiempo llevará a la pérdida total de la capacidad de restauración. Así, se pierde la capacidad de soporte y el establecimiento de los cultivos necesarios para el desarrollo de los habitantes de la región, pérdida de la capacidad de retención hídrica llevando a la escasez de este recurso tan necesario para la vida.

Es necesario establecer una zonificación de uso del suelo que se adopte de manera rigurosa, para lo cual todos los entes gubernamentales y del sector ambiental permitan la puesta en marcha de estas políticas y la pronta solución que acarrea el suelo y la biodiversidad del sector.

Es también necesario determinar los mayores responsables de las afectaciones del suelo en esta área y establecer la creación de mejores prácticas agrícolas, ganaderas y posiblemente en la recuperación del suelo por parte de las grandes empresas encargadas del sector minero.

Referencias

- Alcaldía del Municipio de Becerril. (2010). EOT Esquema de Ordenamiento territorial del Municipio de Becerril. <https://repositoriodim.esap.edu.co/handle/123456789/10048>
- Alcaldía del Municipio de la Jagua de Ibirico. (2000). EOT Esquema de Ordenamiento territorial del Municipio de la Jagua de Ibirico. <https://repositoriodim.esap.edu.co/handle/123456789/22798>
- Buol, S., W., Hole, F. y McCracken. R. (1991). *Génesis y clasificación de suelos*. Gobierno de México.
- Corpocesar (2016). *Formulación del POMCA del Rio Calenturitas, César*. <https://www.corpocesar.gov.co/files/Fase%20Prospectiva%20y%20Zonificacion%20Ambienta-Rio%20Cesar%20Calenturitas.pdf>
- Cuanalo C., H. 1990. *Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo*. Colegio de Postgraduados.
- Díaz, LC. (2016). *Comparación de las características de los suelos afectados por dos tipos de actividad antrópica en el departamento de Antioquia (Colombia)*.
- FAO. (2017). *Propiedades del suelo*. FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa.
- Sposito, G. (1989) *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press.

¿Está el futuro de la energía relacionado con el hidrógeno?

Víctor Hugo Ferman Ávila¹
Sergio Eduardo Núñez Caraveo²
Evelyn Ochoa García³

Resumen

En este artículo de reflexión pretendemos demostrar que definitivamente sí existe una relación muy cercana entre la energía y el hidrógeno, y que el hidrógeno está posicionándose como una alternativa viable para tomar el timón de las energías; de hecho, no sólo se trata de las energías renovables y limpias, sino de todo el mercado de la energía. Este artículo también comenta cómo la transición hacia ese uso del hidrógeno está siendo mucho más corta de lo que imaginábamos. Los países Latinoamericanos, con muy honrosas excepciones, sólo somos observadores de cómo Europa y los Estados Unidos ya están entrando en la etapa inicial, no sólo del desarrollo de las tecnologías basadas en el hidrógeno, sino en su aprovechamiento, con planes concretos tanto para el despliegue de tecnología tanto en celdas de combustible de hidrógeno, celdas de electrólisis, sistemas de recarga a alta presión, como de perspectivas de la evolución de mercado de esta energía.

1 Víctor Hugo Ferman Ávila, es Profesor de Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Parral perteneciente al Tecnológico Nacional de México, Hidalgo del Parral, Mexico hferman@gmail.com

2 Sergio Eduardo Núñez Caraveo, es Profesor del área de Sistemas en el Instituto Tecnológico de Parral perteneciente al Tecnológico Nacional de México, Hidalgo del Parral, Chihuahua. senunez@itparral.edu.mx

3 Evelyn Ochoa García es alumna de la carrera de Ingeniería Química cursando el sexto semestre en el Instituto Tecnológico de Parral. eochoa@itparral.edu.mx

Introducción

“El H₂ es uno de los elementos más comunes de la tierra, mayoritariamente unido a otros átomos como es el caso del agua, biomasa e hidrocarburos”.

Navarro, Sánchez, Álvarez, Del Valle y Fierro (2009, p. 35)

La producción fotocatalítica de H₂ a partir del agua es considerada una de las más prometedoras tecnologías de conversión de energía solar a H₂ (Guo, 2014, p. 996), aunque este proceso es endotérmico y conlleva una energía libre de Gibbs de 237 KJ/mol.

Hoy se busca aprovechar la energía producida por paneles solares para impulsar directamente la electrolisis del agua, y los dispositivos fotovoltaicos-fotoelectroquímicos acoplados podrían resolver la inestabilidad de las redes eléctricas nacionales en contraposición a la irregularidad de las fuentes renovables, al almacenar la energía como H₂ y luego utilizarla para balancear las redes. Estos adelantos beben de la fotosíntesis, la estudian para llegar a procesos equivalentes: “La fotosíntesis ha sido por décadas fuente fascinante de inspiración para el desarrollo de sistemas para producción eficiente de combustible solar” (Wbaltzley, 2013).

Tras la irradiación con una cantidad de energía igual o mayor que el band gap o banda prohibida del semiconductor fotocatalítico, los electrones son excitados de un estado de valencia a un nivel de la banda de conducción, dejando huecos en la banda de valencia, la energía mínima del fotón para activar la reacción es de 1.23 eV, correspondiente a una longitud de onda de 1008 nm (Murphy, Barnes, Randeniya, Plumb, Grey, Horne y Glasscock, 2006, p. 2000).

Metodología

Se hizo una revisión bibliográfica del estado del arte en el campo del hidrógeno como fuente de energía. Esta revisión contemplaba artículos en revistas, congresos virtuales y videos.

Resultados

“El hidrógeno es el combustible del futuro, porque:

- 1) Puede ser producido en cantidades casi ilimitadas a partir del agua.*
- 2) Su combustión regenera el agua.*
- 3) No causa contaminantes.*
- 4) Su calor de combustión es de 2.5 a 5 veces el de otros combustibles (hidrocarburos y alcoholes)*
- 5) En motores de combustión interna su eficiencia termodinámica es casi el doble de la de los combustibles convencionales (derivados del petróleo)”*

Ashokkumar (1998, p. 429)

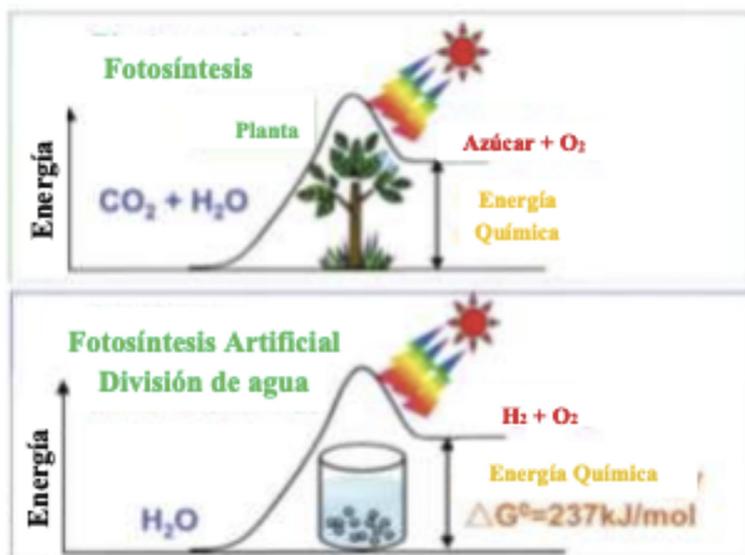


Figura 1.
 Similitudes entre la fotosíntesis y la propuesta fotosíntesis artificial.
 Fuente: Kudo y Miseki, 2009, p. 255.

Desde el trabajo de Fujishima, Honda y Tryk (2008, p. 515), en 1970, sobre la producción fotoelectroquímica de H₂ con un electrodo de TiO₂, se estableció mucho interés científico y tecnológico alrededor de la fotocatalisis de un semiconductor.

Actualmente, la conversión a H₂ es más cara —la producción desde celdas es más cara que desde los combustibles fósiles—. Es en esa ecuación (la del precio) que entran a jugar parte los materiales semiconductores y la nanotecnología para la conversión fotoelectroquímica. Veamos un análisis de estas innovaciones:

Por su naturaleza, todos los combustibles tienen algún grado de peligro asociado con ellos.

Varias propiedades del hidrógeno hacen que su manejo y uso sea más seguro que los combustibles comúnmente utilizados en la actualidad.

El hidrógeno no es tóxico, además, debido a que es mucho más liviano que el aire, se disipa rápidamente cuando se libera, lo que permite una dispersión relativamente rápida del combustible en caso de fuga.

Algunas de las propiedades del hidrógeno requieren controles de ingeniería adicionales para permitir su uso seguro, tiene una amplia gama de concentraciones inflamables en el aire y una energía

de ignición más baja que la gasolina o el gas natural, lo que significa que puede encenderse más fácilmente. En consecuencia, la ventilación adecuada y la detección de fugas son elementos importantes en el diseño de sistemas de hidrógeno seguros.

Debido a que el hidrógeno se quema con una llama casi invisible, se requieren detectores de llama especiales, algunos metales pueden volverse quebradizos cuando se exponen al H_2 (US Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2020).

Para el manejo del hidrógeno es importante la seguridad en cuanto a la presión. Se requiere mantener aproximadamente a 530 atmósferas, unas 7800 psi, para que el manejo del hidrógeno sea seguro; actualmente la tecnología permite alcanzar esas presiones en equipos industriales y automóviles: “El suministro de hidrógeno a las estaciones de servicio y los vehículos de repostaje impone exigencias especiales a los sistemas de compresores. Los compresores Burckhardt se utilizan en transporte y almacenamiento de gas, refinerías, plantas químicas y gases industriales” (Rettenmeier, 2022).

En la actualidad, ya existe tecnología asequible, “empresas Europeas como Omron y Vaf, están montando fábricas de celdas de combustible H_2 que se escalan a 8 GW, esto debe llevar el precio desde 0,9 Euros /kW hoy a menos de 0,1 Euros/kW antes de 2030” (Rettenmeier, 2022).

Plantas como las anteriores requieren que otras les provean de sistemas de electrolisis pues “la demanda actual es menor a 1 GW y para 2030 el mercado esperado es mayor a 200 GW ubicándose las mayores demandas en China y Europa, medio oriente y en los Estados Unidos” (Rettenmeier, 2022).

El hidrógeno verde se produce con energías renovables, el hidrógeno gris se produce mediante combustibles fósiles. El verde puede desplazar al gris antes de 2035 por el impuesto a la producción de Carbón, y el primero iría de USD 5,8/kg, actualmente, para llegar a USD 1,5/kg en 2050, mientras que el hidrógeno gris pasaría de USD 1,6/kg a USD 4/kg (Hritsyshyna y Riepin, 2022).

El hidrógeno ha ido ganando terreno como combustible alternativo limpio, ya que sólo emite agua durante la combustión. Sin embargo, hay una serie de desafíos inherentes a la producción, el manejo y el consumo de hidrógeno con el estado de la tecnología actual. Todavía es costoso producir hidrógeno limpio a partir de fuentes renovables. Como gas, el hidrógeno también requiere una infraestructura intensiva en capital para su almacenamiento y transporte.

El metanol es el hidrógeno del mañana, hoy. Es un portador de hidrógeno extremadamente eficiente. Al ser un líquido

en condiciones ambientales, el metanol puede manipularse, almacenarse y transportarse con facilidad aprovechando la infraestructura existente que respalda el comercio mundial de metanol.

Los reformadores de metanol pueden generar hidrógeno bajo demanda en el punto de uso para evitar la complejidad y el alto costo asociado con la logística del hidrógeno como combustible.

El metanol es un excelente combustible portador de hidrógeno, ya que contiene más hidrógeno en esta simple molécula de alcohol que el que se puede encontrar en el hidrógeno comprimido (350-700 bar) o licuado (-253 °C). Las celdas de combustible de metanol se pueden cargar con la misma rapidez que su vehículo actual de gasolina o diésel, y pueden ampliar la autonomía de un vehículo eléctrico de batería de 200 km a más de 1000 km (Chan y David, 2022).

Conclusiones

Los países desarrollados se preparan intensamente para aprovechar tecnologías tan simples como la electrólisis del agua y el reformado de metanol, perfeccionándolas y escalándolas para que al terminar la era del petróleo, sea la era del hidrógeno la que permanezca.

Los países latinoamericanos deben entrar ya a esta tendencia si no queremos seguir dependiendo de energías extranjeras.

Referencias

- Ashokkumar, M. (1998). An overview on semiconductor particulate systems for photoproduction of hydrogen. *Int. J. Hydrogen Energy*, 23(6), 427–438. doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00103-1
- Chan, T. y David, L. (2022). *The Methanol Pathway to Hydrogen* [webinar]. Mission Hydrogen. <https://event.webinarjam.com/channel/mission-hydrogen-met>
- Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2020). *Safe Use of Hydrogen*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/safe-use-hydrogen>
- Fujishima, A., Zhang, X., y Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surf. Sci. Rep.* 63(12), 515–582. doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001
- Guo, L. (2014). Functionalized nanostructures for enhanced photocatalytic performance under solar light. *Beilstein J. Nanotechnol.* 5(1), 994–1004. <https://www.beilstein-journals.org/bjnano/articles/5/113>
- Hritsyshyna, M. y Riepkín, O. (2022). *Wind Power and Green Hydrogen Production in Ukraine*. [webinar]. Mission Hydrogen. <https://event.webinarjam.com/channel/mission-hydrogen-ukr>
- Kudo, A. y Miseki, Y. (2009). Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. *Chem. Soc. Rev.*, 38(1), 253–278. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2009/CS/B800489G>

- Murphy, A. B., Barnes, P.R.F., Radeniya, L.K., Plumb, J.C., Grey, I.E., Horne, M.D. y Glasscock, J.A. (2006). Efficiency of solar water splitting using semiconductor electrodes. *Int. J. Hydrogen Energy*. 31(14),1999–2017. doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.01.014
- Navarro, R.M. , Sánchez-Sánchez, M.C., Alvarez-Galvan, M. C., Del Valle F., y Fierro J.L.G.. (2009). Hydrogen production from renewable sources: Biomass and photocatalytic opportunities. *Energy Environ. Sci.*, 2(1),35–54. <https://pubs.rsc.org/en/results?artefjournalname=energy%20environ.%20sci.&artrefstartpage=35&artref-volumeyear=2009&fcategory=journal>
- Rettenmeier, M. (2022, 4 de Mayo). *The 8GW Fuel Cell and Electrolyzer Factory*. [webinar]. <https://event.webinarjam.com/channel/mission-hydrogen-8gw>
- Wbaltzley (2013). *Explaining solar fuels and artificial photosynthesis*. Royal Society of Chemistry. <https://roadtoabundance.wordpress.com/2013/06/26/explaining-solar-fuels-and-artificial-photosynthesis-royal-society-of-chemistry/>.



Resúmenes extendidos

Evaluación de la concentración de nitratos y fosfatos por *Chlorella vulgaris* en aguas superficiales en el tramo Salguero del río Cesar

María Isabel Téllez Luna¹
Jean Carlos Ospino Jiménez²

Resumen

Los sistemas biológicos como las algas son implementados como herramientas de biorremediación en fuentes de agua con altas concentraciones de nitratos y fosfatos. Desde una perspectiva económica, el tratamiento de agua mediante microalgas es una opción rentable, renovable y fácil de fabricar para la eliminación de contaminantes en los efluentes. Por lo tanto, el objetivo principal de este artículo es evaluar la eliminación de nitratos y fosfatos de las aguas postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valledupar-Cesar con la utilización de *Chlorella vulgaris*. Se medirán los niveles iniciales de nitratos y fosfatos en el agua tratada, se evaluará la producción de biomasa y se cuantificará la eliminación de nitratos y fosfatos. Se espera que la utilización de microalgas sea una alternativa efectiva para la eliminación de nitratos y fosfatos en los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Introducción

Los microcontaminantes de aguas residuales han tenido un impacto ecotoxicológico y han derivado en efectos adversos sobre la salud humana, por lo que se han convertido en una preocupación ambiental que afecta principalmente a los países más pobres (Yepe, 2008). En América Latina, el mayor problema radica en la calidad y la distribución del agua: para el 2025, la disponibilidad del recurso hídrico empezará a disminuir, lo que implica una situación de estrés consecuencia del acelerado crecimiento poblacional, así como del uso inapropiado del consumo de los recursos naturales (Malvezzi, 2006).

Colombia tiene un potencial hídrico seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio mundial (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [de aquí en adelante IDEAM], 2010). Sin embargo, a pesar de contar con un gran excedente, el problema está en la calidad de este recurso. Debido a la contaminación generada por la población urbana, el sector agrícola, los vertimientos industriales (Guhl, 2006), la deforestación, la erosión, la pérdida de la capacidad de retención y la regulación en los suelos de laderas y piedemonte (Marín, 2003), se trata de un

recurso cada vez de peor calidad. “Se estima que anualmente se vierten 117.000 toneladas de nitrógeno total y 29.400 toneladas de fósforo a los sistemas hídricos, situación que afecta negativamente la riqueza hídrica del país” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [de aquí en adelante MADS], 2016, p. 69). Estas actividades están estrechamente asociadas con procesos de manufacturas, disposición de aguas residuales industriales, entre otros (Bolan et al, 2014; Wu et al, 2010).

En virtud de lo anterior, en el departamento del Cesar se encuentra el río Cesar, que actualmente presenta una alteración de la calidad de sus aguas debido al vertimiento de las aguas postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Valledupar. La cuenca del Río Cesar no cuenta con un plan de ordenamiento del uso y explotación sostenible, Y se encuentra con un índice superior de capacidad de carga del sistema debido al vertimiento de aguas residuales domésticas, agroindustriales, e industriales. Estas aguas tienen una alta carga de nitratos y fosfatos inorgánicos que son responsables por la eutrofización que a su vez es la causa de la excesiva proliferación de algas y macrófitas que limita el crecimiento de los invertebrados y los

peces. Disminuye así la biodiversidad animal del río (Grupo de investigación de Biodiversidad del Caribe Colombiano, 2013).

Por lo tanto, el principal objetivo de la presente investigación es evaluar la remoción de nitratos y fosfatos en aguas postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Valledupar-Cesar con el empleo de cepas de microalgas de *Chlorella vulgaris*

Material y métodos

Materiales Biológicos: *Chlorella vulgaris*

Físicos: Fotobiorreactores, blowers, mangueras, soportes de hierro, agitador magnético, balanza electrónica de cinco cifras significativas, frasco ámbar de laboratorio, espectrofotómetro de UV-Visible, membrana de filtración mezcla de ésteres de celulosa (MCE) blanca cuadrícula negra, estéril Ø 47 mm; 0.45 µm, test de nitratos y fosfatos fotométrico, fitotrón, microcentrífuga, centrífuga.

Métodos y procedimientos

Caracterización de los parámetros iniciales de nitratos y fosfatos en aguas postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Valledupar-Cesar: se toma una mues-

tra de agua postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del río Cesar, luego se filtra por medio de una membrana de celulosa blanca cuadrícula negra estéril Ø 47 mm; 0.45 µm, se aplica el método fotométrico, DMP 0,10 - 25,0 mg/l NO₃-N 0,4 - 110,7 mg/l NO₃- Spectroquant® y método fotométrico 0,5-30,0 mg/L (PO₄-P), 1,5-92,0 mg/L (PO₄-), 1,1-68,7 mg/L (P₂O₅), Spectroquant®

Producción y cuantificación de biomasa en microalgas cultivadas: el cultivo se somete a centrifugación (4000 rpm) durante 10 minutos a una temperatura de 4°C, luego se desecha el sobrenadante y la biomasa se lava con agua destilada repitiendo este procedimiento dos veces. Para eliminar la humedad se realiza liofilización. La biomasa seca se coloca en tubos (falcón), y se preservan a una temperatura de -4 °C. La biomasa generada por las dos cepas de microalgas se cuantificará por el método de peso seco; se utiliza una balanza de humedad y un sistema de filtración con membrana celulosas de 0.45µm y 47µm de diámetro (Arredondo y Voltolina, 2007).

Cuantificación de nitratos y fosfatos por acción de microalgas cultivadas: se toma una muestra de agua contaminada de nitratos y fosfatos tratada por acción

de las microalgas cultivadas y se aplica el método fotométrico, DMP 0,10 - 25,0 mg/l NO₃-N 0,4 - 110,7 mg/l NO₃-Spectroquant® y método fotométrico 0,5-30,0 mg/L (PO4-P), 1,5-92,0 mg/L (PO43-), 1,1-68,7 mg/L (P2O5), Spectroquant®

Análisis estadístico

Se realizará un análisis de varianza (ANOVA) y comparación múltiple de medias.

Resultados y discusión

Al realizar la caracterización de los parámetros iniciales de nitratos y fosfa-

tos en aguas postratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Valledupar-Cesar, se encontró que, en época seca, la concentración de nitratos totales fue de 2,4 ppm y de fosfatos totales de 2,8 ppm; en época lluviosa, la concentración de nitratos totales fue de 2 ppm y de fosfatos totales de 2,3 ppm. Al comparar estos resultados con los límites de nitratos y fosfatos totales de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y con el programa de ciencia ciudadana FreshWater Watch (FWW), la calidad de agua superficiales del río Cesar es baja.

Normas de la EPA	EPA NO ₃ -N límite mg/l	Categorías relevantes de FWW NO ₃ -N mg/l	Valores de punto medio de las categorías de nitrato FWW	Límite EPA P mg/l	Relevantes FWW PO ₄ -P categorías mg/l	Valores de punto medio de las categorías de fosfato FWW
Alta calidad	<0.9	0-0,2 0,2-0,5 0,5-1,0	0,1 0,35 0,75	<0.025	0-0.02	0.01
Buena calidad	<1.8	1-2	1.5	<0.035	0,02-0,05	0.035
Baja calidad	>1.8	2-5 5-10	3,5 7,5	>0.035	0,05-0,1 0,1-0,2 0,2-0,5 0,5-1	0,075 0,15 0,35 0,75

Tabla 1.

Límites de nitrato y fosfato de la EPA para la calidad del agua y categorías de parámetros FWW Fuente: tomado de Hegarty et al. (2021, p. 4).

Conclusión

En el tramo salguero, las aguas post-tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valledupar-Cesar presenta contaminación por nitratos y fosfatos totales de acuerdo con las normativas internacionales.

Referencias

- Arredondo, B. y Voltolina, D. (2007). *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal*. Centro de investigaciones biológicas
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., ... y Scheckel, K. (2014). Remediation of heavy metal (loid) s contaminated soils—to mobilize or to immobilize? *Journal of hazardous materials*, 266, 141-166.
- Guhl, E. (2006). *Peligros y soluciones a la escasez y contaminación creciente del agua*. El tiempo.
- Grupo de investigación en Biodiversidad del Caribe Colombiano (2013). *Plan de ordenamiento del recurso hídrico del río Cesar diagnóstico final*. Universidad del Atlántico.
- Hegarty, S., Hayes, A., Regan, F., Bishop, I., & Clinton, R. (2021). Using citizen science to understand river water quality while filling data gaps to meet United Nations Sustainable Development Goal 6 objectives. *Science of The Total Environment*, 783, 146953.
- IDEAM. 2010. *Estudio nacional del agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Malvezzi, R. (2006). *La cuestión del agua en América Latina*. Bol Press. <http://www.bolpress.com>
- Marín, R. (2003). *Colombia: potencia hídrica*.
- MADS. (2016). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. MADS. http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_esp%C3%B1ol_web.pdf
- Yepe, M. (2008). *El derecho humano al agua*. Ecoportal. <http://www.ecoportal.net/content/view/full/75376>
- Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Shao, H., Chu, L., & Ruan, C. (2010). A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. *Journal of hazardous materials*, 174(1-3), 1-8.

Implementación pedagógica de la economía circular en un colegio

Ruth Perea Martínez¹

Resumen

A través de la implementación de modelos de economía circular, se busca la recirculación de los desechos al ciclo productivo, con el objetivo de que estos sirvan de materia prima para insumos en otras actividades productivas. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una estrategia de implementación de una economía circular, con base en un modelo pedagógico, en un colegio de Valledupar, Colombia. Esta implementación permitiría sensibilizar a la población educativa sobre la economía circular y el impacto social de la realización de buenas prácticas ambientales. Para el desarrollo del proyecto, inicialmente se hizo una clasificación de residuos sólidos para luego convertirlos en otros subproductos; de esta manera, se pone en práctica el concepto de economía circular. Finalmente, se calcula el impacto ambiental dependiendo de la cantidad de residuos aprovechados.

1

Estudiante, Maestría en Gestión Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina.

Introducción

La gestión integral de residuos sólidos se ha convertido en uno de los principales retos a nivel mundial, debido a la producción acelerada de desechos en las últimas décadas. Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), con degradación del deterioro ambiental nos referimos a “[...] Procesos inducidos por acciones y actividades humanas que dañan la base de recursos naturales o que afectan de manera adversa procesos naturales y ecosistemas, reduciendo su calidad y productividad” (CAR, 2020, p. 1).

El modelo de economía lineal implementado tradicionalmente en los sistemas de producción y consumo tiene como premisa que los recursos naturales son infinitos (Fonseca et al., 2018). Este modelo se basa en la extracción de materia prima, su transformación, su consumo, la generación de desechos y su disposición final; se trata de un modelo que contribuye a la mayoría de las problemáticas ambientales presentes en la actualidad. Desde el punto de vista educativo, este trabajo plantea una educación de manera integral que use alternativas que deriven en habilidades orientadas hacia la construcción de espacios que permitan acercarse a las problemáticas

ambientales. Un modelo para aplicar estas políticas es la economía circular, que responde a las características de un sistema social que aporta a la participación en procesos productivos de mayor impacto al medio ambiente.

Material y métodos

Este diseño metodológico comprende varios momentos: en primer lugar, se realizaron capacitaciones a los estudiantes antes de cada jornada escolar, y en esas capacitaciones se explicaron los conceptos teóricos más relevantes para esta investigación; posteriormente, con los grados 7° y 8° se categorizaron los residuos más generados en la sección de secundaria, y por lo tanto, se ubicaron canecas especiales para estos desechos; en tercer lugar, se elaboraron nuevos productos de decoración y jardinería a partir de experimentos dentro del aula; y, en un último momento, se realizó el análisis de impacto ambiental para dar a conocer cuánto se mitiga y la forma cómo se implementa la economía circular.

Resultados y discusión

Se realizaron talleres educativos sobre residuos sólidos, educación ambiental y economía circular en los grados 7° y 8°, con un total de 78 estudiantes.

Por otra parte, se identificaron al papel y las botellas plásticas como los residuos que se generan con más frecuencia; según estos datos, dentro de cada aula se asignaron canecas decoradas de acuerdo con el tipo de producto a recoger. Posteriormente, las botellas se usaron para hacer manualidades junto con el área de artística y el papel recogido fue reusado y tratado para convertirlo en láminas de un nuevo papel para hacer carteles. Por último, se determinó la cantidad de emisiones de CO₂ que se minimizan al darle nuevo uso al papel se llevó a cabo una estimación por medio del recurso web “calculadora de sostenibilidad Steibeis”.

Conclusiones

Las instituciones educativas privadas requieren implementar la educación ambiental como una propuesta de mejora para sus entes. El área de ciencias naturales permite abordar todas esas falencias enmarcadas para dar un buen manejo a los desechos en las escuelas, además de motivar a los estudiantes por medio de campañas de sensibilización sobre el ciclo de vida que pueden tener algunos residuos que generamos a diario. Estos a su vez nos pueden brindar una nueva alternativa de economía, no lineal sino circular.

Referencias

- Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR). (2020). *Glosario de Términos Ambientales*. CAR. <https://www.car.gov.co/vercontenido/2215>
- Fonseca, L., Domingues, J., Pereira, M., Martins, F., y Zimon, D. (2018). Assessment of Circular Economy within Portuguese Organizations, *Sustainability*, 10(7), 2521. <https://doi.org/10.3390/su10072521>