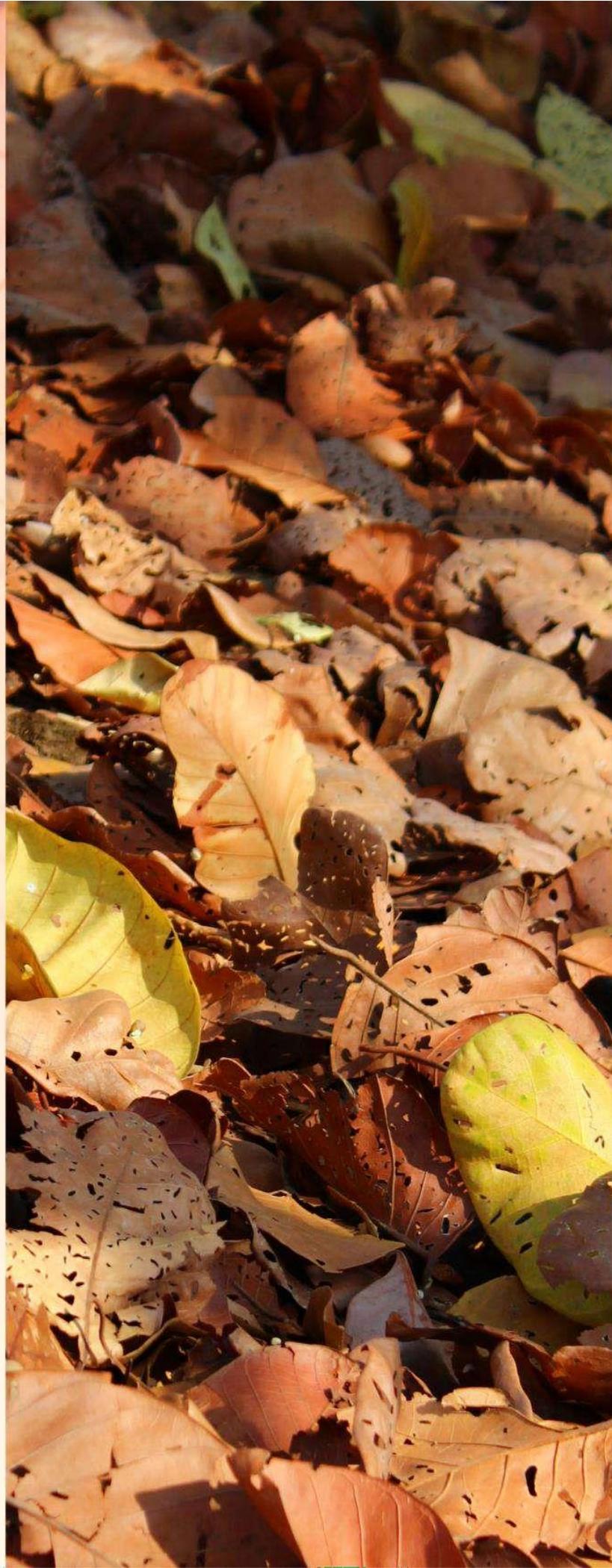


ENVIRONMENT & TECHNOLOGY

REVISTA SEMESTRAL
JULIO - DICIEMBRE
VOL. 1, N.º 2
ISSN: 2711-4422



ENVIRONMENT &
TECHNOLOGY
FOUNDATION



PROPIEDAD Y EDITORIAL

Environment & Technology Foundation

DIRECCIÓN EDITORIAL

PhD. Lilliana Piedra Castro, Costa Rica
PhD. Jaime Ernesto Rivera Hernández, México

COMITÉ EDITORIAL

MSc. Natalia García Corrales, Colombia
PhD. Fernando Ramírez Muñoz, Costa Rica
PhD. Rubén Sepúlveda Vargas, Colombia
PhD. Jorge Villadiego Lorduy, Colombia
PhD. Graciela Alcántara Salinas, México
PhD. Gustavo Barrantes Castillo, Costa Rica
PhD. Giovanni Saenz Arce, Costa Rica
PhD. Carlos Sabater Piqueres, España
PhD. Tomás Guzmán Hernández, Costa Rica
MSc. Yuri Morales López, Costa Rica
PhD. Massimo Leserri, Italia
MSc. Alfredo Esquivel Acosta, Colombia
MSc. Javier Sánchez Castillo, Colombia
PhD. Josemanuel Luna Nemecio, México

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Cristian Moreira Segura, Costa Rica
PhD. Joaquín Durán Mora, Costa Rica
PhD. María F. Garrido Rubiano, Colombia
PhD. Merwan Chaverra Suárez, España
PhD. Napoleón Blanco Orozco, Nicaragua
PhD. Salvatore Barba, Italia
PhD. Elena Rustrian Portilla, México
PhD. Lina García Corrales, Colombia
PhD. Juan A. Pérez Sato, México
PhD. Eric Pascal Houbbron, México
MSc. Omar Díaz Hernández, Colombia
PhD. Carmen Pérez Cervera, Colombia
Msc. Stalyn Guerrero Gómez, Colombia
MSc. Nydia Valencia Jiménez, Colombia
MSc. Concepción Amador Ahumada, Colombia

E&T Foundation no asume responsabilidad por posiciones presentadas por los autores de los artículos.

 Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND



MSc. Luis López Duarte, Nicaragua
MSc. Orlando Tordecilla Correa, Colombia
ESP. Jairo Vélez Vargas, Colombia
MSc. Yhonattan Méndez Nobles, Colombia
MSc. Daniel Espinosa Corrales, Colombia
MSc. Adolfo Cortecero Bossio, Colombia
MSc. Oscar Tuiran Polo, Colombia
ESP. Pabel López Jiménez, Colombia
MSc. Jhoan Pérez Benitez, Colombia
Msc. Edgar Manotas Olascuaga, Colombia
MSc. Abel Felipe Vargas Rueda, México
PhD. Diana Corina Zambrano Moreno, Colombia
MSc. Natalia Real Luna, México
PhD. Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo, México
PhD. Rooel Campos Rodríguez, Costa Rica

COLABORADORES

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre. Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica)

Grupo de investigación en calidad de aguas, modelamiento hídrico y ambiental. Programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería (Colombia)

Asociación de Geógrafos del Caribe Colombiano (Colombia)

Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia (Costa Rica)

Grupo de investigación ambiente y tecnología adscrito a Environment & Technology Foundation (Colombia)

Grupo de investigación sostenibilidad y competitividad adscrito a Environment & Technology Foundation (Colombia)

Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C. (México)

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica)

Programa de Maestría en Salud Pública, Universidad de Córdoba (Colombia)

Grupo de investigación huellas calidad de vida adscrito a la Maestría en Salud Pública. Universidad de Córdoba (Colombia)

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba (México)

ASISTENTES EDITORIALES

Ing. María Jiménez Ruiz, Colombia

Ing. Lilibeth Montes Cruz, Colombia

Ing. Pedro Payares Ramos, Colombia

FOTOGRAFÍAS

Com. Soc. Samir Ortiz Altamiranda, Colombia

DISEÑO

DG. Saily Luz Pérez Hoyos, Colombia

Contenido

Artículos científicos

- Evaluación de líneas de café (*Coffea arabica* L.) en almácigo contra *Meloidogyne exigua* (Göeldi 1887) en Alajuela, Costa Rica.....1
Evaluation of coffee seedling lines (*Coffea arabica* L.) against *Meloidogyne exigua* (Göeldi 1887) in Alajuela, Costa Rica
Roy Artavia Carmona, Walter Peraza Padilla.
- Estudio de la calidad del agua para el Caño Aguas Prietas a nivel del casco urbano - rural en el municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba.....25
Quality water study to Caño Aguas Prietas in rural and urban – level in Cienaga de Oro – Córdoba
Paula Andrea Castaño Ávila, María Isabel Brito Alemán.
- La innovación en las pequeñas y medianas empresas industriales de Montería, Córdoba, Colombia (2013-2018).....47
Innovation in small and medium-sized industrial companies in Montería, Córdoba, Colombia (2013-2018)
Iván Darío Sepúlveda Calderin, Patricia Milena Cassab Martínez, Nicolás Ganem Espinosa.
- Diseño y evaluación de un sistema de reúso para el agua residual del lavado de bovinos y sus corrales en la Subasta Santa Clara, Sahagún-Córdoba, Colombia.....66
Design and evaluation of a reuse system for washing of bovines and their corral wastewater at The Santa Clara Auction, Sahagún-Córdoba, Colombia
Jhonatan Barreto Lozano, Laura Lambraño Zuluaga.
- Técnicas y metodologías para la documentación y la supervisión del patrimonio natural83
Techniques and methodologies for the documentation and supervision of natural heritage
Marco Limongiello.

- Costos y beneficios sociales de mejoras ambientales del pozo
El Pital, Planeta Rica- Córdoba.....100
Costs and social benefits of environmental improvements
in El Pital well, Planeta Rica - Córdoba.
Manuel Lozano Martínez, Dayana Ruíz Ramos, Angélica Solano Agudelo.

- Manejo de retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en la vereda
Santa Ana Sector La Quinta en la ciudad de Duitama-Boyaca, Colombia.....120
Handling of retamo espinoso (*Ulex europaeus*) in the vereda
Santa Ana Sector La Quinta in the city of Duitama-Boyaca, Colombia.
Andrea Stephanie Camargo Joya, Stefany Dayanna Jiménez Farfán.

Artículo de revisión

- Estado actual del conocimiento florístico de México y su importancia
para el desarrollo sustentable.....140
Current state of floristic knowledge in Mexico and its importance
for sustainable development.
**Jaime Ernesto Rivera Hernández, Graciela Alcántara Salinas,
Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo, Juan Antonio Pérez Sato,
Natalia Real Luna.**

Editorial

En medio de la crisis ambiental actual, reflejada en una crisis sanitaria, científicos de todo el mundo coinciden que esta es solo una de las muchas consecuencias que el *Homo sapiens* tendrá que enfrentar. Los abusos desmedidos, irracionales e insostenibles de los recursos naturales, de los cuales depende la vida de la humanidad es solo una de sus causas. Para Paul Crutzen, el Antropoceno es la Era Geológica donde el impacto ambiental sobre la Tierra ha sido la marca característica de nuestra especie biológica.

A este respecto, recordemos que los dinosaurios fueron unas de las muchas especies que desaparecieron en la quinta extinción masiva planetaria hace ya 65 millones de años y que ahora ya está en marcha la sexta extinción masiva y que, si no rectificamos el camino, quizá tengamos la misma suerte de estas majestuosas criaturas. A pesar de que se piensa que estas extinciones masivas han sido cíclicas, los datos que señalan que la hemos estado acelerando desde hace ya algunas décadas y quizá más de un siglo, están plenamente reconocidos y, esto, nos hace responsables y víctimas al mismo tiempo. Richard Attenborough diría: “*no se trata de salvar al planeta sino de salvarnos a nosotros*”. El mensaje es claro y, aunque no directamente, él también nos marca una solución: cambiemos nuestras relaciones destructivas con el planeta y él solo se encargará de sanarse. Son muchos los caminos a tomar, pero bajo este contexto, sobresale la parte que nos toca jugar a los investigadores del campo ambiental.

Mucho se ha discutido sobre la necesidad de estudios dentro del campo de la ciencia aplicada; no es necesaria más ciencia básica se dice. No obstante, la solución, necesariamente, debe estar basada en ambos enfoques. Serán bienvenidos cualquier tipo de estudios ambientales que ayuden a prevenir, contrarrestar, disminuir, mitigar y compensar los diferentes impactos que causamos a los diferentes ambientes naturales del planeta que habitamos. Es claro, además, que una de las características del conocimiento científico es su capacidad de ser comunicado y replicado, por lo que la existencia de espacios donde este tipo de conocimiento pueda ser difundido, convierten a revistas como Environment & Technology en baluartes para conseguir este fin. Este es nuestro compromiso desde siempre.

Environment & Technology, con sede en Colombia, es una revista científica fundada por investigadores de países como Colombia, Costa Rica y México. En su comité científico, cuenta con el apoyo de evaluadores calificados de diversos países latinoamericanos y europeos. Asimismo, cuenta con el apoyo de diversas Universidades, Centros de Investigación y ONG de los países ya mencionados a los que se suma Italia. Sin duda, esto eleva su calificación e importancia para buscar publicar en ella. De esta forma, para su segundo número, se conjuntan ocho artículos con temas variados como: “Manejo de especies vegetales exóticas e invasoras”, “Evaluaciones de líneas de café resistentes a nemátodos”, “Diseño de sistemas de reúso de aguas residuales”, “Innovación en Pymes industriales”, “Costos y beneficios sociales de mejoras de un pozo”, “Técnicas y metodologías para documentar y supervisar el patrimonio natural”, “Estudios de calidad de agua de un río”, además de

un artículo de reflexión sobre “la importancia del conocimiento florístico para el desarrollo sustentable”.

Finalmente, en el cercano 2021, se celebrará el “Año Internacional de la restauración de los ecosistemas”, ya que estas acciones son vitales para la recuperación de nuestra biodiversidad. Environment & Technology no quiere quedar fuera de esta celebración, por lo que se promoverá que uno de los dos futuros números celebre este importante acontecimiento con artículos relacionados con este tema. Vayan nuestros mejores deseos para el próximo año para todos nuestros lectores, autores y colaboradores.

PhD Juan Antonio Pérez Sato

Director del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
Veracruz, México

Evaluación de líneas de café (*Coffea arabica* L.) en almácigo contra *Meloidogyne exigua* (Göeldi 1887) en Alajuela, Costa Rica

Evaluation of coffee seedling lines (*Coffea arabica* L.) against *Meloidogyne exigua* (Göeldi 1887) in Alajuela, Costa Rica

Roy Artavia-Carmona

Licenciado en Agricultura Alternativa

Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias. Laboratorio de Nematología

roy.artavia.carmona@una.cr

 <https://orcid.org/0000-0003-0906-5444>

Costa Rica

Walter Peraza-Padilla

Magister en Agricultura Ecológica

Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Agrarias. Laboratorio de Nematología

walter.peraza.padilla@una.cr

 <https://orcid.org/0000-0003-4651-5555>

Costa Rica

Resumen

Las pérdidas económicas en la producción de café debido a nematodos fitoparásitos se estiman de 10 a 25%. Determinar líneas con capacidad de resistencia o, al menos, tolerancia son necesarias en los programas de mejoramiento genético. El objetivo de esta investigación fue evaluar la tolerancia de cinco líneas de café derivadas del híbrido “Sarchimor T5296” denominadas San Isidro (SI) mediante la inoculación del nematodo *Meloidogyne exigua*, en etapa de almácigo. Se evaluaron las variables altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm) y número de hojas, 120 días después de la inoculación. Además, se evaluó el porcentaje de severidad de agallamiento y se hicieron conteos de nematodos para cada línea. Se observaron diferencias significativas tanto entre líneas como entre el tratamiento inoculado (TI) y tratamiento no inoculado (TNI) con *M. exigua*. Las líneas SI35 y la SI31 fueron las que presentaron los mejores resultados tanto en las variables de crecimiento, como en los porcentajes de severidad con comportamiento resistente en ambas variables. Las líneas SI27 y SI34 mostraron comportamiento moderadamente susceptible y susceptible, respectivamente, para el porcentaje de severidad de agallamiento. La línea más promisoría para futuras investigaciones fue la SI35, ya que mostró las características más sobresalientes para las variables evaluadas.

Palabras clave: Nematodo agallador, cafeto, altura, grosor, número de hojas

Abstract

Economic losses in coffee production due to phytoparasitic nematodes are estimated around 10 to 25%. Determining lines with resistance capacity or at least tolerance to nematodes are necessities in genetic improvement programs. The objective of this research was to evaluate tolerance of five coffee lines called San Isidro (SI) derived from “Sarchimor T5296” hybrid, by inoculating seedlings with *Meloidogyne exigua* nematode. Plant height (cm), stem diameter (mm) and number of leaves were the variables evaluated 120



days after inoculation. Gall severity percentage, and nematode counts per line were also evaluated. Significant differences were observed between lines and between *M. exigua* inoculated treatment (TI) and non-inoculated treatment (TNI). SI35 and SI31 lines presented best results in growth variables, as well as in severity percentage with resistant behaviour for both variables. SI27 and SI34 lines showed moderately susceptible and susceptible behaviour respectively for gall severity percentage. The most promising line for future research was SI35 since it showed the most outstanding characteristics in the variables evaluated.

Keywords: Root-knot nematode, coffee tree, height, thickness, number of leaves

Introducción

El café pertenece al género *Coffea* y a la familia Rubiaceae, la cual cuenta con más de 6 000 especies. Es un cultivo de gran importancia económica, tanto a nivel nacional como internacional (Rodríguez, 2011), ya que es uno de los principales productos de los mercados mundiales más importantes de materias primas y bolsas de valores, especialmente Londres y Nueva York (Monroig, 2015).

En Centro América, la caficultura es la principal actividad económica y el café el mayor producto de exportación. Se cultiva en áreas extensas sobre la vertiente pacífica, el centro de los países y un poco sobre las regiones orientales, de 500 a 1 800 msnm, principalmente en zonas montañosas con pendientes pronunciadas (Jaehn, 1990).

Dentro de las variedades más cultivadas se encuentra el híbrido Sarchimor, de mayor variabilidad genética natural que otras más comúnmente cultivadas (Quijano, 2007). Esta línea proviene del cruce entre la variedad Villa Sarchí (CIFC H-361) y el híbrido Timor (CIFC 832/2) y logra mantener los genes de resistencia del híbrido Timor ante la roya del café, además de que posee características genotípicas de la variedad Villa Sarchí, como productividad y calidad de bebida, entre otras (Quijano, 2007; Ramírez, 2017). Asimismo, se cree que esta línea puede tener resistencia contra otros agentes patógenos como *Colletotrichum kahawae* (CBD), *Fusarium oxysporum*, *Pseudomonas syringae* y contra los nematodos *Meloidogyne exigua*, *M. incognita* y *M. arabicida* (Bettencourt y Fazuoli, 2008).

Los nematodos fitoparásitos representan uno de los principales problemas fitosanitarios que afectan las plantaciones agrícolas, ya que provocan daños en los sistemas radicales y el cultivo de café no está exento (Fontana *et al.*, 2013; Durán, 2012). De



acuerdo con Souza (2008), estos microorganismos ocasionan pérdidas en el rendimiento del cultivo, retardan el crecimiento y desarrollo de la planta e impiden que la misma alcance su máximo nivel productivo. Los dos nematodos de mayor importancia en los cafetales de América Central son, en orden de importancia, de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus* (Luc, Sikora y Bridge, 1990).

En el género *Meloidogyne* destacan básicamente las especies *M. exigua* y *M. incognita*. En Costa Rica, varios investigadores reportan las especies *M. exigua*, *M. arabicida*, *M. javanica*, *M. incognita*, *M. enterolobii* (López, 1984; López y Salazar, 1989; Rojas y Salazar, 2013; Villain *et al.*, 2013) y *M. lopezi* (Humphreys, Flores, Gómez, Salazar, Gómez y Elling, 2014). En el caso de *M. exigua*, Jobert (1878), informó su presencia por primera vez en una plantación de café en Río de Janeiro, sin embargo, fue descrita por Goeldi hasta 1887.

La especie *M. exigua* se reporta principalmente en plantaciones de café en las regiones de Centro y Sur de América, pero también en el sur de la India, China y algunos países de Europa. Debido a su amplia distribución, ocasiona problemas fitosanitarios cada ciclo del cultivo en todas las zonas cafetaleras (Rodríguez, 2011; Elling, 2013), por ejemplo, en Río de Janeiro se estima una reducción cercana al 45% en la productividad del café debido a su ataque (Barbosa, Viera, Souza, Viana y Silva, 2004). En Costa Rica, es la especie más comúnmente asociada al cultivo de café en muchas de las regiones cafetaleras y puede causar pérdidas económicas estimadas entre 10 y 20% (Anthony, Topart, Astorga, Anzueto y Bertrand, 2003; Rojas y Salazar, 2013).

El control de nematodos es complejo y se necesita integrar diferentes estrategias para reducir las poblaciones a niveles que no afecten los sistemas radicales de las plantas (Fontana *et al.*, 2013). Uno de los principales problemas que dificulta su combate en campo es la cantidad de especies hospederas alternas, las cuales son arvenses muy comunes, como *Bidens pilosa* L., *Emilia fosbergii* Nicolson, *Amaranthus deflexus* L. y *Euphorbia heterophylla* L., entre otras (Peraza y Orozco, 2018).



El uso de variedades resistentes es una medida para combatir los inconvenientes que provocan los nematodos en los cultivos. Es una propuesta más económica, eficiente y ecológicamente correcta para reducir el problema que ocasionan los nematodos fitoparásitos (De Lima-Salgado y Costa-Rezende, 2010). Determinar variedades o líneas con capacidad de resistencia o, al menos, tolerancia a nematodos, es una tarea necesaria en los programas de mejoramiento genético, con el fin de contar con un sistema de manejo integrado de plagas (MIP) (Rodríguez, 2011; Anthony *et al.*, 2003). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la tolerancia de cinco líneas de café derivadas del híbrido “Sarchimor T5296” mediante la inoculación del nematodo *M. exigua* en la etapa de almácigo, como fase elemental en los programas de mejoramiento y establecimiento del cultivo.

Metodología

Localización del ensayo

El ensayo se realizó en un invernadero de la Hacienda Alsacia, ubicada en Dulce Nombre de San Isidro de Alajuela, Costa Rica (10° 5'49.11"N y 84°11'59.90"O), a una altitud de 1 400 a 1 600 msnm. La fase experimental se desarrolló durante diciembre 2015 con siembra de semillas hasta octubre 2016 donde se realizaron las últimas mediciones en campo y se recolectaron las plantas para su posterior procesamiento en el Laboratorio de Nematología de la Universidad Nacional (LN-UNA).

La precipitación total registrada en el 2016 fue de 2 907 mm, con un promedio de 242 mm de lluvia por mes (Calderón, 2017).

Siembra de las semillas y obtención de plantas de almácigo de café

Como material vegetal para el ensayo, se utilizaron semillas de cinco líneas de café derivadas de “Sarchimor T5296”, llamadas San Isidro (SI): 27, 31, 32, 34 y 35 y como testigo una variedad Caturra (CT) conocida por su susceptibilidad a nematodos.

Como sustrato se utilizó una mezcla de arena gris de río y suelo, previamente esterilizada, en una proporción 1:1 v/v. Se llenaron tubetes de polietileno (5 cm de diámetro x 18 cm de largo) con aproximadamente 330 g de sustrato. Se sembraron dos



semillas de café por tubete y se colocaron en una “cama” de malla desde la siembra hasta el final del ensayo.

A mediados de junio de 2016, cuando las plantas tenían 135 días de germinadas, se procedió a la inoculación de nematodos. Cuatro meses después de la inoculación se finalizó el ensayo, momento en el cual las plantas tenían 8.5 meses de germinadas. Se regaron dos veces al día (8:00 am y 4:00 pm) con dos micro aspersores. Cuando las plantas tenían dos hojas verdaderas, se aplicaron de manera manual 5 g de fertilizante (Osmocote, 14%N-14%P-14%K) por tubete; además, se aplicó abono foliar (Bayfolán 30 mL/10 L de agua) una vez al mes, para suplir las necesidades de microelementos.

Obtención e inoculación de *M. exigua*

La población inicial de *M. exigua* se obtuvo de un lote de café del Centro de Investigaciones en Café (CICAFÉ) ubicado en Barva de Heredia. Los sistemas radiculares de las plantas que contenían hembras y masas de huevos se llevaron al LN-UNA para su proceso. Se extrajeron huevos por el método de Barker (1985) y juveniles con la metodología de centrifugación en flotación azucarada (Taylor y Loegering, 1953).

Los huevos y juveniles extraídos se llevaron al invernadero para ser inoculados en las unidades experimentales (tubetes con dos plantas cada uno). Para ello, se realizó un pequeño hueco de 2 cm de profundidad en el sustrato en medio de las dos plantas y se agregaron con una micropipeta 5 ml de “suspensión madre” que contenía en promedio 2 000 unidades, entre huevos y juveniles de *M. exigua*. Para el tratamiento control (sin nematodos), se inoculó agua destilada.

VARIABLES DE CRECIMIENTO EVALUADAS

Las variables de crecimiento evaluadas fueron: altura de plantas, grosor del tallo y número de hojas, tanto en los tratamientos inoculados como en el testigo, a los 120 días después de la inoculación (ddi).

Porcentaje (%) de severidad del agallamiento

Para determinar esta variable se recolectaron las plantas junto con los tubetes y se colocaron en una bolsa debidamente rotulada y sellada; luego se trasladaron al LN-UNA para su procesamiento. Cada sistema radical se lavó con agua para eliminar el sustrato adherido a las raíces y así determinar el porcentaje de severidad del agallamiento. Se utilizó el Diagrama de Infección Radical propuesto por Sañudo, Betancourth y Salazar (2003), el cual categoriza la severidad del agallamiento del sistema radical de la planta causado por *Meloidogyne* spp, conocido como “reacción del genotipo” (G), como G-0 (0%) libre de agallas-inmune (I), G-1 (1 a 10%) resistente (R), G-2 (11 a 25%) moderadamente resistente (MR), G-3 (26 a 50%) moderadamente susceptible (MS), G-4 (51 a 75%) susceptible (S) y G-5 (76 al 100%) altamente susceptible (AS).

Análisis de la población final de nematodos en raíz y sustrato

Las 15 unidades experimentales por línea de tratamiento SI y CT, se picaron en pequeños trozos de 1 cm y se procesaron mediante el método de centrifugación en flotación azucarada (Taylor y Loegering, 1953). Posteriormente, con un microscopio invertido (magnificación 10X), se contabilizó la población final de *M. exigua* en cada uno de los tratamientos. En el caso del sustrato, se homogenizó y se tomó una submuestra de 100 g de cada uno de los tubetes; luego se procesó por medio del método de tamizado y centrifugación-flotación en solución azucarada (Jenkins, 1964). Por último, se determinó la densidad poblacional de *M. exigua* en cada uno de los tratamientos inoculados.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 15 repeticiones por línea para cada tratamiento. Cada repetición fue una unidad experimental, la cual consistió en un tubete con dos plantas cada uno. Los tratamientos fueron “Inoculado” y “Sin Inocular” con cinco líneas de café derivadas de “Sarchimor T5296”: SI 27, 31, 32, 34 y 35 y la variedad CT como testigo.

Para evaluar el efecto de *M. exigua* sobre el crecimiento de las plantas (altura, diámetro del tallo, número de hojas) y el porcentaje de severidad de agallamiento por

Meloidogyne, se realizó un análisis de varianza de los datos a los 120 ddi. Se utilizó una estructura factorial de tratamientos (líneas de café e inoculación de nematodos), a través de un Modelo General Lineal (GLM) de SAS® 9.4. Además, para evaluar las diferencias entre niveles de los factores se realizó la prueba de Waller-Duncan.

También se utilizó el procedimiento GenMod de SAS® 9.4 para determinar diferencias entre tratamientos de los conteos de huevos y juveniles de *M. exigua* (poblaciones finales) en raíz y sustrato, así como la prueba de Waller-Duncan, para evaluar diferencias entre niveles.

Resultados y discusión

Variables de crecimiento de las plantas de almácigo de café

De acuerdo con el análisis de varianza, la altura, diámetro y número de hojas de las líneas SI, fueron mayores ($P < 0.0296$) que las del CT (testigo), en ambos tratamientos, tanto en el inoculado como en el no inoculado (**tabla 1**).

Tabla 1.

Análisis de las variables de crecimiento a los 120 días después de la inoculación (n=30). San Isidro de Alajuela, 2016

| Líneas de Café | Variables de Crecimiento | | | | | |
|-------------------|----------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | Altura (cm) | | Diámetro (mm) | | Número de Hojas | |
| | Inoculado | Sin Inocular | Inoculado | Sin Inocular | Inoculado | Sin Inocular |
| SI 35 | 12.50 ^A (NS) | 13.58 ^A | 2.60 ^A (NS) | 2.60 ^A | 9.27 ^{AB} (NS) | 9.53 ^{AB} |
| SI 31 | 13.20 ^A (NS) | 13.77 ^A | 2.59 ^A (NS) | 2.55 ^A | 9.10 ^{AB} (*) | 10.20 ^A |
| SI 32 | 12.45 ^A (NS) | 12.19 ^B | 2.56 ^A (NS) | 2.46 ^{AB} | 9.43 ^A (NS) | 9.57 ^{AB} |

| Líneas de Café | Variables de Crecimiento | | | | | |
|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | Altura (cm) | | Diámetro (mm) | | Número de Hojas | |
| | Inoculado | Sin Inocular | Inoculado | Sin Inocular | Inoculado | Sin Inocular |
| SI 27 | 12.08 ^{A (NS)} | 11.23 ^{BC} | 2.59 ^{A (NS)} | 2.49 ^{AB} | 8.70 ^{AB} (NS) | 8.90 ^B |
| SI 34 | 9.31 ^{B (*)} | 12.34 ^B | 2.30 ^{B (NS)} | 2.39 ^B | 8.21 ^{BC (*)} | 10.46 ^A |
| CT | 7.27 ^C (*) | 10.84 ^C | 1.97 ^{C (*)} | 2.21 ^C | 8.00 ^C (*) | 9.70 ^{AB} |
| Probabilidad | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 0.0296 | 0.0190 |
| Error Estándar | 0.5350 | 0.4336 | 0.0658 | 0.0567 | 0.3648 | 0.3257 |

Nota: Letras iguales en cada columna indican que no hay diferencias entre variedades según la prueba Waller-Duncan (razón k=100). (*) Diferencias estadísticamente significativas. NS No hubo diferencias entre los tratamientos inoculados para cada línea (SI).

Fuente: elaboración propia

Las variedades SI se diferenciaron al presentar alturas de planta entre 12.08 cm (SI27) y 12.50 cm (SI35) en el tratamiento inoculado, mientras que en el tratamiento sin inocular fueron entre 11.23 cm (SI27) y 13.77 cm (SI31). La variedad CT presentó la menor altura de planta, tanto en el tratamiento inoculado como en el sin inocular, 7.27 cm y 10.84 cm, respectivamente. Sin embargo, al comparar entre tratamientos, inoculadas contra sin inocular, la variedad CT y la SI34 presentaron reducción del crecimiento de plantas con la inoculación de nematodos.

Respecto al diámetro del tallo, en el tratamiento inoculado, las líneas SI35, SI31, SI32 y SI27 respondieron de forma igual; sin embargo, la SI34 presentó un menor diámetro que las otras SI ($P < 0.05$), pero mayor a la CT. En el tratamiento sin inocular, las líneas SI35 (2.60 mm), SI31 (2.55 mm), SI32 (2.46 mm), SI27 (2.49 mm), no presentaron diferencias significativas entre sí y fueron las líneas con los diámetros mayores. Con respecto al CT, fue la que tuvo el menor diámetro comparada con el resto de las líneas en el ensayo.



En la variable número de hojas para el tratamiento inoculado, la SI32 fue la que tuvo el valor más alto ($P < 0.05$), difiriendo con respecto a la SI34. Dicha diferencia fue de 12.9% menos hojas para la SI34. Además, CT tuvo 15% menos de hojas que SI34 ($P < 0.05$). Las plantas del tratamiento sin inocular de las líneas SI34 y SI31 tuvieron la mayor cantidad de hojas (más de 10), difiriendo significativamente ($P < 0.05$) solo de la SI27, que tuvo menos de nueve hojas por planta, con reducciones en cantidad de hojas de la SI27 versus SI34 de 14.9% y SI27 versus SI31 12.7%.

La reducción en la cantidad de hojas que presentó la CT del tratamiento “inoculado” con respecto al tratamiento “sin inocular” fue similar al que se observó en la línea SI34. Tanto la CT y SI34 fueron los tratamientos con más pérdidas en la cantidad de hojas por presencia de nematodos.

Porcentaje de severidad del agallamiento

El porcentaje de severidad reflejó qué tan agallado se encontró el sistema radical en cada una de las líneas SI. La SI35 (la menos agallada) presentó un porcentaje de 5.3% con un comportamiento de reacción del genotipo como resistente (R) a nematodos (**tabla 2**). Al observar el sistema radical de la línea SI35, se encontraron pocas agallas en las plantas inoculadas (**figura 1-A**).

La línea SI31 también mostró un comportamiento de resistente (R), con solo un 10.5% de afectación. La línea SI32 mostró un porcentaje de agallamiento de 11.2%, por lo que se categorizó como moderadamente resistente (MR) a nematodos. De acuerdo con la prueba de Waller-Duncan, la SI35, SI31 y SI32 obtuvieron bajos porcentajes de agallamiento y no mostraron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$), siendo la SI35 la mejor línea.

La línea SI27 mostró plantas con un porcentaje de severidad de 31.6%, lo que indicó que son moderadamente susceptibles (MS) (**tabla 2**) (**figura 1-D**). Finalmente, las líneas SI34 y CT presentaron un porcentaje de severidad de 59.9% y 66.4% respectivamente. Ambas, la SI34 y CT no presentaron diferencias significativas entre sí ($P > 0.05$) y se agruparon de acuerdo con la reacción de genotipo, como plantas susceptibles (S) a M.

exigua (**tabla 2**). Tanto la línea SI34 y CT, mostraron un alto porcentaje de severidad de agallamiento radical (**figura 1 E-F**).

Tabla 2.

Porcentajes de severidad por cada línea de acuerdo con el agallamiento observado en cada unidad experimental, mediante el uso de la escala planteada por Sañudo, Betancourth y Salazar (2003). San Isidro de Alajuela, 2016

| Líneas | Porcentaje de Severidad | Reacción del genotipo |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| SI35 | 5.3 ^C | Resistente (R) |
| SI31 | 10.5 ^C | Resistente (R) |
| SI32 | 11.2 ^C | Moderadamente resistente (MR) |
| SI27 | 31.6 ^B | Moderadamente susceptible (MS) |
| SI34 | 59.9 ^A | Susceptible (S) |
| CT | 66.4 ^A | Susceptible (S) |
| Probabilidad | < 0.0001 | |

Nota: Letras iguales en cada columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre líneas según la prueba Waller-Duncan (razón k = 100)

Fuente: elaboración propia

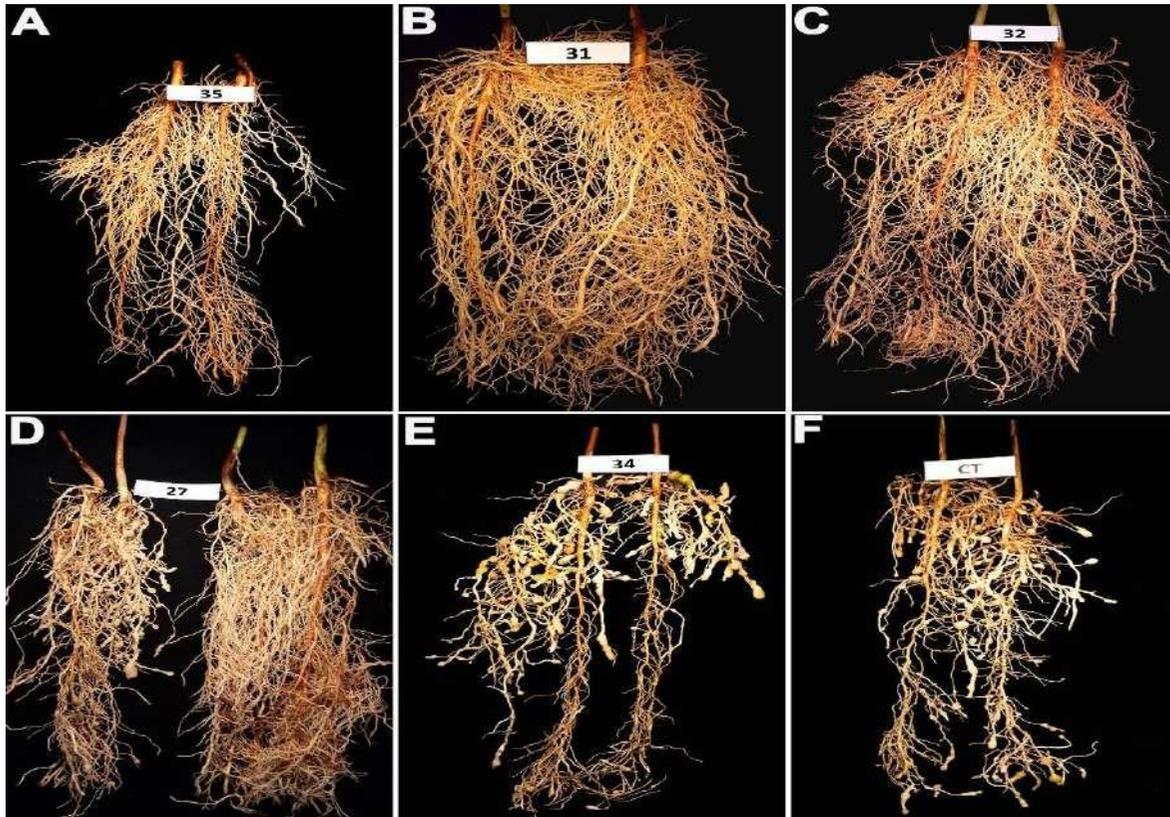


Figura 1. Sistemas radicales de café de las líneas San Isidro (SI) y Caturra (CT) (testigo), a los 120 días después de la inoculación con *M. exigua*. A. SI35, B. SI31, C. SI32, D. SI27. E. SI34, F. CT. San Isidro de Alajuela. 2016. Fuente: elaboración propia

Análisis del conteo de nematodos (juveniles y huevos)

La cantidad de juveniles tanto en raíz, como en sustrato con *M. exigua* fue diferente entre tratamientos inoculados ($P < 0.0004$). En el caso del conteo de huevos, las cantidades fueron diferentes para raíz ($P < 0.0001$), no así para los extraídos del sustrato, donde fueron iguales ($P > 0.2798$) (**tabla 3**).

Las líneas SI31, SI35 y SI32 presentaron los promedios de conteo más bajos de huevos y juveniles en raíz y sustrato. La SI35 fue la que toleró mejor la inoculación de *M. exigua* y al compararla con la CT, presentó un 72% (465) y 65% (1 132) menos de juveniles y huevos respectivamente, por lo que sí hubo una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre esta y el testigo.

Las líneas SI27 y SI34 presentaron similarmente el mayor promedio de nematodos y huevos, tanto en raíz como en sustrato (**tabla 3**). Las líneas SI27 y SI34 tuvieron 58% (342) y 143% (844) más juveniles y 79% (1372) y 149% (2 602) más huevos en promedio que la CT. La SI34 (línea que tuvo mayor cantidad de huevos y nematodos) sí presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) en raíz para juveniles, con respecto a la CT al contabilizar 844 juveniles de más. Con relación al promedio del conteo de huevos en raíz, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0.05$) aun así, la SI34 presentó 2 602 huevos de más que la CT (**tabla 3**).

Tabla 3.

Promedio de huevos y juveniles en raíz y sustrato para las líneas San Isidro (SI) y Caturra (CT) (Testigo). San Isidro de Alajuela, 2016

| Líneas | Raíz | | Sustrato | |
|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------|--------|
| | Juveniles | Huevos | Juveniles | Huevos |
| SI35 | 167.8 ^A | 608.5 ^A | 1.07 ^A | 2.53 |
| SI31 | 147.7 ^A | 697.5 ^A | 3.20 ^B | 2.47 |
| SI32 | 271.9 ^{AB} | 1162.1 ^{AB} | 1.27 ^A | 2.47 |
| SI27 | 934.9 ^{CD} | 3112.1 ^C | 3.67 ^B | 4.40 |
| SI34 | 1436.3 ^D | 4343.2 ^C | 5.27 ^B | 3.47 |
| CT | 592.3 ^{BC} | 1740.8 ^{BC} | 2.80 ^B | 2.27 |
| Probabilidad | <0.0001 | <0.0001 | 0.0004 | 0.2798 |
| Error estándar | 0.3209 | 0.2757 | 0.2521 | 0.2496 |

Nota: Letras iguales en cada columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre líneas según la prueba Waller-Duncan (razón $k=100$)

Fuente: elaboración propia

Variables de crecimiento

Las plantas de café respondieron de forma diferente en cuanto a altura, diámetro y número de hojas con la inoculación de *M. exigua*. Investigadores como Cepeda-Siller (1996) y Caillaud *et al.* (2008), mencionan que los nematodos agalladores provocan atrofia



en el funcionamiento de los reguladores de crecimiento en las raíces y parte aérea de las plantas, trastornos en la respiración celular, alteraciones del ciclo celular, afectan la síntesis de ADN y modificaciones en la síntesis de fitohormonas. Todas estas alteraciones se deben a la formación de células gigantes (agallas) que reducen el crecimiento y desarrollo de las plantas, tal y como se observó en la SI27, SI34 y CT (**figura 1**). Di Vito, Crozzoli y Vovlas (2000), encontraron en plantas de café de cuatro y diez meses de edad e inoculadas con *M. exigua*, una reducción en el crecimiento de 34 y 45% respectivamente, a diferencia de plantas sin presencia de nematodos, que tuvieron un crecimiento esperado.

En esta investigación se inocularon aproximadamente 2 000 juveniles (J_2) y huevos por tubete, alrededor de $7 J_2 + \text{huevos/cm}^3$, cantidad suficientemente alta para lograr observar como las plantas de cada tratamiento presentaron un crecimiento heterogéneo entre ellas. Por ejemplo, Ferreira (1995) encontraron reducción del crecimiento de las plantas de café en almácigo a partir de poblaciones iniciales de 16 huevos/cm^3 de suelo. Asimismo, Rojas y Salazar (2013), en una investigación realizada con *M. exigua* en Costa Rica, determinaron que con poblaciones iniciales superiores a 32 huevos/cm^3 , se generaba una reducción de alrededor del 20% en la altura y el diámetro del tallo en plantas de café.

A pesar de que en esta investigación se utilizaron poblaciones iniciales inferiores a las reportadas por los anteriores autores, la reducción del crecimiento en altura con la incorporación de $7 J_2 + \text{huevos/cm}^3$ fue de 24.5% y 32.9% para los materiales SI34 y CT respectivamente, ambas líneas, las más susceptibles del ensayo.

En el caso de la variable grosor de tallo, la CT sí mostró un efecto del tratamiento de las plantas inoculadas con respecto a las sin inocular. Esta diferencia significativa correspondió a una reducción del crecimiento de un 11%, con la inoculación de aproximadamente $700 J_2 + \text{huevos/100cm}^3$.

Las líneas SI35, SI31 y SI32 inoculadas, tuvieron mejor comportamiento en las variables medidas. En el caso de la SI35 y la SI31 fueron consideradas resistentes (R), en tanto la SI32, se comportó como moderadamente resistente (MR) a *M. exigua*. Plantas dentro de estos dos rangos de resistencia, tendrán un desarrollo normal, ya que la raíz y la



parte aérea continuarán su crecimiento normal y no serán afectadas (Gelpud, Mora y Salazar, 2011). De acuerdo con Sañudo y Betancourth (2005), materiales vegetales con resistencia o resistencia moderada, permiten un adecuado funcionamiento fisiológico de los procesos de absorción y adsorción de nutrientes esenciales y agua, sin que se afecte su crecimiento.

En la variable número de hojas, hubo diferencias con relación a la pérdida de hojas del tratamiento inoculado con respecto al sin inocular, en la línea más susceptible (SI34), así como en el testigo (CT), con reducción del 21% y 17% respectivamente. La defoliación en vivero es un síntoma muy frecuente cuando los suelos utilizados para elaborar los almácigos presentan altas poblaciones de nematodos fitoparásitos, que posteriormente parasitarán las plántulas (Araya, 1994; Hussey y Williamson, 1998). Asimismo, estos autores mencionan que tanto los viveros como plantaciones de café con poblaciones elevadas de *Meloidogyne*, pueden manifestar clorosis, raquitismo, enanismo y defoliación, entre otros.

Porcentaje de severidad del sistema radical

El parasitismo y agallamiento que provoca *Meloidogyne* en el sistema radical de plantas de café, genera que las raíces sufran alteraciones celulares con formación de células gigantes, que afectan funciones primordiales como absorción, translocación del agua y nutrientes que se encuentran disponibles en solución (Salgado, Oliveira, Silva y Campos, 2008). Por su parte, Taylor y Sasser (1983), mencionan que existe correlación entre la formación de agallas por *Meloidogyne* y la disminución del crecimiento de la parte aérea de la planta. En el ensayo, se comprobó que la SI34 y la CT fueron las que presentaron mayor incidencia y severidad de agallas, por lo tanto, también presentaron el menor crecimiento al inocularse. De acuerdo con Kirkpatrick, Oosterhuis y Wullschleger (1991), plantas hospederas de nematodos fitoparásitos endoparásitos como *Meloidogyne*, sufren cambios morfológicos debido a la formación de agallas, lo que induce a varias sintomatologías en la planta, entre ellas, falta de crecimiento, aparición de deficiencias nutricionales, heterogeneidad de plantas en el campo y marchitez en días calurosos.



En esta investigación, se homogenizó tanto el tipo de sustrato como las condiciones climáticas para todos los tratamientos y líneas; sin embargo, el porcentaje de severidad o daño fue diferente, lo que obedeció principalmente al genotipo de cada planta y a su capacidad de reprimir, retardar o evitar el efecto de *M. exigua*. Sobre este tema, Cepeda-Siller (1996) y Sharma, Haseeb y Abuzar (2006), indican que la versatilidad sobre la capacidad de tolerancia que tienen algunas plantas a nematodos está influenciada por las condiciones de temperatura, humedad, textura de suelo y principalmente por el tipo de hospedero. La genética de la planta juega un papel importante en el parasitismo y severidad reflejada.

También Davis y May (2003), coinciden en que el grado de tolerancia de los cultivares con índices de agallamiento y niveles de resistencia similares, no siempre es igual de una línea a otra, ya que existirán algunas susceptibles derivadas de un mismo patrón genético. Ejemplo de ello es la condición de moderadamente susceptible de la SI27 y susceptible de la SI34, en donde el sistema radicular de esta última línea fue el que presentó la mayor severidad de agallamiento de las líneas evaluadas. En el caso de SI35, SI31 y SI32, presentaron un comportamiento R a MR.

El comportamiento R que presentaron las líneas SI35, SI31 y SI32, se debió probablemente a una respuesta de defensa, con la activación de los genes o mecanismos que confieren la capacidad de resistencia ante nematodos fitoparásitos, no así en las líneas SI27 y SI34. En lo que se refiere a resistencia, Camacho (1991), Sandoval-Pillajo y Lomas-Arias (2007), indican que, si no hay expresión o activación de los mecanismos de respuesta en defensa de las raíces, estos determinan que haya abundantes sitios de alimentación para el nematodo, lo que favorece un alto número y tamaño de agallas que concluye con una infección radical elevada. Caso contrario, si se da la activación y respuesta de los mecanismos de defensa, se ocasiona una alteración sobre las condiciones de supervivencia y desarrollo del nematodo. Al haber disminución de sitios de alimentación, se impide que el nematodo complete su ciclo reproductivo, hay escasa formación de agallas y finalmente, un bajo porcentaje de severidad de infección radical.

Conteo de nematodos

Las líneas que mostraron densidades poblacionales considerables de *M. exigua* fueron la SI27 y SI34, es decir, según la categorización de Sañudo, Betancourth y Salazar (2003), fueron catalogadas como moderadamente susceptible (MS) y susceptible (S), respectivamente. De acuerdo con el ensayo, estas plantas presentaron altas tasas de reproducción y un exitoso desarrollo de los nematodos inoculados. Taylor y Sasser (1983), coinciden en afirmar que, aunque las plantas hospederas presenten diferentes grados de susceptibilidad ante un nematodo fitoparásito (en este caso *M. exigua*), se debe prestar mucha atención a aquellas líneas que tengan categorías de susceptibilidad alta y moderada. Estas líneas favorecen la penetración y reproducción del nematodo, con densidades poblacionales de huevos y juveniles altamente significativas. Según García (2012), el daño que se puede observar en raíz es proporcional a la cantidad de nematodos encontrados, es decir, es de esperar que un sistema radical con destrucción general y gran cantidad de agallas, presente mayores densidades poblacionales de nematodos y viceversa.

En el ensayo se observó que las líneas SI35 y SI31 resultaron ser R y la línea SI32 fue MR. Los conteos de juveniles y huevos en los sistemas radicales no fueron significativos, lo que supone que esta condición, quizás se debió a una menor tasa de penetración y multiplicación, así como a una mejor capacidad de tolerancia de la planta a la plaga. De acuerdo con Taylor y Sasser (1983), cuando una planta hospedera presenta una categoría de R a MR, no permite la reproducción del nematodo, por lo que habrá menor cantidad de agallas y será menor la cantidad de estadios infectivos que logren su desarrollo hasta la fase adulta. Sharma, Haseeb y Abuzar (2006), concuerdan en afirmar que las líneas con capacidad R y MR son más valiosas si tienen la posibilidad de reducir la reproducción del nematodo en forma positiva en el medio donde se encuentren.

Existe la posibilidad de que la planta, ante la presencia de algún fitonematodo en las raíces, active las señales de reconocimiento del agente patógeno. Entre más crece el nivel de resistencia de una planta, más aumenta el nivel de tolerancia de esta al patógeno (en este caso a los nematodos) (Sharma, Haseeb y Abuzar, 2006). Por lo tanto, las plantas de las



líneas SI35 y SI31 (R según el porcentaje de severidad), probablemente realizaron un reconocimiento ante la presencia de los nematodos inoculados.

Es oportuno agregar que el porcentaje de severidad brinda un panorama general de la capacidad de tolerancia o susceptibilidad que tienen las plantas de una línea ante el ataque del nematodo *M. exigua*. En el caso del conteo de huevos y juveniles, la capacidad de reproducción de los nematodos se mostró en cada una de las líneas utilizadas en el ensayo. Ambas mediciones (porcentaje de severidad y conteos de juveniles y huevos), son las evaluaciones más adecuadas en este tipo de ensayos. En contraste con lo descrito, Sharma, Hasseb y Abuzar (2006), mencionan que, aunque dos líneas tengan un comportamiento muy similar con respecto al porcentaje de severidad del agallamiento, la población de nematodos que se encuentra en cada una de ellas puede variar. Asimismo, el conteo de las poblaciones es una variable más detallada y la cantidad de nematodos presentes en los sistemas radicales está más ligada con la supresión del crecimiento, tanto en las raíces como en la parte aérea de las plantas.

Conclusiones

Se determinó que la inoculación de *M. exigua* en algunas líneas de plantas de café en invernadero les redujo significativamente sus variables de altura, diámetro del tallo y número de hojas. Se comprobó que las líneas SI35 y SI31 del tratamiento inoculado se comportaron como R para el porcentaje de severidad contra nematodos y en el caso de la línea SI32 se comportó como MR. Finalmente, la línea SI34 resultó ser S al igual que la testigo (CT), esta última conocida por su susceptibilidad a nematodos.

La línea más promisoría para futuras investigaciones fue la SI35, ya que mostró las características más sobresalientes, tanto en las variables de crecimiento de la planta, como en las de porcentaje de severidad, conteos de huevos y juveniles, con un comportamiento R. Es fundamental, en programas de mejoramiento de cultivos, realizar ensayos para evaluar materiales vegetales promisorios, con capacidad de resistencia o al menos tolerancia a nematodos, ya que permite identificar con exactitud cuáles líneas pueden seguir el proceso de investigación y ser llevadas al campo.

La elaboración de almácigos de café se debe de realizar con suelos libres de plagas para lograr obtener plantas más sanas, vigorosas, con mayor y mejor crecimiento y así evitar la diseminación de nematodos de un sitio a otro.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a MSc. Irena Hilje Rodríguez por la revisión del documento.

Literatura citada

Anthony, F., Topart, P., Astorga, C., Anzueto, F. y Bertrand, B. (2003). La Resistencia Genética de *Coffea* spp. A *Meloidogyne paranaensis*: identificación y utilización para la caficultura latinoamericana. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 67(1), 5-12. Recuperado de: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7620/MIPA_67_Completa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Araya, M. (1994). Sintomatología en ataques de nematodos en café. *Noticiero del café*, Costa Rica. 9 (87), 3-4.

Barbosa, D., Viera, H., Souza, R., Viana, A. y Silva, C. (2004). Field Estimates of Coffee Yield Losses and Damage Threshold by *Meloidogyne exigua*. *Nematologia Brasileira*, 28(1), 49-54. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Souza15/publication/291782278_Field_estimates_of_coffee_yield_losses_and_damage_threshold_by_Meloidogyne_exigua/links/57c7e5e908ae9d64047eae58/Field-estimates-of-coffee-yield-losses-and-damage-threshold-by-Meloidogyne-exigua.pdf

Barker, K. (1985). An advanced treatise on *Meloidogyne*. International *Meloidogyne* project. North Caroline State, United States 2, 127-134.

Bettencourt, A. y Fazuoli, L. (2008). Melhoramento Genético de *Coffea arabica* L.: Transferencia de Genes de Resistencia a *Hemileia vastatrix* do Híbrido de Timor

para a cultivar Villa Sarchí de *Coffea arabica* (en línea). Documentos IAC, Campinas, Brasil. (84), p. 20. Recuperado de: http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/doc84.pdf

Caillaud, M., Dubreiuill, G., Quentin, M., Perfus, L., Lecomte, P., de Almeida, J., Abd, P., Rosso, M. y Favery, B. (2008). Root-knot nematodes manipulate plant cell functions during a compatible interaction. *Journal of Plant Physiology*, 165(1), 104-113. DOI: 10.1016/j.jplph.2007.05.007

Calderón, K. (2017). Información sobre la precipitación de la Estación climática Tegucigalpa, Itiquis (correo electrónico). San José, Costa Rica, IMN.

Camacho, R. (1991). Reacción de tres selecciones de batata a diferentes niveles poblacionales del nematodo *Meloidogyne incognita*. (Tesis de pregrado). Maracay, Ecuador, Universidad Central de Ecuador.

Cepeda-Siller, M. (Ed.). (1996). Nematología agrícola. México, D.F.: Trillas, 1-290.

Davis, R. y May, O. (2003). Relationships Between Tolerance and Resistance to *Meloidogyne incognita* in Cotton. *Journal of Nematology*, 35(4), 411-416. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620686/pdf/411.pdf>

De Lima-Salgado, S. M. y Costa de Rezende, J. (2010). Manejo de Fitonematóides em Cafeeiro. In Rebelles-Reis, P. y Luz da Cunha, R. Café Arábica: do plantio a colheita. Minas Gerais, Brasil: Empresa de Pesquisa Agropecuaria de Minas Gerais (EPAMIG), (1), 757-804.

Di Vito, M., Crozzoli, R. y Vovlas, N. (2000). Pathogenicity of *Meloidogyne exigua* on Coffee (*Coffea arabica* L.) in post. *Nematropica*, 30(1), 55-61. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/278686587_Pathogenicity_of_Meloidogyn_e_exigua_on_coffee_Coffea_arabica_L_in_pots

- Durán, J. (2012). Diagnóstico, dinámica poblacional, caracterización bioquímica y molecular de nematodos noduladores (*Meloidogyne* spp.) en cultivos tropicales de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica Vicerrectoría de Investigación y Extensión. 1-38. Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6276/diagn%c3%b3stico-din%c3%a1mica%20poblacional-nematodos-nodulares.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elling, A. (2013). Major Emerging Problems with Minor *Meloidogyne* Species (en línea). *Phytopathology*, 103(11), 1092-1102. Recuperado de: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdfplus/10.1094/PHYTO-01-13-0019-RVW>
- Ferreira, I. (1995). Efectos del nematodo agallador *Meloidogyne exigua* sobre el crecimiento de plantas de café en vivero. *Nematologia Mediterranea*, 23(2), 325-328. Recuperado de: <https://journals.flvc.org/nemamedi/article/view/63276>
- Fontana, L., Adelaiye, R., Rastelli, A., Miles, K., Ciamporcero, E., Longo, V., Nguyen, H., Vessella, R. y Pili, R. (2013). Dietary protein restriction inhibits tumor growth in human xenograft models of prostate and breast cancer. *Oncotarget*, 4(12), 2451-2461. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3926840/pdf/oncotarget-04-2451.pdf>
- García, J. (2012). Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinoteca, Nicaragua. Tesis de Maestría. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1-76. Recuperado de: <https://agritrop.cirad.fr/569573/>
- Gelpud, C., Mora, E. y Salazar, C. (2011). Susceptibilidad de genotipos de *Solanum* spp. al nematodo causante del nudo radical *Meloidogyne* spp. (chitwood). *Acta Agronómica*, 60(1), 50-67. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v60n1/v60n1a05.pdf>

- 
- Goeldi, E. (1887). Relatorio sobre a molestia do cafeeiro na provincia do Rio de Janeiro. *Archivos do Museo Nacional*, (8), 7-123.
- Humphreys, D., Flores, L., Gómez, M., Salazar, L., Gómez, L., y Elling, A. (2014). *Meloidogyne lopezi* n. sp. (Nematoda Meloidogynidae) a new root-knot nematode associated with coffee (*Coffea arabica* L.) in Costa Rica, its diagnosis and phylogenetic relationship with other coffee-parasitising *Meloidogyne* species. *Nematology*, (16), 643-661. Recuperado de: https://brill.com/view/journals/nemy/16/6/article-p643_2.xml
- Hussey, R., y Williamson, V. (1998). Physiological and Molecular Aspects of Nematode Parasitism. In Barker K., Pederson G. y Windham G. (Eds.), Plant and Nematode Interactions. Estados Unidos de América. *Agronomy Monograph*, 87-108. Recuperado de: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr36.c5>
- Jaehn, A. (1990). Informe: Asesoría Sobre Nematodos de Café en el Área de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, IICA-PROMECAFE. 1-23.
- Jenkins, W. (1964). A rapid centrifugation-flotation technique for separating nematodes from soil. In This Week's Citation Classic (XLI, 1980, New Brunswick, Estados Unidos de América) New Jersey, Estados Unidos de América. *Plant Disease Report*, (48), 1-692. Recuperado de: <http://garfield.library.upenn.edu/classics1980/A1980KJ72900001.pdf>
- Kirkpatrick, T., Oosterhuis, D., y Wullschleger, S. (1991). Interaction of *Meloidogyne incognita* and Water Stress in Two Cotton Cultivars. *Journal of Nematology*, (23), 462-467. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2619190/pdf/462.pdf>
- López, R. (1984). Differential plant responses and morphometrics of some *Meloidogyne* spp. from Costa Rica Turrialba 34(4), 445-458

- López, R. y Salazar, L. (1989). *Meloidogyne arabicida* sp. n. (Nemata: Heteroderidae) nativo de Costa Rica: un nuevo y severo patógeno del cafeto. *Turrialba*, (39), 313-323.
- Luc, M., Sikora, R. y Bridge, J. (eds.). (1990). Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Wallingford, Inglaterra, CAB International. 1-62.
- Monroig, M. (2015). *Situación Mundial del Café*. Presentación PowerPoint. Recuperado de: https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1673/Situaci_n_Mundial_del_Caf_2015.pdf
- Peraza, W. y Orozco, M. (2018). Evaluación de arvenses como hospedantes alternos de nematodos fitoparásitos en cafetales de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 1-14. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/323417903_Evaluacion_de_arvenses_como_hospedantes_alternos_de_nematodos_fitoparasitos_en_cafetales_en_Costa_Rica
- Quijano, J. (2007). *Variedad Cuscatleco*. Santa Tecla, El Salvador: Fundación Salvadoreña para investigaciones del café (PROCAFE). Recuperado de: www.gensa.com.sv/pdf/Cafe_Cuscatleco.pdf
- Ramírez, J. (2017). Características de los Principales Grupos de Variedades de Porte Bajo con Resistencia a la Roya del Cafeto. *Comunicaciones Técnicas de Café*, (74). Recuperado de: <http://www.ramirezcaficulturadesdecostarica.com/ct-74>
- Rodríguez, L. (2011). Efeito Do Extracto de Capeba *Pothomorphe umbellata* (L.) MIQ. Na Mobilidade de Juvenis de Segundo Estadio de *Meloidogyne exigua*. Tesis Grado. Muzambinho, Brasil, Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho. 37 p.
- Rojas, M. y Salazar, L. (2013). Densidad crítica de *Meloidogyne exigua* en plantas de almácigo de café variedad Caturra. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 115-123. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v37n2/a10v37n2.pdf>

- 
- Salgado, M., Oliveira, L., Silva, R. y Campos, V. (2008). Aspectos importantes dos fitonematóides do cafeeiro. *Informe Agropecuária*, 29(247), 42-50.
- Sandoval-Pillajo, A. M. y Lomas-Arias, L. J. (2007). Incidencia, Severidad, Rango de Hospederos y Especie de Nematodo del Rosario de la Raíz (*Nacobus* sp.) en el Cultivo de Tomate de Mesa (*Lycopersicon esculentum* L.) en el Valle del Chota y Pimampiro. Tesis de Ingeniero Agropecuario, Escuela de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/189/2/03%20AGP%2042%20TESIS%20COMPLETA.pdf>
- Sañudo, B. y Betancourth, C. (2005). Fundamentos de Fitomejoramiento. Pasto, Colombia, Editorial Universitaria, Universidad de Nariño. 150 p.
- Sañudo, B., Betancourth, C. y Salazar, C. (2003). Principios de Nematología Agrícola. Pasto, Colombia, Editorial Universitaria, Universidad de Nariño. 1-65
- Sharma, A., Haseeb, A. y Abuzar, S. (2006). Screening of field pea (*Pisum sativum*) selections for their reactions to root knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 7(3), 209-214. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1419065/pdf/JZUSB07-0209.pdf>
- Souza, R. (Ed.). (2008). Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Brazil, Springer. 1-340. Recuperado de: <https://www.springer.com/gp/book/9781402087196>
- Taylor A., y Loegering, W. (1953). Nematodes associated with root lesions in abacá. *Turrialba*, 3(2), 8-13.
- Taylor, A. y Sasser, J. (1983). Biología, identificación y control de los nematodos del nudo de la raíz: (Especies de *Meloidogyne*). Raleigh, North Carolina, Estados Unidos de América, North Carolina State University Graphics.
- Villain, L., Sarah, J., Hernández, A., Bertrand, B., Anthony, F., Lashermes, P., Charmetant, P., Anzueto, F., y Dechechi, R. (2013). Diversity of root- knot
-



nematodes parasitizing coffee in Central America. *Nematropica*, (43), 194-206.

Recuperado de: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/82708>



Estudio de la calidad del agua para el caño Aguas Prietas a nivel del casco urbano - rural en el municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba, Colombia

Quality water study for the Aguas Prietas stream in rural - urban level in Cienaga de Oro, Cordoba, Colombia

Paula Andrea Castaño Ávila

Ingeniera sanitaria y ambiental

Universidad Pontificia Bolivariana

paulacastanoa10@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7646-503X>

Colombia

María Isabel Brito Alemán

Ingeniera sanitaria y ambiental

Universidad Pontificia Bolivariana

marisa_brial@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8177-7860>

Colombia

Resumen

Los caños resultan ser importantes por los bienes y servicios ambientales que prestan a las poblaciones y ecosistemas aledaños. Además, su ciclo hidrológico desempeña un papel imprescindible en la regulación hídrica de la cuenca hidrográfica que los abastece, desarrollando funciones como las de mitigación de impactos y logrando proveer de hábitats a plantas y animales. Realizar un estudio del agua del caño Aguas Prietas resulta interesante, debido a todos los parámetros físicos y químicos que se ponen a prueba para generar resultados en cuanto a la calidad del recurso hídrico estudiado. El propósito de este trabajo fue evaluar a través de parámetros fisicoquímicos la calidad del agua, así mismo considerar el riesgo hidrológico, teniendo en cuenta las características de ocurrencia natural y las posibles afectaciones por su interrelación con el medio natural y la sociedad.

Palabras clave: Gestión; recursos; demanda; ecosistema; parámetros.

Abstract

The pipes are important because of their supply of goods and the provision of environmental services to neighboring populations and ecosystems. In addition, its hydrological cycle plays an essential role in the water regulation of the river basin that supplies them, developing functions such as impact mitigation and providing habitats for plants and animals. Carrying out a study of the water from the Aguas Prietas stream is interesting, due to all the physical and chemical parameters that are tested to generate results in terms of the quality of the water resource studied. The purpose of this work was to evaluate through physical-chemical parameters the quality of the water, as well as to consider the hydrological risk, taking into account the characteristics of natural occurrence and the possible effects due to its interrelationship with the natural environment and society.



Keywords: Management; resources; demand; ecosystem; parameters

Introducción

En los últimos años, la humanidad se ha vuelto consciente de la necesidad absoluta de preservar los recursos hídricos evitando la contaminación de los mismos, sin embargo, resulta utópico alcanzar un uso racional de estos recursos naturales que, si bien, son en parte renovables, se corre el peligro de que el incremento de su uso y la contaminación superen la capacidad auto regeneradora de los mismos (Rodríguez y Espinoza, 2002; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO, 2019; Banco Mundial, 2014). El caño Aguas Prietas atraviesa el casco urbano del municipio de Ciénaga de Oro (Departamento de Córdoba, Colombia) de sur a norte, hace parte de la red fluvial que alimenta al complejo lagunar del bajo Sinú. Es importante también por la oferta de bienes y servicios que ofrece a las poblaciones y ecosistemas aledaños. Su ciclo hidrológico desempeña un papel imprescindible en la regulación hídrica de la cuenca hidrográfica de la Ciénaga Grande de Loricá, desarrollando funciones como las de mitigación de impactos por inundaciones, absorción de contaminantes, retención de sedimentos, recarga de acuíferos y proveyendo hábitats para animales y plantas, incluyendo un número representativo de especies amenazadas y en vías de extinción (Auditores, consultores y expertos independientes-AUDICON, 2007).

La problemática del caño Aguas Prietas en el casco urbano del municipio de Ciénaga de Oro radica en el vertimiento de aguas servidas y residuos sólidos, sin omitir que también su área ribereña se encuentra invadida por construcciones comerciales y residenciales, además de que ha sido afectado por intervenciones antrópicas (obras civiles tipo canales) que han afectado a su dinámica fluvial (Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y el San Jorge-CVS, 2007). Adicionalmente, es común la carencia de conciencia sobre su importancia y, en consecuencia, el posible grado de contaminación por altos niveles de eutrofización. Hacer una evaluación ambiental en términos de calidad se encuentra entonces en el soporte para la planificación, el desarrollo y el uso eficaz y razonado de todos los recursos naturales que rodean al



hombre como principal componente dentro de una comunidad que hace parte del conglomerado general. El propósito de este trabajo fue evaluar a través de parámetros físicoquímicos la calidad del agua, considerando el riesgo hidrológico, partiendo de las características de ocurrencia natural y las afectaciones por la relación directa entre naturaleza y sociedad.

Metodología

El caño Aguas Prietas tiene su origen en la zona suroriental de la cuenca del río Sinú, en el corregimiento el Cerrito, municipio Montería; sigue una dirección noreste bordeando al municipio de San Carlos hasta llegar al área de influencia de la zona oriental, recogiendo las excedencias de agua de los cauces menores formados por las montañas orientales; cambia de dirección a norte serpenteando la zona oriental y nororiental de la cuenca y, en su recorrido, bordea las poblaciones de Ciénaga de Oro, Punta Yanez, Corozalito, Arache y Chimá (**figura 1**). A partir de esta población, el caño Aguas Prietas cambia de dirección a noroeste, adentrándose a la zona norte de la cuenca donde el relieve se caracteriza por depresiones y acumulación de agua (CVS, 2007). En su recorrido atraviesa muchos cuerpos de agua y cambia de dirección oeste recogiendo el intrincado circuito de canales formados en la región más alta de la parte norte de la cuenca, bordea la población de San Sebastián hasta desembocar en el río Sinú cerca de la zona urbana del municipio de Lorica.

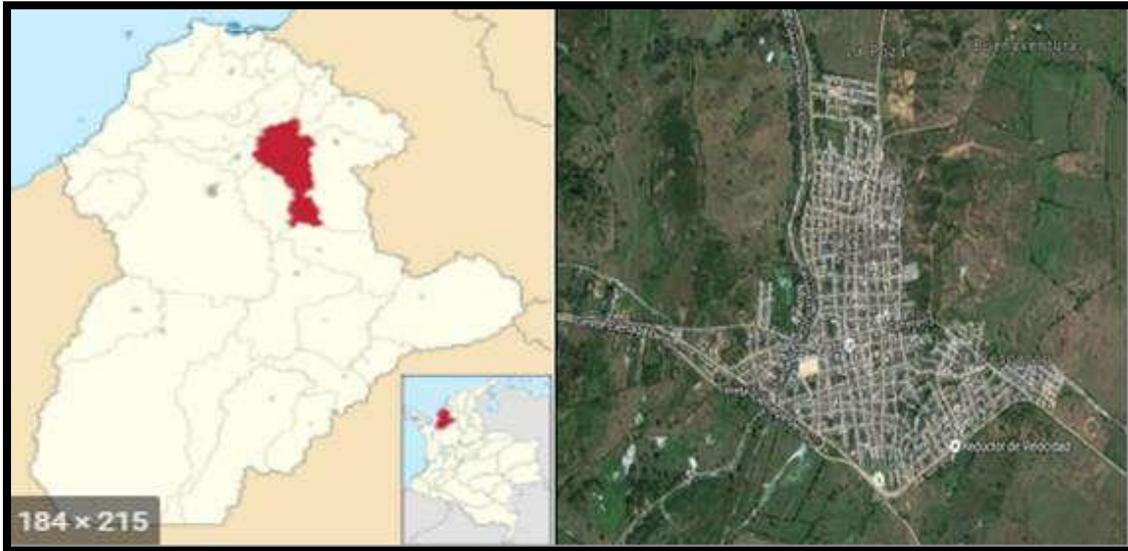


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth

El Caño Agua Prietas presenta flujo bidireccional próximo a la zona urbana del municipio de Lorica según la época del año y la operación de Urrá. El tramo en estudio forma parte del área urbana y rural del municipio de Ciénaga de Oro, fue escogido por las condiciones de contaminación que se presentan debido a la falta de cultura ciudadana y sensibilización por parte de la comunidad, así mismo este tramo es parte fundamental del paisaje del municipio.

Para determinar los condicionamientos del problema fue necesario recurrir a la normatividad existente, contar con la opinión de la comunidad que cotidianamente tiene vivencias de los caños, entender cuál es la función del caño al ser rehabilitado y la interacción con los recursos naturales en cuanto a la manera que pueden modificar los estados del hidrosistema. En general, es una actividad de recopilación de información.

De acuerdo con el recorrido realizado a lo largo de este cuerpo de agua y a sus características hidráulicas e hidrológicas, el tramo en estudio puede discriminarse en tres microzonas: a) barrio 13 de mayo (El Chorizo), b) mercado público del municipio Ciénaga de Oro y c) lagunas de oxidación en la vereda Las Palmas.



Los cuerpos hídricos se ven afectados en su gran mayoría por la agricultura, ganadería e industrias, la consecuencia de esto es por el uso de diferentes sustancias a través del esparcimiento de aguas residuales o por el arrastre de sedimentos producto de los agroquímicos en los terrenos tratados con los mismos; todo esto ocasiona pérdida en la calidad del agua induciendo diferentes efectos negativos como: Alteración de los ecosistemas acuáticos, incremento de costos del tratamiento del agua para su uso, riesgos para la salud y destrucción de zonas paisajísticas (Enshassi, Kochendoerfer y Rizq, 2014; Arocena, 2016; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2019).

El área de estudio está conformada por las viviendas aledañas al caño Aguas Prietas, contempladas en el tramo que se encuentra en la parte urbana y rural del municipio, el cual hace parte del microsistema del bajo Sinú, para un total de 6.3 km de área total (**figura 2**). El análisis se hizo dividiendo el área de estudio en tres tramos:

T1: 641 Hogares (Barrio 13 de mayo)

T2:152 Hogares (Zona alrededor del mercado público)

T3:167 Hogares (Vereda Las Palmas)

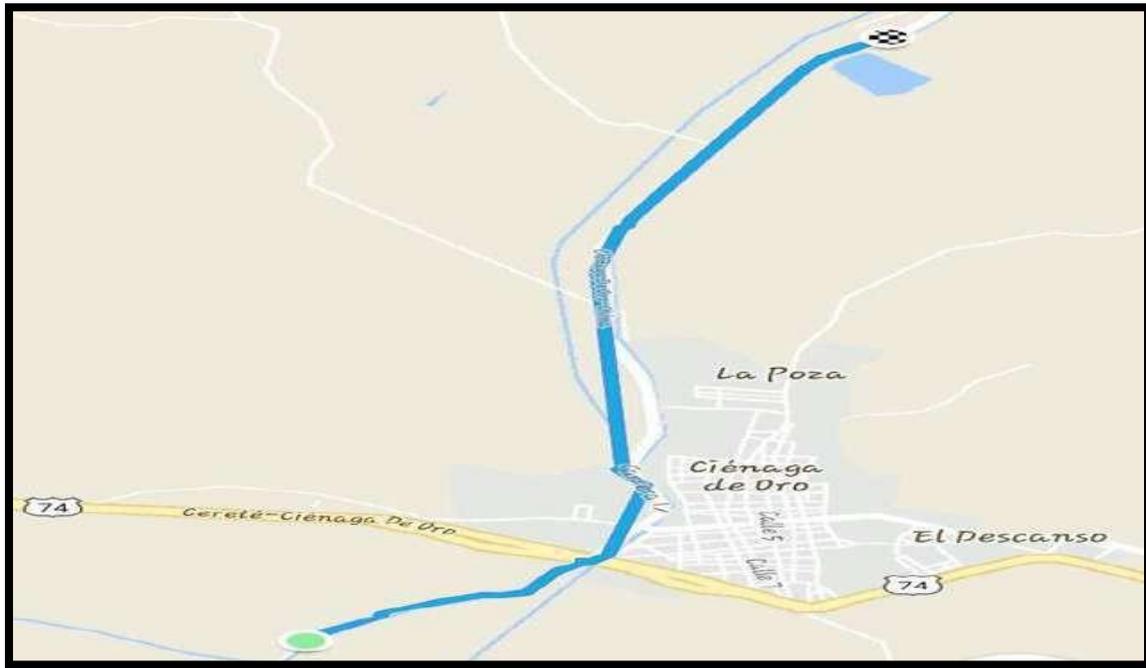


Figura 2. Distancia total del área de estudio. Fuente: Google Earth

Las aguas contaminadas influyen en cada una de las propiedades físicas y químicas, por esta razón se hace necesario implementar análisis para verificar las condiciones del agua, por lo tanto, para el tramo en estudio se decidió tomar muestras de agua en condiciones diferentes, es decir, en época de estiaje y épocas de lluvias, para efectuar comparaciones que nos permitan generar conclusiones que conlleven a lineamientos para establecer el riesgo ambiental. La procedencia, tratamiento y destino final del agua determinan la selección de parámetros a controlar, la elección depende en primer lugar de la normatividad vigente, la información existente, los criterios de tiempo, localización y su importancia como estándar de calidad (Valdes, Samboni y Carvajal, 2011; Buccheri y Comellas, 2015). No es necesario tomar una serie de parámetros, ya que se pueden considerar entre dos y n parámetros y así disminuir costos (Buccheri y Comellas, 2015). La selección se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, el cual, por criterio propio, se escogen los diferentes parámetros estudiados por facilidad de acceso y no por un criterio estadístico. Esta conveniencia es una gran facilidad operativa y significa bajos costos de muestreo. Para este estudio se determinaron los siguientes parámetros:

- pH
- Oxígeno disuelto
- Nitrito
- DBO
- DQO

El análisis de estos parámetros físicos y químicos se debe realizar a todo tipo de aguas, independientemente de su origen, los principales son: sólidos, temperatura, color, olor, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total, aceites y grasas, fenoles, pH, alcalinidad, conductividad, dureza, detergentes, entre otros (Jiménez y Barba, 2000). Por lo general, dependiendo el estudio, se escogen qué parámetros deberían ser los analizados, debido a que muchos de estos generan mayores costos de estudios, sin embargo, para la investigación se tomaron los indicados según lo registrado en la resolución 631 de 2015, la cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

El laboratorio encargado de la realización de los estudios fue Nalco de Colombia Ltda, perteneciente a la empresa Cerro Matoso S.A. Los puntos de muestreo están localizados 500 m antes (Barrio 13 de mayo) y 500 m después del tramo en estudio (Vereda Las Palmas). Las muestras en época de sequía fueron tomadas el 25 de abril de 2017 y las muestras en época de lluvia el 10 de Julio de 2017. A continuación, se presentan las coordenadas de los puntos de muestreo (**figura 3** y **figura 4**).

- ✓ Punto de muestreo 1 (antes del tramo en estudio): 8°51'58.4" N – 75°38'08.0"
- ✓ Punto de muestreo 2 (después del tramo en estudio): 8°54'48.1" N – 75°37'04.3W

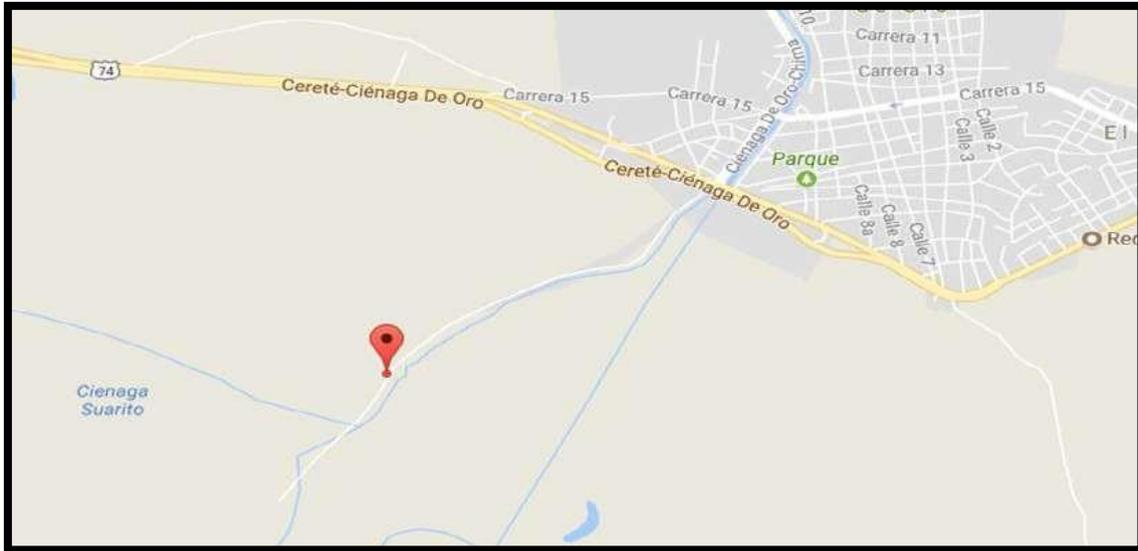


Figura 3. Punto de muestreo 1. Fuente: Google Earth



Figura 4. Punto de muestreo 2. Fuente: Google Earth

De acuerdo con el diagnóstico presentado se evidencia que los principales problemas relacionados con calidad de agua son por falta de cultura ciudadana y la poca gestión por parte de las autoridades competentes. La crisis de la disminución de la calidad del agua se hace notoria cada día; en visitas de campo se aprecia el deterioro que sobre la corriente causan los vertimientos generados por los asentamientos humanos, los



resultados arrojados a través de las encuestas evidencian un incremento alto de factores de deterioro ambiental en el tramo de estudio.

Partiendo del enfoque social y cultural de la población se encontró que el 41% de los habitantes realiza sus necesidades fisiológicas en pozos sépticos, sin embargo, a través de observación experimental se comprobó el mal estado de este tipo de tratamiento, ya que utilizan una tubería reforzada que conectan los pozos sépticos con el caño, generando así una forma inadecuada de vertimientos compuestos por fuertes olores fétidos y un color impropio del caño Aguas Prietas.

Así mismo, el porcentaje restante atribuido a un 34% que realiza sus necesidades a campo abierto, un 15% en letrinas y, por último, un 10% en el caño, siguen siendo prácticas inadecuadas; igualmente, la población le atribuye este tipo de problemáticas a la falta de gestión, dado que son zonas que se encuentran en estrato socioeconómico 1 y no cuentan con recursos necesarios para realizar el tipo de tratamiento adecuado.

Adicionalmente, no se le han ofrecido nunca capacitaciones en buenas prácticas sanitarias y ambientales. Luego de obtener los resultados de los parámetros fisicoquímicos se procedió a realizar un estudio estadístico, dado que el análisis fue aplicado para ver si existe o no una diferencia significativa en los resultados, estudiando las diferentes épocas y las diferentes muestras.

Para el análisis estadístico, se utilizaron los programas Statgraphics Centurión y Microsoft Office Excel, puesto que estas son unas excelentes herramientas con amplias capacidades gráficas. El análisis de los datos de esta investigación es de tipo relacional, donde se compararon variables de tipo numérico, que cumplen con la normalidad o se asemejan a una distribución normal. Se buscó comparar las medidas de los parámetros de dos muestras de agua, antes y después tomadas en puntos diferentes del lecho del caño. La intención de este análisis fue medir si existe diferencia estadísticamente significativa entre las medidas tomadas en los diferentes puntos del caño. Estas muestras fueron tomadas en épocas de estiaje y de lluvias.

Se buscó evaluar la existencia de desigualdades significativas de las variables fisicoquímicas, que se presentan en el tramo de estudio situado desde el barrio 13 de mayo hasta la vereda las Palmas, se ejecutaron varias pruebas estadísticas y gráficas para el parangón de las muestras. Se fue analizado por diferencia en las muestras y diferencia en las épocas estudiadas. Para todos los análisis estadísticos, el criterio de significancia se establece a $p < 0.05$.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados con sus respectivos análisis. Las medidas de los diferentes parámetros se registran en la **tabla 1**, **tabla 2** y **tabla 3**, donde podemos ver que existe poca o casi ninguna variación entre las muestras al momento de medir dichos parámetros.

Muestra E1 – L1: Muestras tomadas antes del tramo en estudio

Muestra E2 – L2: Muestras tomadas después del tramo

Tabla 1.

Evaluación de parámetros en diferentes épocas

| Parámetros | Época de Estiaje | | Época de Lluvias | |
|------------------|------------------|------------|------------------|------------|
| | Muestra E1 | Muestra E2 | Muestra L1 | Muestra L2 |
| pH | 6.96 | 6.98 | 6.74 | 6.76 |
| Oxígeno disuelto | 7.8 | 7.9 | 4.4 | 4.46 |
| Nitritos | 0.025 | 0.026 | 0.027 | 0.028 |
| DBO | 39 | 40 | 121 | 120 |
| DQO | 91 | 92 | 333 | 332 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 2.*Evaluación de parámetros en época de estiaje*

| Época de Estiaje | | | | | |
|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|------------|------------|
| Parámetros | | | | | |
| | pH | Oxígeno disuelto | Nitritos | DBO | DQO |
| Muestra E1 | 6.96 | 7.8 | 0.025 | 39 | 91 |
| Muestra E2 | 6.98 | 7.9 | 0.026 | 40 | 92 |
| Promedios | 6.97 | 7.85 | 0.0255 | 39.5 | 91.5 |
| Diferencias | 0.02 | 0.1 | 0.001 | 1 | 1 |

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.*Evaluación de parámetros en época de lluvias*

| Época de Lluvias | | | | | |
|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------------|------------|------------|
| Parámetros | | | | | |
| | pH | Oxígeno disuelto | Nitritos | DBO | DQO |
| Muestra L1 | 6.74 | 4.4 | 0.027 | 121 | 333 |
| Muestra L2 | 6.76 | 4.46 | 0.028 | 120 | 332 |
| Promedios | 6.75 | 4.43 | 0.0275 | 120.5 | 332.5 |
| Diferencias | 0.02 | 0.06 | 0.001 | -1 | -1 |

Fuente: elaboración propia

La diferencia del parámetro pH de la muestra de agua tomada en la época de estiaje es 0.02, es decir, una diferencia mínima. Lo mismo ocurre con el resto de los parámetros, tanto en época de estiaje como de lluvia, sin embargo, podemos observar que el parámetro que más presenta variación es el oxígeno disuelto con una diferencia de 0.06 (**figura 5**).

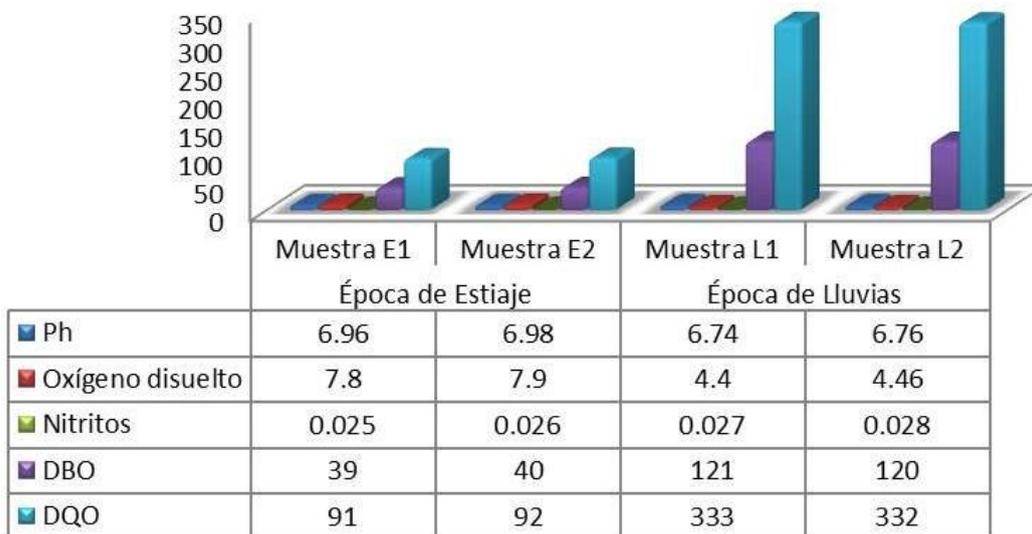


Figura 5. Medida de los parámetros en las diferentes épocas. Fuente: elaboración propia

Aplicaremos la prueba t de student con el fin de realizar el test de comparación de medias, obteniéndose los resultados de la siguiente tabla. Con la prueba t se buscó probar la hipótesis de que las medias de las muestras E1 y E2 y las muestras L1 y L2 eran diferentes (**tabla 4**).

Tabla 4.

Diferencia de medias

| Diferencia de medias para las muestras en las diferentes épocas | | | | |
|--|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Época de estiaje | | Época de lluvias | |
| | Muestras E1 y E2 | | Muestras L1 y L2 | |
| Prueba | Estadístico | Valor-P | Estadístico | Valor-P |
| t de student | -0.01763 | 0.986365 | 0.004237 | 0.996723 |

Fuente: elaboración propia

No obstante, como los valores-p de las distribuciones son mayores que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, entonces, no existe evidencia estadística de rechazar la idea de que las medias de las muestras sean similares con una confianza del 95%, lo que indica

que existe una equivalencia estadísticamente significativa entre cada par de muestras analizadas (**figura 6**).

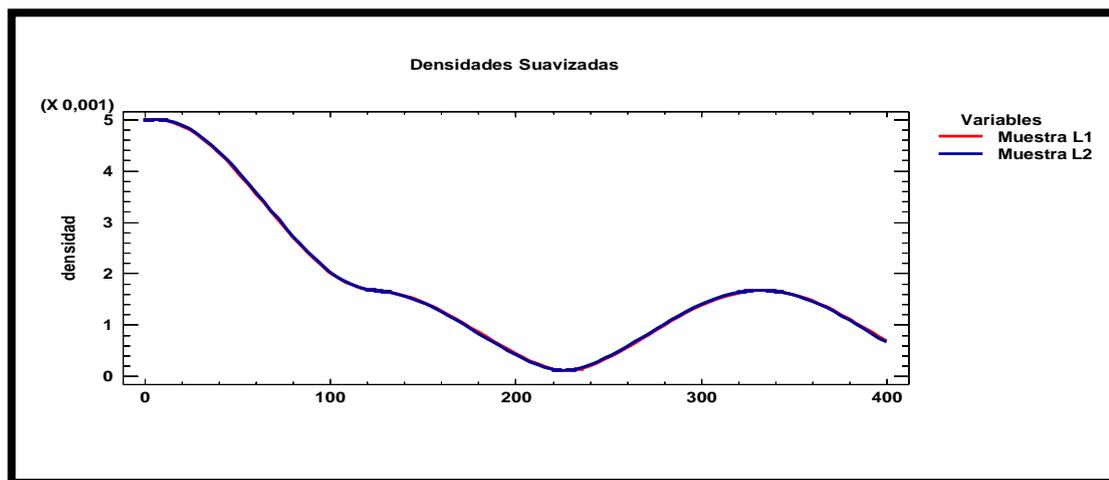


Figura 6. Densidades. Fuente: elaboración propia

Analíticamente, no existen diferencias entre las muestras estudiadas, pero, de forma gráfica, se observan pequeñas variaciones entre las muestras, lo cual también se notó en las tablas anteriores. Se observa también que las muestras de agua de la época de estiaje presentan una mayor diferencia en sus parámetros que las de la época de lluvias. La gráfica de densidades suavizadas ilustra, de manera precisa, este hecho. A continuación, se presenta el análisis estadístico para verificar las diferencias entre épocas (**tabla 5**).

Tabla 5.

Diferencia promedio de los parámetros de época de estiaje y época de lluvias

| Parámetros | Estiaje | lluvias | Diferencia promedio |
|-------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| pH | 6.97 | 6.75 | 0.22 |
| Oxígeno disuelto | 7.85 | 4.43 | 3.42 |
| Nitritos | 0.0255 | 0.0275 | -0.002 |
| DBO | 39.5 | 120.5 | -81 |
| DQO | 91.5 | 332.5 | -241 |

Fuente: elaboración propia

Comparación de Dos Muestras - lluvias y estiaje

Muestra 1: lluvias

Muestra 2: estiaje

Muestra 1: 5 valores en el rango de 0.0275 a 332.5

Muestra 2: 5 valores en el rango de 0.0255 a 91.5

Este procedimiento se diseñó para comparar dos muestras de datos. Calculando diferentes estadísticas y gráficas para cada una de las muestras y ejecutando distintas pruebas para establecer si hay diferencias estadísticamente características entre las dos muestras (**tabla 6**).

Tabla 6.

Resumen estadístico

| | Lluvias | Estiaje |
|---------------------------|----------------|----------------|
| Recuento | 5 | 5 |
| Promedio | 92.8415 | 29.1691 |
| Desviación estándar | 143.217 | 38.0412 |
| Coefficiente de variación | 154.259% | 130.416% |
| Mínimo | 0.0275 | 0.0255 |
| Máximo | 332.5 | 91.5 |
| Rango | 332.473 | 91.4745 |
| Sesgo estandarizado | 1.50947 | 1.36725 |
| Curtosis estandarizada | 1.08122 | 0.782927 |

Fuente: elaboración propia

Los valores estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican variaciones específicas de la normalidad, lo que tendería a anular las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos resultados de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

Comparación de medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de lluvias: 92.8415 +/- 177.827 [-84.9859; 270.669]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de estiaje: 29.1691 +/- 47.2345 [-18.0654; 76.4036]

Intervalos de confianza del 95.0% para la diferencia de medias, suponiendo varianzas iguales: 63.6724 +/- 152.818 [-89.1453; 216.49]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media 1 = media 2

Hipótesis Alt.: media 1 \neq media 2

Suponiendo varianzas iguales: $t = 0.960812$ valor-P = 0.364783

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$

Estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso la suposición es cuestionable puesto que los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar sugieren que pueden existir diferencias significativas entre ellas (**tabla 7**).

Tabla 7.

Comparación de desviaciones estándar

| | lluvias | Estiaje |
|---------------------|---------|---------|
| Desviación estándar | 143,217 | 38,0412 |
| Varianza | 20511,0 | 1447,13 |
| Gl | 4 | 4 |

Fuente: elaboración propia

Razón de Varianzas = 14.1736

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de lluvias: [85.8058; 411.541]

Desviación Estándar de estiaje: [22.7917; 109.313]

Razones de Varianzas: [1.47572; 136.13]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 14.1736 valor-P = 0.0249151

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$

En este caso, la prueba se ha construido para establecer si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1.0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Estadístico DN estimado = 0,4

Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 0,632456

Valor P aproximado = 0,818621

Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realizó calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0.4. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un 95.0% (**figura 7** y **figura 8**).

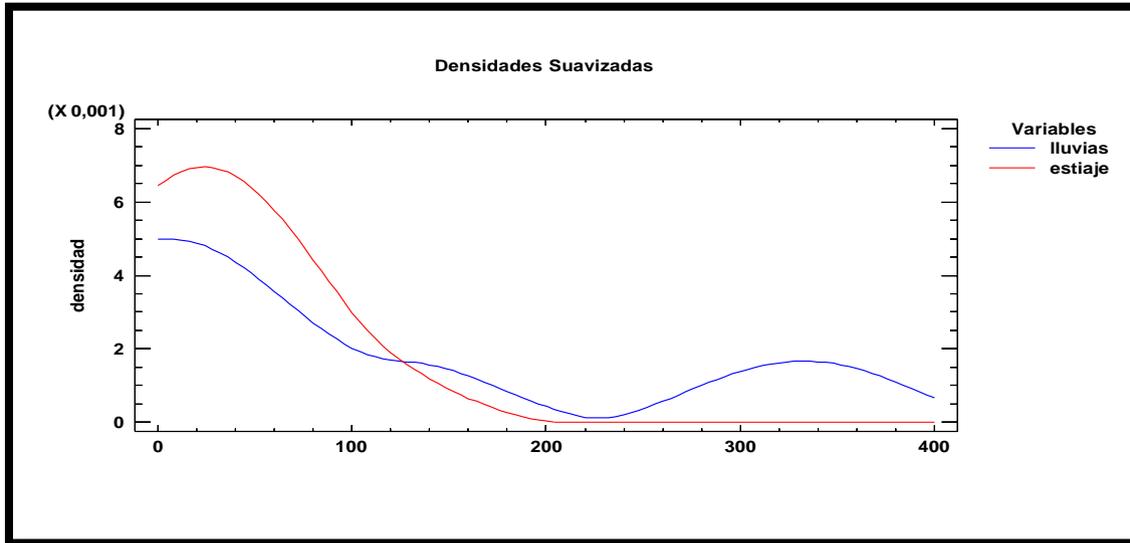


Figura 7. Densidad suavizada. Fuente: elaboracion propia

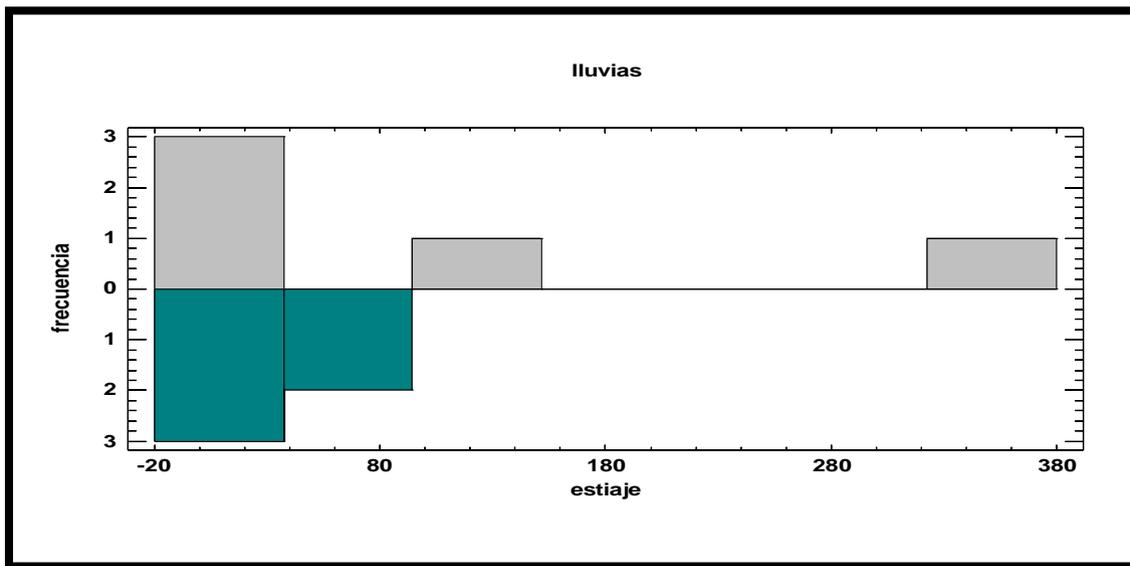


Figura 8. Densidades suavizadas lluvias. Fuente: elaboración propia

La diferencia entre épocas es notoria, gráficamente las muestras presentan una diferencia lo suficientemente grande para generar posibles causas de la variación de cada parámetro. En época de lluvia existen la mayor variabilidad, razón por la cual se procedió a realizar un estudio más detallado, estudiando cada parámetro individualmente y las posibles causas de algunas variaciones presentadas, generando así conclusiones basadas en diferentes puntos de vistas analíticos.



Se considera que, al momento de realizar el muestreo en estiaje, el caudal de agua no evidenció toda la carga contaminante producto de las aguas de la laguna de oxidación y de los productos contaminantes que se vierten en el barrio 13 de Mayo y el Mercado público, todos estos contaminantes posiblemente quedan como materia orgánica fecal sedimentada mucho antes del punto donde se tomaron las respectivas muestras, debido a que no se evidencia un arrastre significativo, el cual se comprueba por la poca capacidad de amortiguamiento del caño en el tramo de estudio, el estancamiento de residuos sólidos en las orillas del caño y alta presencia de maleza acuática, lo que origina que los sólidos se sedimenten.

Lo contrario ocurre en época de lluvias, donde se encontraron valores de 121 y 120 mg/L de DBO, observando un caudal lo suficientemente fuerte para el arrastre de todas las cargas contaminantes, incluso hasta el arrastre de lodos. Se pudo evidenciar el arrastre de residuos sólidos alrededor de todo el caño, fuertes olores fétidos y un color mucho más oscuro en comparación con el que se observó en época de estiaje, significando esto valores altos de DBO y una alta carga contaminante en este tipo de aguas.

Se hace necesario saber cuánta materia orgánica biodegradable está presente en este tramo en estudio, por lo que se obtuvo información acerca de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos. Una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad está dada por la relación de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno (Hernández, 1992). Así se tiene que:

$$0.2 < (DQO/DBO5) < 0.4 \text{ es biodegradable}$$

Es preciso mencionar que la biodegradabilidad no es una propiedad intrínseca de las aguas residuales, sino que depende en gran medida de la población microbiológica a la que ellas se enfrenten, ya que esta población microbiológica es la que realizan la tarea degradadora en el correspondiente análisis de DBO (Muñoz *et al.*, 2012). Partiendo de los valores arrojados en el estudio para este parámetro, fue necesario realizar una relación DBO/DQO, para así determinar el porcentaje de DBO que pertenece a la DQO (**tabla 8**).

Tabla 8.

Relación DBO/DQO

| Parámetro | DBO | DQO | DBO/DQO |
|----------------------|------------|------------|----------------|
| E. Estiaje (antes) | 39 | 91 | 0.42857143 |
| E. Lluvias (antes) | 121 | 333 | 0.36336336 |
| E. Estiaje (después) | 40 | 92 | 0.43478261 |
| E. Lluvias (después) | 120 | 332 | 0.36144578 |

Fuente: elaboración propia

La relación DBO/DQO para las condiciones de estiaje (antes) y época de lluvia (después) es muy alta, lo que demuestra que puede haber algún factor que esté incrementando la carga orgánica en el sistema, el cual no pudo ser identificado por medio de la caracterización ni a través de las encuestas realizadas o las respectivas visitas al sector aledaño al caño, sospechando de esta forma los aportes de otras sustancias no biodegradables que están afectando la fuente natural.

Conclusiones

- La microcuenca del caño Aguas Prietas presenta una problemática sobre todo en su eje correspondiente a la ciudad de Montería y esto conlleva a una disminución de la calidad ambiental de los ecosistemas y de las poblaciones vecinas.

- Las poblaciones localizadas en el área perimetral del caño son poblaciones vulnerables debido a sus bajos ingresos económicos, condiciones sanitarias ineficientes, bajo nivel de escolaridad y poca gestión por parte de las autoridades competentes.

- El caño Aguas Prietas no presenta niveles altos de contaminación con respecto a la calidad del recurso hídrico, sin embargo, según los criterios establecidos mediante la investigación realizada en campo y las respectivas encuestas, el caño presenta problemas con su calidad física en cada uno de los tramos analizados, ya que se pudo evidenciar el deterioro de la corriente por parte de aportes de residuos sólidos y aguas residuales, teniendo en cuenta que, en la parte urbana el caño, este presenta acumulación de sedimentos que impiden el flujo normal del agua con una velocidad necesaria para el



arrastre de materia orgánica, siendo esta la principal causa del porqué en el sitio de muestreo el agua no llega con niveles altos de contaminación.

- A través del trabajo realizado en campo se pudo evidenciar el estado de cada uno de los tres tramos estudiados, concluyendo así que el tramo 1, que corresponde al barrio 13 de mayo o comúnmente llamado “El Chorizo”, es quien genera mayor incidencia de contaminación sobre el caño Aguas Prietas, en el casco urbano rural del municipio de Ciénaga de Oro. Lo anterior se debe a que este tramo no cuenta con los servicios básicos de saneamiento, generando así falta de cultura ciudadana por parte de los habitantes de este sector, debido a que no cuentan con capacitaciones en prácticas sanitarias y medioambientales, lo cual es preocupante debido a que el estado en que se encuentra este sector se relaciona con falta de higiene y salud pública.

- Algunos parámetros fisicoquímicos se vieron alterados posiblemente por cambios de temperatura o por procesos naturales de sedimentación, debido a que por lo general las corrientes, al llegar a cuerpos de aguas lénticos como lo son las ciénagas, lagunas o esteros, reducen considerablemente la velocidad de flujo y los sedimentos que van transportados en suspensión se van decantando, formando acumulaciones que obstruyen el paso libre del agua y, por ende, una alteración de la calidad real del agua.

- Es evidente el riesgo ambiental presente en el caño Aguas Prietas relacionado con factores naturales (épocas fuertes de sequías y de inundaciones) y factores antrópicos (residuos sólidos en el caño, residuos líquidos domésticos, agroindustria y detergentes), que constituyen primordialmente una amenaza para la salud humana y para los ecosistemas debido a la presencia de sustancias tóxicas, inflamables e, incluso, cancerígenas.

Literatura citada

Arocena, R. (2016). Principios y métodos de limnología. Montevideo. *DIRAC*, (2), 4-6.

Audidores, consultores y expertos independientes-AUDICON. (2007). Rehabilitación hidráulica de los caños Bugre y Aguas Prietas. Primer informe, Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge-CVS. Montería.

- 
- Buccheri, M. y Comellas E. (2015). *Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la Gestión Integral de Recursos Hídrico*. Instituto Nacional del Agua. Recuperado de: <https://estrucplan.com.ar/indicadores-para-el-monitoreo-y-evaluacion-hacia-la-girh/>
- Banco Mundial. (2014). *Gestión de los recursos hídricos: Resultados del sector*. Banco Mundial: BIRF AIF. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile>
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge-CVS. (2007). *Rehabilitación de los caños Bugre y Aguas Prietas*. Montería.
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B. y Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29 (3), 1-18. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000300002
- Hernández, A. (1992). *Depuración de Aguas Residuales, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, Madrid, España: rev. i aug
- Jiménez, A. y Barba, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2 (23), 12-19. Recuperado de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Muñoz, H., Suárez, J., Vera, A., Orozco, S., Batlle, J., Ortiz, A. y Mendiola, J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (1), 27-38. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a3.pdf>



Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. (2019). *No dejar a nadie atrás*. Recuperado de: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

Resolución 631, 2015. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015. Recuperado de: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>

Rodríguez, M. y Espinoza, G. (2002). *Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019857/Gestionambiental en A.L.yelC/GestionAmb.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019857/Gestionambiental%20en%20A.L.yelC/GestionAmb.pdf)

Valdes-Basto, J., Samboni-Ruiz, N. y Carvajal-Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un Indicador de la Calidad del Agua usando Estadística Aplicada, Caso de Estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *Revista Tecno Lógicas*, (26), 1-10. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n26/n26a10.pdf>

La innovación en las pequeñas y medianas empresas industriales de Montería, Córdoba, Colombia (2013-2018)

Innovation in small and medium-sized industrial companies in Monteria, Cordoba, Colombia (2013-2018)

Iván Darío Sepúlveda Calderin

Administrador de empresas

Universidad Pontificia Bolivariana

ivandarios200@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8372-5394>

Colombia

Patricia Milena Cassab Martínez

Magister en innovación para el desarrollo empresarial

Universidad Pontificia Bolivariana

patricia.cassab@upb.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-1873-485X>

Colombia

Nicolás Ganem Espinosa

Administrador de empresas

Universidad Pontificia Bolivariana

nicolas_ganem@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8377-2521>

Colombia

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue identificar los tipos de innovación de las pequeñas y medianas empresas industriales (PYMEs) del municipio de Montería, en el período 2013-2018. Se utilizó una metodología de enfoque cualitativo de tipo descriptivo con técnicas de recolección de datos encuestas con preguntas abiertas y cerradas para una muestra de 26 PYMEs. Como principal resultado se encontró que el 34% de las PYMEs aplican un tipo de innovación semi-radical, orientada a mejoras en el modelo de tecnología con la implementación de cambios o avances tecnológicos para la mejora de productos y procesos, mientras que un 35% de estas, hacen mejoras en el modelo de tecnología y de negocio, pero a pequeñas escalas necesarias a situaciones que le exige el entorno.

Palabras clave: Matriz de innovación, PYMEs, Tecnología, Negocio, Tipo de Innovación

Abstract

The objective of this research was to identify the innovation types of small and medium-sized industrial enterprises (SMEs) in the municipality of Montería in the period 2013-2018. A qualitative and descriptive approach methodology was used with data collection techniques, surveys with open and closed questions for a sample of 26 SMEs. As the main result, it was found that 34% SMEs applies a type of semi-radical



innovation aimed at improvements in the technology model with the implementation of changes or technological advances to improve products and processes, while 35% of these make improvements in the technology and business model, but on small scales, necessities to situations that the environment demands.

Key words: Innovation matrix, SMEs, Technology, Business, Kind of innovation

Introducción

Esta investigación nació de la necesidad de estudiar las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) industriales del municipio de Montería, ya que estas son empresas que mantienen un tradicionalismo con enfoque de modelos familiares, donde no buscan un cambio o una innovación por estar conformes con su modelo de negocio actual. Esta situación genera una incógnita al no conocer como sobreviven las empresas ante eventuales crisis económicas, como la crisis financiera mundial del 2008, la cual provocó cierres de empresas y caídas económicas en distintos países (Anónimo, 2008). En este contexto, este artículo plantea como proposición teórica que hay una necesidad manifiesta de innovar y adaptarse a nuevos entornos cuando se presentan crisis económicas.

Según el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT, 2019), una PYME es entendida como el grupo de Micro, Pequeña y Mediana Empresa donde su personal es de menos de 10 trabajadores y máximo 200, con unos activos hasta los 15,000 salarios mínimos mensuales legales vigentes, esto basado en la Ley 590 para el fomento de la micro, pequeña y mediana empresa.

Una PYME industrial es la cual compra bienes o materias primas y los vende luego de una transformación, estas empresas se caracterizan por la utilización de tecnología, maquinaria y demás herramientas que le facilitan la finalidad, la cual es la transformación para comercializar el producto final.

Las PYMEs industriales del municipio de Montería en momentos de crisis se ven estancadas o no logran avanzar, la innovación no es vista como uno de sus pilares fundamentales porque se continúa con el tradicionalismo, mirando la innovación solo como la actualización de maquinaria y equipo.

Para este proyecto se tomó como referencia la teoría de Dávila, Epstein y Shelton (2005) en su libro *Making Innovation Work*, donde se explican los tipos de innovación que se aplican en las empresas. Este libro permitió ahondar en los tipos de innovación que



aplican las PYMEs en Montería y ayudó a comprender la situación que se evidencia en muchas PYMEs industriales del municipio de Montería.

Según Dávila *et al.* (2005), la innovación se define como un cambio nuevo para la empresa, lo que quiere decir que, cada vez que una organización replantea su modelo de negocio, lo hace cambiando o agregando nuevos productos, esto permite una apertura a nuevos mercados y a un mejor aprovechamiento de los recursos. De igual manera, el añadir tecnologías de punta que favorezcan la reducción de los tiempos de la cadena de producción es beneficioso para la empresa y puede ser una innovación favorable para estas empresas que se dedican a la transformación.

Mulet (2005) comenta que la innovación es todo cambio que genera un valor; esta definición hace referencia al valor añadido a procesos, productos o servicios y la forma como a partir de esos cambios puede mejorar la gestión. En este contexto, se refiere a un proceso complejo, que muestra a un mercado nuevas ideas y nuevos métodos de producción generados por la empresa, apoyados en conocimientos previos que revelen cambios que aporten valor.

Las ideas que normalmente generan valor son de tres tipos, a saber: comerciales, organizativas y tecnológicas. Las comerciales nacen del conocimiento comercial y se caracterizan por ser innovaciones lentas, sin dejar de ser importantes; por su parte, las innovaciones organizativas y tecnológicas son las de mayor importancia, en razón de que se pueden obtener mayores y mejores resultados a la hora de aplicarlas (Mulet, 2005; Velázquez, 2017).

Por su parte, en el manual de Oslo (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos-OECD y Oficina Europea de Estadística-Eurostat, 2005), se define a la innovación como la introducción de un producto nuevo (bien o servicio) o significativamente mejorado, de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores.



Por lo tanto, la innovación es la introducción de un nuevo producto o significativamente mejorado, ya sea un bien o servicio; puede también basarse en procesos o métodos de mejora que pueden aplicar la empresa en sus prácticas internas; la OECD habla de que una innovación puede ser definida como la introducción de una o más innovaciones (OECD y Eurostat, 2005).

Retomando a Dávila *et al.* (2005) explica los tres tipos de innovaciones: incremental, semi-radical y radical. La primera, que es la innovación incremental, conduce a pequeñas mejoras o cambios en productos existentes y procesos empresariales, es decir, se orienta al modelo de negocios o la tecnología de la empresa. Se puede ver como un ejercicio de resolución de problemas con un objetivo claro. Es el tipo de innovación que más se evidencia en la mayoría de las empresas y destinan en promedio un 80% a innovar.

La innovación semi-radical puede proporcionar cambios cruciales para el entorno competitivo que una innovación incremental no logra. Implica un cambio sustancial en el enfoque del modelo de negocio o la tecnología de una organización, pero no a ambos (Dávila *et al.*, 2005; Yrigoyen, 2013).

La innovación en las PYMEs no debe estar limitada por los recursos financieros o humanos, al contrario, estas empresas tienen mayor posibilidad de permitir a sus empleados generar ideas para la mejora de productos o procesos. De igual manera, los empleados tienen un contacto directo con el cliente, lo que permite que exista un proceso de cocreación entre ellos, donde el usuario pueda sugerir mejoras y diseños a la empresa; si bien es cierto que no son una innovación disruptiva, puede que pequeñas innovaciones generen mayores impactos y beneficios en la empresa (Proenca y Jiménez, 2020).

Por su parte, Suárez (2018), indica que las características de una Empresa Innovadora son las siguientes:

- Tener una estrategia de innovación definida
- Tener visión para identificar y anticipar las tendencias del mercado
- Capacidad para obtener, asimilar y aplicar información tecnológica y económica

- Aptitud para lograr la cooperación interna (en toda su estructura funcional) y externa (con los centros de investigación, de educación superior, de asesoría, clientes, pro-veedores y otros)
- Predisposición y aceptación del cambio
- Interés constante por la superación profesional de todo el personal

Una innovación radical es un cambio significativo que afecta simultáneamente tanto al enfoque de modelo de negocio como a la tecnología de una empresa. Las innovaciones radicales suelen traer cambios fundamentales al entorno competitivo en una industria, debido a que plantea la consecución de objetivos y razón de ser la organización. Son muy pocas las empresas que hacen este tipo de innovación debido al gran riesgo y a los grandes costos que estos puedan implicar. En la **figura 1** se muestran los modelos y tipos de la Matriz de innovación expuesta por Dávila *et al.* (2005).

Matriz de innovación

| | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Tecnología | Nueva | Semi-Radical | Radical |
| | Cercana a existir | Incremental | Semi-Radical |
| | | Cercana a existir | Nueva |

Modelo de negocios

Figura 1. Matriz de innovación. Fuente: Dávila *et al.* (2005)

Metodología

Enfoque y tipo de investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, teniendo en cuenta que según Bonilla-Castro y Rodríguez-Sehk (2005, p.320), “La investigación cuantitativa es una forma estructurada de recopilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes, además, implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados”.



El tipo de investigación que se usó es el descriptivo, ya que se basa en aclarar las características de la población la cual se está estudiando, apoyado en la estadística descriptiva. Este enfoque utilizó encuestas a las empresas por medio de recolección de datos que nos permitieron conocer el tipo que tienen las PYMEs industriales de Montería. Este método se aplicó en una población de 29 PYMEs industriales registradas en la Cámara de Comercio de Montería durante 2018, cuya actividad es la fabricación, elaboración y procesamiento de productos. La herramienta de investigación utilizada fue una encuesta con preguntas abiertas y cerradas, desarrollada en base a las teorías de Dávila *et al.* (2005) y el planteado por OCDE y Eurostat (2005) en el Manual de Oslo.

Fuentes de investigación, técnicas e instrumentos

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron fuentes primarias y secundarias. Como fuente de información primaria se diseñó una encuesta que permitió captar información de las PYMEs industriales del municipio de Montería registradas en la Cámara de Comercio de Montería durante 2018.

Por otra parte, las fuentes secundarias utilizadas en el desarrollo de la investigación fueron: libros, tesis de grado y demás documentos de internet depositados en bases de datos especializadas.

Encuesta

Para la recolección de los datos del presente estudio se seleccionó como técnica para la recolección de la información una “encuesta”, la cual fue desarrollada mediante Google Forms® y con las herramientas de esta misma plataforma se procesó la mayor parte de los datos haciendo uso de la estadística descriptiva. La encuesta constó de nueve preguntas, incluyendo preguntas de la información general de la empresa, para identificar los tipos de innovación y otras para conocer la implementación de la innovación. Estas preguntas fueron respondidas por gerentes o personal administrativo de la gerencia (Anexo 1).

Revisión documental

El uso de bases de datos especializadas estuvo articulado en el proceso de investigación a la revisión de documentación. “En todo proceso de indagación lógica es frecuente, cuando no habitual, que en la fase inicial el investigador presente con vaguedad el objeto de estudio o se le dificulte incluso su enunciación” (Valencia, 2003). En este caso, para tener claro el tema a tratar, se hizo revisión de libros de autores reconocidos, sobre los tipos de innovación y el grado de innovación y algunos artículos científicos.

Población y muestra

La población para esta investigación estuvo conformada por 29 PYMEs industriales del municipio de Montería registradas en Cámara de Comercio al año 2018 y la muestra obtenida, después de haber aplicado la fórmula, el tamaño de la muestra fue de 26 PYMEs industriales. Cabe resaltar que, de las tres empresas restantes, una de ellas cerró sus operaciones y las otras dos se negaron a compartir su información (**figura 2**).

La fórmula aplicada para determinar la muestra:

$$n = \frac{NZ^2pq}{NE^2 + Z^2pq}$$

Dónde:

n = tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza (1.96)

p = Probabilidad de que el evento ocurra

q = Probabilidad de que el evento no ocurra

E = Error estadístico (0.06 o 6%)

N = tamaño de la población

Fases de la investigación

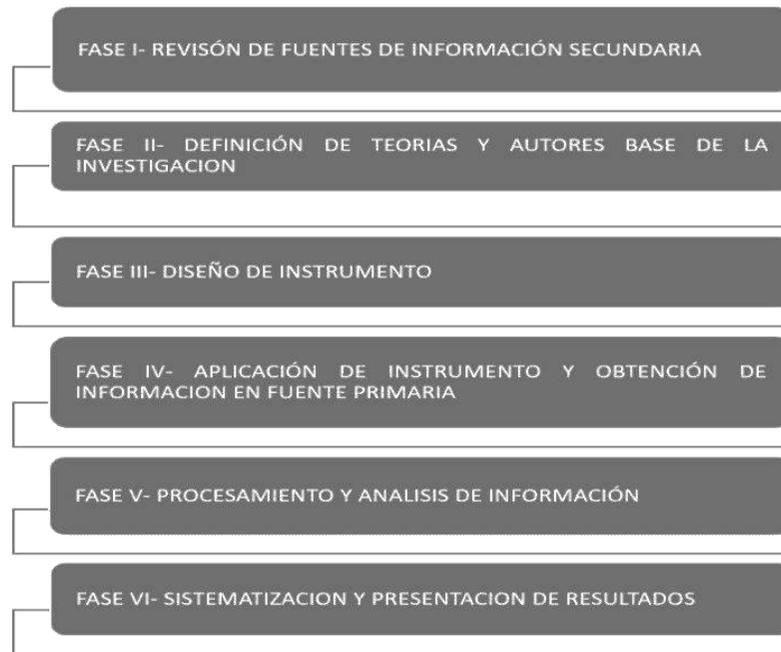


Figura 2. Fases de la investigación. Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Los resultados de los tipos de innovación más relevantes de las 26 PYMEs industriales de la ciudad de Montería se organizan en cuatro grupos según la razón social de cada empresa (Dávila *et al.*, 2005), a saber: transformación de materias primas, industria de alimentos, textiles y fármacos (**figura 3**).



Figura 3. Matriz de innovación: Transformación de materia prima. Fuente: elaboración propia

Transformación de materia prima

Se pudo identificar que, de las 26 PYMEs industriales seleccionadas en la muestra, el 50% (13) se dedica a la actividad económica de transformación de materia prima. El 54% de ellas ha aplicado la innovación por medio de ambos modelos (modelo de negocios y tecnología) a una pequeña escala, lo que las ubica en el tipo de innovación incremental, además realizan mejoras en procesos, productos y herramientas tecnológicas. Así mismo, con el valor agregado a productos mejoran rentabilidad e ingresos.

Por otra parte, el 38% ha aplicado un modelo de tecnología con innovación semi-radical a través de nuevos productos o servicios, mejores procesos tecnológicos y tecnologías de apoyo. Por último, se identificó que solo el 8% de las industrias que hacen parte de este grupo, aplican el modelo de negocios con innovación semi-radical, donde el mayor interés es mejorar el canal de distribución y su cliente final para tener una mayor rentabilidad y venta de los productos (**figura 4**).

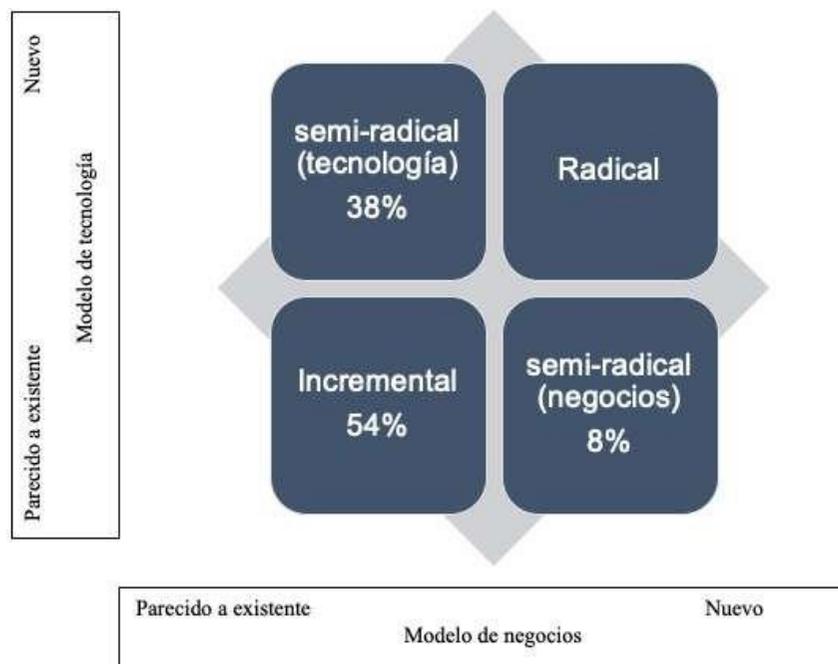


Figura 4. Matriz de innovación: Transformación de materia prima. Fuente: elaboración propia tomando el modelo de Dávila *et al.* (2005).

Industria alimentaria

Se pudo identificar que, de las 26 PYMEs industriales seleccionadas en la muestra, el 35% (9) se dedican a la actividad económica de la industria alimentaria. El 34% de estas empresas aplican una innovación semi-radical orientada en el modelo de negocios que está basado en mejorar el valor agregado, cadena de suministro y cliente objetivo. Así mismo, la gestión para mejorar la eficiencia del servicio es fundamental para añadir valor a los clientes objetivos.

Con respecto al modelo centrado en tecnología, el 22% de las industrias alimentarias aplican una innovación semi-radical y el 22% de las empresas aplican ambos modelos a gran escala, lo que permite identificar que el tipo de innovación que utilizan es radical, ya que trata de hacer nuevas mejoras y poder mejorar su rentabilidad económica y calidad del trabajo. Por último, un 22% de las industrias aplican ambos modelos a pequeña escala, lo que muestra una innovación incremental (**figura 5**).

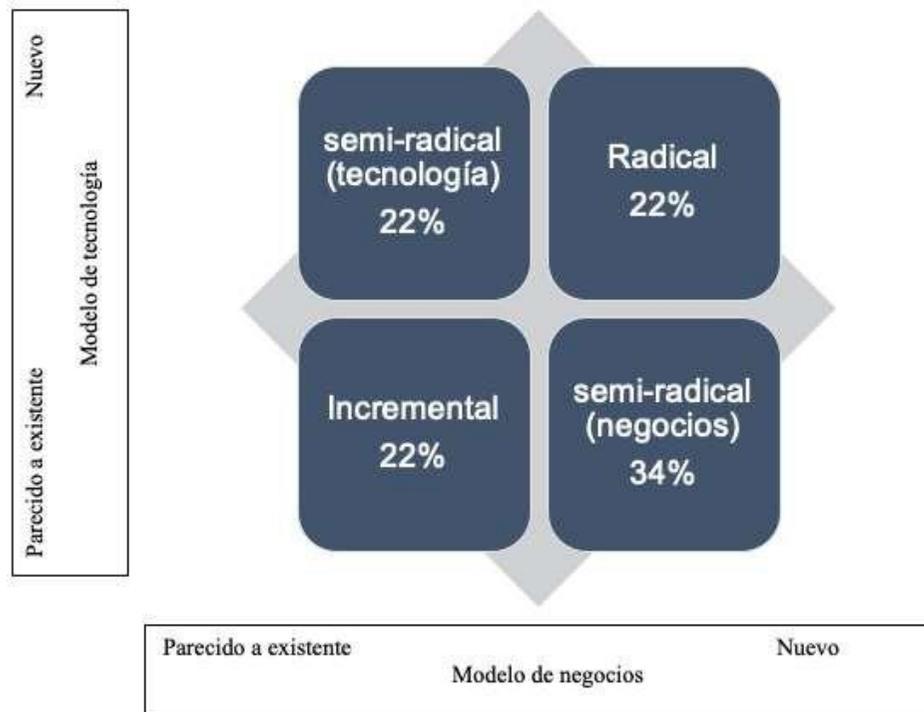


Figura 5. Matriz de innovación: Industria alimentaria. Fuente: elaboración propia tomando el modelo de Dávila *et al.* (2005)

Industrias textiles

Respecto a este tipo de industria, el 12%, es decir, tres empresas PYMEs industriales del municipio de Montería focalizan su actividad económica en los textiles. El 66% de ellas aplican mejoras en su modelo de negocios, por lo que la innovación que aplican es semi-radical, donde los cambios están enfocados a mejorar aspectos de agregar valor al cliente final. El 34% de las industrias textiles realizan mejoras en su modelo de tecnología, desarrollan una innovación semi-radical, por medio de la mejora de nuevos procesos tecnológicos que ayudan a reducir costos y a obtener el mayor beneficio de los procesos (**figura 6**).

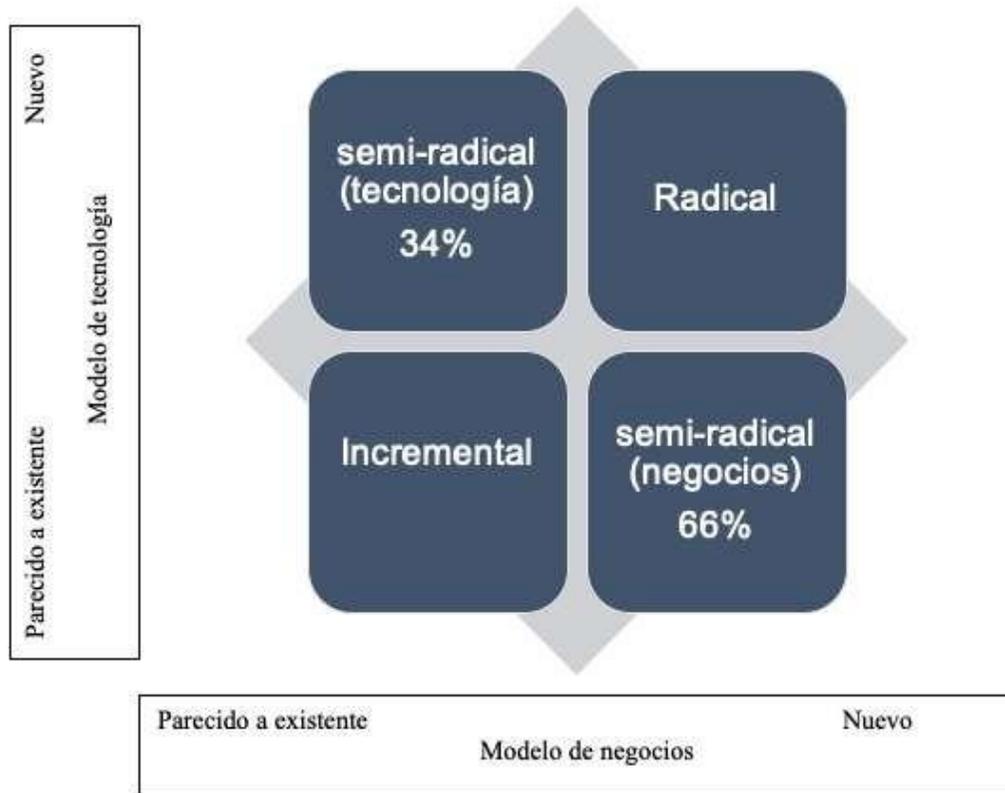


Figura 6. Matriz de innovación: Industrias textiles. Fuente: elaboración propia tomando el modelo de Dávila *et al.* (2005)

Producción de fármacos

Se identificó que el 100% (que corresponde a una empresa) de las PYMEs industriales que se agrupan en la producción de fármacos, realiza cambios o mejoras a gran escala de su modelo de tecnología, por lo cual tiene una innovación Semi-radical, realizando avances en maquinarias y tecnologías para apoyar actividades funcionales de la organización. Lo anterior debido a que esta PYME necesita la implementación de maquinaria con tecnología actualizada para ofrecer nuevos productos, servicios o productos significativamente mejorados (**figura 7**).

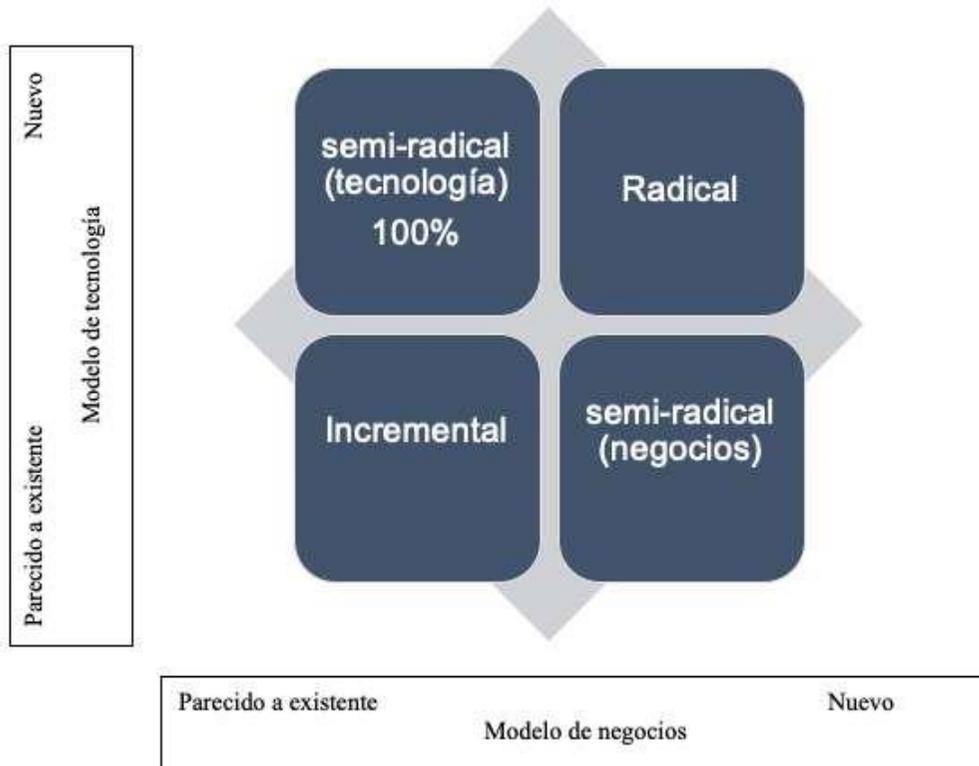


Figura 7. Matriz de innovación: Producción de fármacos. Fuente: Elaboración propia tomando el modelo de Dávila *et al.* (2005)

Consolidación de los Tipos de Innovación PYMEs industriales

En general, el tipo de innovación más relevante en las PYMEs industriales del municipio de Montería es el incremental, es decir, que el 35% de estas realizan cambios o mejoras en el modelo de tecnología o modelo de negocios a pequeña escala. Seguido de un 34% de las PYMEs que tienen una innovación semi-radical enfocada en el modelo de tecnología, es decir, realizan cambios en sus procesos o en la manera de realizar productos con tecnologías nuevas. Por otro parte, el 23% de ellas aplican una innovación semi-radical orientada a un modelo de negocios, donde los factores valor agregado, cadena de suministro y el cliente objetivo son los prioritizados (**figura 8**).

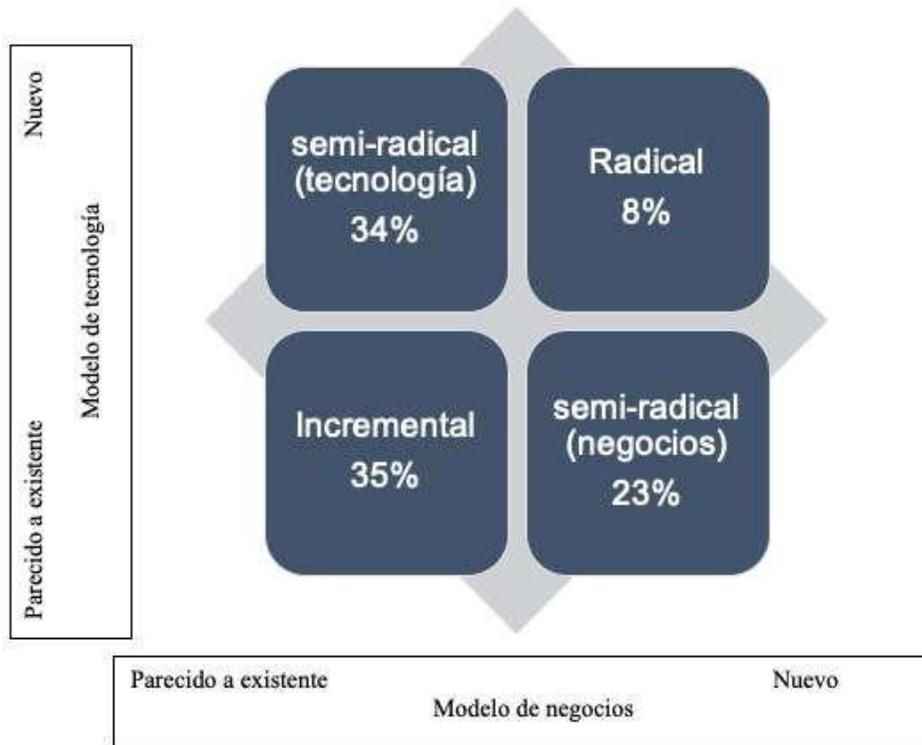


Figura 8. Matriz de innovación: Consolidación Pymes industriales. Fuente: elaboración propia tomando el modelo de Dávila *et al.* (2005)

Conclusiones

La innovación, tanto en procesos como en productos, para estas industrias es necesaria y causa un mayor impacto positivo en las PYMEs industriales del municipio de Montería. Por otro lado, se encontró que la innovación en la gestión de marketing y redes sociales no es significativa para el selectivo de empresas, debido a que el 87% de la muestra (22), transforman materia prima y su motivación está orientada a optimizar procesos con el fin de minimizar costos e incrementar rentabilidad operacional.

En general, la innovación impacta directamente tanto al desempeño interno y externo de las PYMEs, como a su desempeño en general. La innovación las hace salir de la tradicionalidad y monotonía con la que realizan sus procesos y les permite crear muchas más oportunidades en el mercado, de manera que las empresas puedan tener mayor beneficio desarrollando cambios, haciéndolas más productivas; un claro ejemplo de esto puede ser la incorporación de una nueva tecnología que ayude a reducir tiempos, costos o



capital humano en la transformación del producto; otro ejemplo sería la mejora de un producto que abarque más mercado y pueda llegar a más público objetivo, generando mayores ganancias.

Por otra parte, la mayoría de las PYMEs industriales del municipio de Montería, que representan el 57%, aplican la innovación semi-radical, debido a que solo hacen mejoras en su modelo de tecnología con la implementación de mejoras de producto y procesos con la ayuda tecnológica, así como también aplican mejoras a los modelos de negocio al implementar nuevos productos, presentaciones y puntos de venta. Un 15% (cuatro PYMEs) ha aplicado una innovación incremental que se orienta a la adopción de un modelo de negocios, en donde hay mejoras en la cadena de suministro, valor agregado y cliente objetivo, a muy pequeña escala.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda para futuras investigaciones, explorar la percepción de los empleados, conocer el estilo de liderazgo de los gerentes e implementar liderazgos democráticos y participativos, donde no sean los líderes quienes tengan la única decisión. También se recomienda aplicar las tendencias virtuales del E-Commerce frente a la innovación, con el fin de evaluar si esto mejora la gestión de las organizaciones. La innovación es una necesidad para sobrevivir, más que para ser atractivo. Técnicas como el crowdsourcing cada vez son más relevantes, las cuales buscan que exista una co-creación y diseño de parte de las empresas y los clientes.

Literatura citada

Anónimo. (17 de septiembre 2008). Colombia y la crisis financiera internacional. *El Espectador*. Colombia. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/opinion/editorial/articulo-colombia-y-crisis-financiera-internacional/>

Bonilla-Castro, E. y Rodríguez-Sehk, P. (2005). *Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales*. Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma. Recuperado de: <https://books.google.es/books?id=reoiwoqual4c&lpg=pa17&ots=tz6qyjxsf8&dq=m>

https://www.researchgate.net/publication/270111111_The_Dilemma_of_Managing_Innovation_in_Social_Sciences

Dávila, T., Epstein, M. J. y Shelton, R. (2005). *Making innovation work. How to Manage It, Measure It, and Profit from It*. New Jersey, USA: Prentice Hall. Recuperado de: <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780131497863/samplepages/0131497863.pdf> .

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo-MINCIT. (2019). *Definición tamaño empresarial micro, pequeñas, mediana o grande*. Recuperado de: <http://www.mipymes.gov.co/temas-de-interes/definicion-tamano-empresarial-micro-pequena-mediana>

Mulet, J. (2005). La innovación, concepto e importancia económica. VI Congreso de Economía de Navarra. Recuperado de: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/D696EFD2-6AAA-4EF1-B414-E3A27109EA67/79806/02juanmulet.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos-OECD) y Oficina Europea de Estadística-Eurostat. (2005). *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. 3era. Edición. OECD y Eurostat. Recuperado de: http://portal.uned.es/pls/portal/docs/page/uned_main/launiversidad/vicerrectorados/investigacion/o.t.r.i/deducciones_fiscales_por_innovacion/resumen_manual_de_oslo/oecdoslomanual05_spa.pdf

Proenca, J. y Jiménez, F. (2020). Diseño de servicios para la gestión de innovación incremental en PYMES. *Revista Universidad y Empresa*, 22(39), 1-20. Recuperado de: <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.7480>

- 
- Suárez, R. (2018). Reflexiones sobre el concepto de innovación. *Revista San Gregorio*, (24), 120-131. Recuperado de: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYIMqNsJ7tAhWiGVkFHfcOD9MQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6839735.pdf&usg=AOvVaw0F3aWjPoE-KZI9o5G44eI1>
- Valencia, V. (2003). *Revisión documental en el proceso de investigación*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Univirtual. Recuperado de: <https://univirtual.utp.edu.co/pandora/recursos/1000/1771/1771.pdf>
- Velázquez, J. (2017). La experiencia, un nuevo valor agregado en la economía del siglo XXI. *El Cronista*. Argentina. Recuperado de: <https://www.cronista.com/3dias/La-experiencia-un-nuevo-valor-agregado-en-la-economia-del-siglo-XXI-20170505-0010.html>
- Yrigoyen, J. (2013). Explorando distintos tipos de innovación en micro y pequeñas empresas peruanas. *Journal of Technology Management & Innovation*, 8, 1-11. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242013000300062&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Anexo 1

ENCUESTA:

Tipos de innovación empresas industriales

Identificar los tipos de innovación de las pequeñas y medianas (PYMEs) industriales del municipio de Montería en el período 2013-2018.

- 1. Nombre de la empresa**
- 2. Actividad económica a la que se dedica**
- 3. Tiempo de permanencia en el mercado (años)**
- 4. ¿Cuántos productos nuevos han incorporado desde sus inicios?**
 - A. De 1 a 3
 - B. De 4 a 6
 - C. De 7 a 10
 - D. Más de 11
- 5. ¿En qué utiliza la empresa tecnología actualizada?**
 - A. Procesos de producción
 - B. Prestación de servicios
 - C. Transformación de materia prima
 - D. Sistemas operativos y administrativos
 - E. Otro:
- 6. La innovación de la empresa se ha dado mediante:**
 - A. Modelo de tecnología (Nuevos productos o servicios, mejores procesos tecnológicos y tecnologías de apoyo)
 - B. Modelo de negocios (Valor agregado, cadena de suministro y cliente objetivo)
 - C. Ambos modelos a gran escala
 - D. Ambos a pequeña escala
- 7. SI ha reducido sus costos, ¿De qué manera lo ha hecho?**
 - A. Uso de nuevos materiales
 - B. Reorganización del proceso productivo
 - C. Incorporación de nuevos bienes de capital (equipos de trabajo)
 - D. Cambios en los canales de distribución
 - E. Cambios en la estrategia de marketing



F. Mejora en el aprovechamiento de la mano de obra

G. Capacitaciones de personal

H. Otro:

8. ¿Cómo aplica la diferenciación en productos?

A. Modificación en las prestaciones o características del producto

B. Lanzamiento de nuevos productos

C. Búsqueda de nuevos nichos o mercado

D. Otro:

9. ¿En cuál de estas innovaciones ha realizado mejoras?

A. Innovaciones de producto (productos nuevos, productos significativamente mejorados)

B. Innovaciones de proceso (procesos nuevos, procesos significativamente mejorados)

C. Innovaciones en organización

D. Innovaciones en comercialización o mercadotecnia

Diseño y evaluación de un sistema de reúso para el agua residual del lavado de bovinos y sus corrales en la Subasta Santa Clara, Sahagún-Córdoba, Colombia

Design and evaluation of a reuse system for washing of bovines and their corral wastewater at The Santa Clara Auction, Sahagún-Córdoba, Colombia

Jhonatan Barreto Lozano

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Termoeléctrica el Tesorito SAS ESP

j-barreto96@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9974-8267>

Colombia

Laura Lambraño Zuluaga

Especialista en Gerencia de Proyectos

Asociación de geógrafos del Caribe Colombiano

lauracristina0209@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6371-4076>

Colombia

Resumen

El uso indiscriminado del recurso hídrico en acciones que no requieren una alta calidad de agua se ha convertido en una problemática frecuente en el ámbito de la ganadería. En este estudio se diseñó un sistema de reutilización para las aguas residuales del lavado de bovinos y corrales, con el fin de usarlas en el lavado de las instalaciones, a partir de una caracterización fisicoquímica inicial de estas aguas, con una influencia de 700 reses en la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba, Colombia. A partir del análisis realizado y mediante una revisión bibliográfica, se diseñó el sistema de reutilización a emplear, integrado por un tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente y filtro lento de arena; se determinó la eficiencia de remoción de este sistema por medio de la construcción de una planta piloto, a escala 1:100. Los datos obtenidos durante la puesta en marcha de la planta piloto arrojaron eficiencias de remoción máximas del 83.2%, 91.7%, 99.4% y 93.4% respectivamente para DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y turbiedad, concluyendo que el sistema diseñado puede implementarse para la reutilización de las aguas residuales del lavado de bovinos y corrales y su posterior uso para el lavado de las instalaciones.

Palabras clave: Reutilización; aguas residuales; eficiencia de remoción; planta piloto

Abstract

The indiscriminate use of water resources in actions that do not require a high quality of it has become a common problem in the field of animal husbandry. In this study, a regeneration system for wastewater of



washing cattle and corrals, was designed to reuse this water in the wash of the facilities from an initial physicochemical characterization of this water with an influence of 700 animals in The Santa Clara Auction, Sahagún-Córdoba, Colombia. From the analysis, and through a literature review, regeneration system was designed to be used, consisting of a septic tank, sedimenter, up flow anaerobic filter and filter slow sand; the removal efficiency was found by the construction of a pilot plant scale 1:100. The analyzed data showed removal efficiencies maxims of 83.2%, 91.7%, 99.4% and 93.4% respectively for BOD₅, COD, suspended solids and turbidity concluding that the designed system could be implemented for the reuse of the wastewater of washing cattle and corrals and its subsequent use for washing facilities.

Key words: Regeneration; wastewater; removal efficiencies; pilot plant.

Introducción

La ganadería bovina es uno de los sectores más representativos de la economía mundial y, ante todo, nacional, además de ser de gran importancia en el desarrollo del sector rural colombiano, gracias a su nivel de desempeño social y económico en el campo (Loaiza y Osorio, 2009). Esto, de alguna forma, hace que se enfoque su producción hacia el crecimiento económico y productivo, tendiente al bienestar de los comercializadores, entre otros beneficiarios.

Esta actividad depende en gran medida del suministro de agua, tanto en forma permanente como oportuna, pero desafortunadamente este recurso es poco valorado y usado de forma irracional, más aún cuando se cuenta con alta disponibilidad del mismo (Gómez y Rueda, 2011), por lo que surge la idea de la reutilización de estas aguas, la cual, según Cárdenas (2008), es un concepto relativamente nuevo, sobre todo en la mentalidad de aquellas personas que, por tener el recurso a disposición sin limitación alguna, lo consumen y arrojan sus desechos a todo tipo de fuentes receptoras sin discriminación.

En la mayoría de los casos, el abastecimiento se hace de fuentes subterráneas, lo que resulta preocupante, ya que se usan volúmenes considerables de agua con alta calidad en acciones como lavado innecesario de instalaciones, disminuyendo así, la posibilidad de ser utilizada en otra actividad que sí demanden dichas características y que generan aguas residuales con alta carga orgánica (Gómez y Rueda, 2011). Así, la ganadería impacta en la alteración de la calidad, física, química y microbiológica del agua y en la estabilidad de las fuentes hídricas cuando en ellas son vertidas sus aguas residuales, dada la alta cantidad de sólidos y de carga orgánica que poseen, luego de ser empleadas en el lavado de los animales y de las instalaciones (Loaiza y Osorio, 2009).



A pesar de que la actividad ganadera ocasiona muchos impactos sobre el recurso hídrico, son muy pocas las investigaciones en el país enfocadas a mejorar su manejo. Por lo anterior, para la Subasta Santa Clara se pretendió buscar alternativas de tratamiento que mejoren la calidad y aumenten la disponibilidad de este recurso, mediante su reutilización, comprometiéndose a su vez, con su sostenibilidad a lo largo del tiempo; este proceso consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada mediante una serie de tratamientos (Marín, 2012; García, 2013).

Lo anterior, dado que el reúso de este tipo de aguas tiene una historia en México, donde Escalante *et al.* (2014) indican que en este país existe un ejemplo sustancial de reúso de aguas residuales tratadas, donde, de los 50,809.8 l/s de aguas residuales producidas, se utilizan un 22% de dicho caudal en diferentes actividades, tales como: un 33% en riego agrícola, 26% del reúso en procesos industriales, 15% en riego de áreas verdes y el 4% restante, en actividades menores tales como usos urbanos (lavado de autos y calles).

Así mismo, según la Oficina Australiana de Estadísticas (ABS) (citado en Mekala *et al.*, 2008), el volumen de reciclado de aguas residuales ha aumentado un 300% desde 1997 donde había 134 galones de agua reciclada en Australia, que constituyen menos del 1% del agua total utilizada ese mismo año; en 2001 este volumen se incrementó a 516 galones. Para el año 2008, en el país se disponía de más de 580 sistemas de agua reciclada operando; aproximadamente 230 utilizaban agua reciclada en el entorno urbano (por ejemplo, parques recreativos, limpieza de calles); otros 80 en la industria de servicios (lavado y enfriamiento) y los restantes en agricultura (Mekala *et al.*, 2008).

Metodología

La subasta Santa Clara, se encuentra ubicada en el kilómetro 32 vía Colomboy, El Viajano, municipio Sahagún, Córdoba, perteneciente al Caribe Colombiano, altitud de 71 metros sobre el nivel de la mar, localizada así mismo en la troncal de occidente, a 69 kilómetros al nororiente de Montería, capital del departamento. En las coordenadas geográficas 8° 71' 00.87" N y 75° 49' 28.15" O (**figura 1** y **figura 2**). En ella se desarrolla el proceso de compra y venta de bovinos y equinos, el lunes de cada semana, con

influencia aproximada de 700 y 1000 animales, en subastas normales y especiales, respectivamente.

Santa Clara posee un área construida de 4 ha y un terreno total de 200 ha. Para el caso de los corrales o área de lavado, el área es de 0.4 ha. Usualmente, el proceso de lavado de bovinos se da cada día de subasta y los corrales los miércoles, jueves y viernes, realizándose un gasto de 50 m³ semanalmente.



Figura 1. Vista aérea de las instalaciones de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba.
Fuente: Subasta Santa Clara

El enfoque metodológico de la presente investigación fue cuantitativo, al requerir recopilación, análisis y vinculación de datos para ayudar a clarificar y resolver el problema de investigación, mediante la generalización de los resultados. De igual forma, esta investigación fue de carácter cuasi experimental, debido a que no se tuvo control absoluto de todas las variables que intervienen en el diseño del sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales, además, se realizó en primer lugar una caracterización del agua residual producto del lavado de las instalaciones de la subasta, con el fin de conocer las características iniciales del agua a reutilizar, seguidamente se desarrolló un plan de muestreo que consistía en la toma de muestras compuestas, es decir, en distintas

horas a lo largo del día, donde se tuvo en cuenta el agua producto de las actividades de lavado y el de cada componente del sistema diseñado.

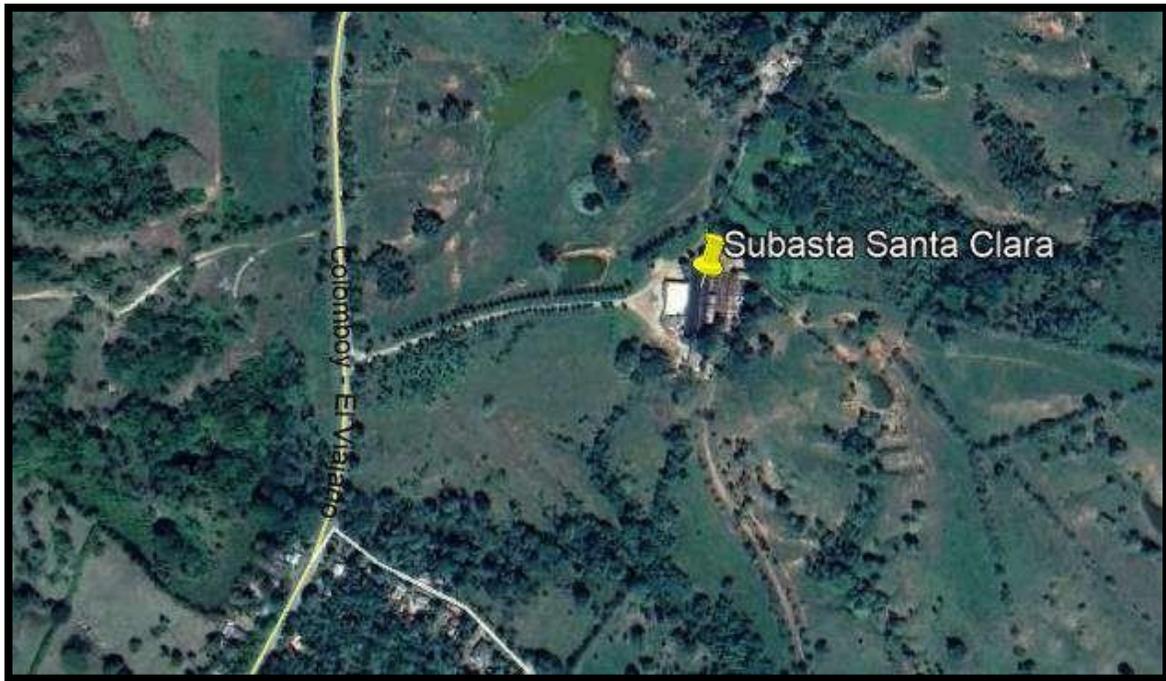


Figura 2. Ubicación geográfica de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba. Fuente: Google Earth

En esta investigación se emplearon los métodos, analítico, deductivo y de síntesis, además se realizó un análisis exploratorio con el fin de determinar los valores de los parámetros como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), turbiedad y sólidos totales, disueltos, suspendidos y sedimentables, que pudieran dar respuesta a las interrogantes planteadas en los objetivos de la investigación, la determinación de los valores de estos parámetros fue realizada basada en los métodos de análisis propuestos en el libro de la Asociación de Salud Pública Americana (2005).

Para ello, se efectuó un análisis de perfiles, dispersión y otros que fueron tenidos en cuenta dentro de los softwares estadísticos empleados, en este caso Excel y R Project. Una vez determinadas las condiciones de normalidad de los datos, se procedió con el desarrollo de pruebas no paramétricas como la de Kruskal Wallis, al requerirse la comparación de la eficiencia de remoción de cada variable ya mencionada con el número de veces en que se toma la muestra.

Los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación y los pertinentes análisis de laboratorios fueron ordenados, interpretados y analizados empleando el software estadístico R Project y Excel, lo cual permitió un aprovechamiento de los mismos en la determinación de la eficiencia del sistema de tratamiento adoptado.

Resultados y discusión

Según Mejías (2005), las escalas recomendadas para el diseño de una planta piloto de sistemas de tratamiento son 1:10, 1:25, 1:50 y 1:100 y expresa que el diseño de este sistema se debe realizar con un caudal acorde y debe ser regulado dentro de él.

Para el caso de estudio se aplica una escala de 1:100, empleando la siguiente ecuación:

$$Qdp = \frac{Qr}{Escala}$$

Donde:

Qdp = Caudal de diseño de la planta piloto (l/s)

Qr = Caudal real (l/s)

Escala = 100

Teniendo en cuenta que el caudal real es de 0.38 l/s (determinado mediante aforo volumétrico en sitio), así el caudal diseño es el siguiente:

$$Qdp \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{0}{100} \frac{l}{s} = 0.0038 \frac{l}{s}$$

En la **tabla 1** se presentan los parámetros de diseño y cálculos correspondientes del dimensionamiento para el tanque séptico del sistema de reutilización piloto.

Tabla 1.

Parámetros y cálculos para el diseño del tanque séptico del sistema de reutilización piloto

| Parámetros de diseño | | |
|-----------------------------|--------------|---------------------|
| Caudal | 0.004 | l/s |
| Caudal | 0.0000038 | m ³ /s |
| Caudal | 0.01 | m ³ /hr |
| Caudal | 0.33 | m ³ /día |
| Carga DBO5 | 1507.2 | mg/l |
| Carga DBO5 | 1.5072 | g/l |
| Carga DBO5 | 0.0015072 | kg/l |
| Carga DBO5 | 1.5072 | kg/m ³ |
| Cálculos del diseño | | |
| Parámetros de diseño | Valor | Unidad |
| Carga orgánica | 0.5 | kg/día |
| Tiempo de retención | 8 | hr |
| Volumen útil | 0.1 | m ³ |
| Profundidad útil | 0.5 | m |
| Área Superficial | 0.2 | m ² |
| Relación Largo: Ancho | 2:1 | |
| Ancho (B) | 0.3 | m |
| Largo (L) | 0.7 | m |
| Borde libre | 0.2 | m |
| Altura total | 0.7 | m |

Fuente: elaboración propia

Seguidamente se muestran los parámetros de diseño y cálculos correspondientes al dimensionamiento para el sedimentador de este sistema en la **tabla 2**.

Tabla 2.*Parámetros y cálculos para el diseño del sedimentador del sistema reutilización piloto*

| Parámetros de diseño | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Caudal máximo diario (l/s) | Número de unidades | Caudal por unidad (m ³ /h) |
| 0.004 | 1 | 0,01 |
| Caudal por unidad (m ³ /d) | Tiempo de retención hidráulico (Hr) | Carga superficial (m ³ /m ² /día) |
| 0.3 | 2 | 10 |
| Cálculos del diseño | | |
| Parámetros de diseño | Valor | Unidad |
| Volumen de cada tanque | 0.03 | m ³ |
| Área superficial | 0.03 | m ² |
| Relación Largo: Ancho | 1-2 | |
| Ancho | 0.13 | m |
| Largo | 0.3 | m |
| Profundidad útil | 0.8 | m |
| Área transversal | 0.1 | m ² |
| Velocidad horizontal | 0.1 | m/hr |
| Velocidad horizontal | 0.004 | cm/s |
| Volumen lodos | 0.01 | m ³ |
| Altura adicional lodos | 0.1 | m |
| Borde libre | 0.1 | m |
| Altura total sedimentador | 1.0 | m |

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 3** se exponen los parámetros de diseño y cálculos correspondientes al dimensionamiento para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

Tabla 3.

Parámetros para el diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) sistema reutilización piloto

| Parámetros de diseño | | | |
|---|--|---|---|
| Caudal de diseño (l/s) | Caudal de diseño (m ³ /día) | Tiempo de retención hidráulico (4-10 horas) | Concentración de DBO afluente ₃ (kg DBO ₅ /m ³) |
| 0.004 | 0.33 | 7 | 0.30 |
| Cálculos del diseño | | | |
| Parámetros de diseño | Valor | Unidad | |
| Diámetro del tanque | 0.38 | M | |
| Área superficial | 0.1 | m ² | |
| Volumen útil | 0.1 | m ³ | |
| Altura del Lecho filtrante | 0.84 | M | |
| Carga orgánica volumétrica | 1.0 | kg/m ³ *día | |
| Eficiencia de remoción del filtro anaerobio | 67.1 | % | |
| DBO esperada en el efluente del FAFA | 99.1 | mg DBO ₅ /l | |
| Altura borde libre | 0.2 | M | |
| Falso fondo | 0.2 | M | |
| Altura total del FAFA | 1.2 | M | |
| Volumen total del FAFA | 0.1 | m ³ | |

Fuente: elaboración propia

En la **tabla 4** se muestran los parámetros de diseño y cálculos para el filtro lento de arena.

Tabla 4.

Parámetros y cálculos para el diseño del filtro lento en arena del sistema de reutilización piloto

| Parámetros de diseño | | | | |
|--|--------------------------------------|---|--------------------|---|
| Caudal de diseño (l/s) | Caudal de diseño (m ³ /h) | Velocidad de filtración (0,1 - 0,5 m/h) | Número de unidades | Caudal de diseño por unidad (m ³ /h) |
| 0.004 | 0.01 | 0.4 | 1 | 0.01 |
| Cálculos del diseño | | | | |
| Parámetros de diseño | | | Valor | Unidad |
| Área superficial total requerida | | | 0,03 | m ² |
| Área superficial por unidad | | | 0,03 | m ² |
| Diámetro del tanque a emplear | | | 0,21 | m |
| Diámetro comercial | | | 0,30 | m |
| Caudal por unidad | | | 0,01 | m ³ /h |
| Velocidad de filtración en cada unidad | | | 0,19 | m/h |

Fuente: elaboración propia

Así mismo, en la **tabla 5** se muestra el diseño del lecho filtrante para el filtro lento de arena.

Tabla 5.

Diseño del lecho filtrante de arena sistema reutilización piloto

| Diseño de lechos filtrantes | Valor | Unidad | Características |
|------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------------|
| Soporte | 0.1 | M | Grava gruesa (7-8 cm de diámetro) |
| Lecho 1 | 0.1 | M | Arena gruesa (0.9 – 1.1 mm) |
| Lecho 2 | 0.2 | M | Arena fina (0.3 – 0.45 mm) |
| Tiempo de retención hidráulico | 2 | Hr | |
| Borde libre | 0.2 | M | |
| Altura total requerida | 0.6 | M | |

Fuente: elaboración propia

Los materiales de construcción para el sistema diseñado fueron: lámina galvanizada para el caso del tanque séptico, sedimentador y flujo anaerobio de flujo ascendente; para el filtro lento de arena, accesorios y conexión del sistema, se utilizó tubería PVC de ¾”.

Por otro lado, para calcular la eficiencia relativa o eficiencia de remoción del sistema de reutilización se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(Se - Sa)}{Se} * 100$$

Donde:

Se = concentración efluente (mg/l)

Sa = concentración afluente (mg/l)

Esta ecuación se utilizó en cada uno de los componentes del sistema, es decir, tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente y filtro lento de arena, así como de la planta piloto en general. A continuación, en la **tabla 6**, se observan las eficiencias de remoción por variables.

Tabla 6.

Eficiencia de remoción del sistema de reutilización por parámetro

| Eficiencia de Remoción del Sistema de Reutilización por Variable (%) | | | | | | | |
|---|-----------|------------------|------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| Veces en que se toma la muestra | Turbiedad | DBO ₅ | DQO | Sólidos Totales | Sólidos Suspendedos | Sólidos Disueltos | Sólidos Sedimentables |
| 1 | 98.5 | 70.1 | 78.6 | 82.9 | 76.7 | 84.3 | 100 |
| 2 | 94.1 | 63.5 | 82.1 | 81.3 | 73.0 | 83.1 | 100 |
| 3 | 90.1 | 71.4 | 84.5 | 86.2 | 75.0 | 88.1 | 100 |
| 4 | 92.1 | 76.4 | 88.9 | 88.0 | 80.2 | 89.3 | 100 |
| 5 | 97.6 | 80.5 | 85.0 | 87.8 | 94.4 | 84.9 | 100 |
| 6 | 93.4 | 83.2 | 91.7 | 95.0 | 99.4 | 92.0 | 100 |

Fuente: elaboración propia



En el diseño del sistema de reutilización para las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales de la Subasta Santa Clara, Sahagún-Córdoba, se tuvo en cuenta los resultados de trabajos anteriores como el de Madera, Silva y Peña (2005), quienes obtuvieron eficiencias promedio hasta del 57% para DQO con un tanque séptico seguido de un FAFA. Así mismo, Márquez (2008) logró remover entre 30 a 50% de DBO₅ y entre 50 a 70% de sólidos suspendidos, empleando un tanque séptico como tratamiento para aguas residuales, lo cual está acorde a lo obtenido en este trabajo.

En cuanto a los sedimentadores, el porcentaje de remoción obtenido para turbiedad, DBO₅ y DQO por Serrano, Hinojosa y Sierra (2016), se encuentra en el orden del 70 al 80%, el cual no es semejante a lo encontrado en esta investigación, debido a que las condiciones y fines de la operación del sistema fueron diferentes. Para el caso de los sólidos sedimentables, lo obtenido en este trabajo apoya lo descrito por Borja (2011), en cuanto a los sedimentadores, cuyo objetivo principal es la eliminación de los mismos.

Las eficiencias de remoción obtenidas con el FAFA coinciden con lo estipulado por Sharma, Khursheed y Kazmi (2014), quien obtuvo valores en aguas residuales domésticas del 88.6% para DQO, 86.3% para DBO₅ y 91.2% para sólidos suspendidos totales utilizando un tanque séptico y un FAFA. Del mismo modo, Chen *et al.* (2017) y Li, Liu y Sun (2015), empleando tratamientos anaerobios como el FAFA, lograron remover entre 85% y 97% de la materia orgánica presente en aguas residuales; Ghanimeh *et al.* (2017) y Kang *et al.* (2007) lograron obtener eficiencias de remoción de la materia orgánica superior al 60% utilizando estos procesos.

Por otro lado, Ali *et al.* (2013), encontraron que la filtración lenta en arena era capaz de eliminar hasta el 86% de la DBO₅, 68% de sólidos suspendidos y 88% para turbiedad; así mismo Tyagi, Khan, Kazmi, Mehrotra y Chopra (2009), obtuvieron una eficiencia del 91.6% para turbiedad, 89.1% para los sólidos suspendidos, 77% para DQO y 85% para DBO₅. Estos mismos autores expresan que estas estructuras funcionan como postratamiento para el efluente de los anteriores procesos y es similar a lo que aporta el componente de filtración lenta dentro del sistema de reutilización diseñado, ya que las eficiencias de remoción obtenidas en este proceso están en el orden de las planteadas por los autores.



Por último, al realizar la prueba con R Project para cada uno de los parámetros, se obtuvo un p-valor descriptivo que, comparado con el nivel de significación (0.05), resultó mayor, lo que permite aceptar la hipótesis nula (H_0), por lo que el sistema sí tiene eficiencia de remoción.

Conclusiones

La presente investigación se centró en diseñar un sistema de reutilización para las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales de la Subasta Santa Clara, Sahagún, Córdoba, con el fin de emplearlas en el lavado de las instalaciones, obteniendo que:

- 1) Las aguas residuales, con un caudal promedio de 0.38 l/s, poseen altas concentraciones de DBO_5 , DQO, sólidos, alta turbiedad y presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo, debido al tipo de actividad que allí se desarrolla.
- 2) Teniendo en cuenta normatividad referente a reúso de agua residual, tales como el Real Decreto Español 1620, Norma Oficial Mexicana de 1997 y la Resolución Colombiana 1207 del 2014, las variables fisicoquímicas seleccionadas a remover del agua residual producto del lavado de las instalaciones de la subasta para su posterior uso, corresponden a DBO_5 , DQO, turbiedad y sólidos.

El sistema de reutilización a emplear se estableció teniendo en cuenta el porcentaje de remoción requerido para cada variable y a la revisión bibliográfica, por ello se contempló un sistema en serie compuesto de rejilla, tanque séptico, sedimentador, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y filtro lento en arena (FLA).

- 3) Con la puesta en marcha de la planta piloto escala 1:100, las eficiencias de remoción del sistema para DBO_5 , DQO, turbiedad, sólidos totales, sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables fueron del 63% al 83.2%, del 78.6% al 91.7%, del 90% al 97.6%, del 81% al 95%, del 83% al 92%, del 73% al 99.4% y del 100% respectivamente, gracias a la acción conjunta de todos los componentes del sistema de reutilización diseñado.
- 4) El sistema diseñado tiene eficiencia de remoción de las variables estudiadas, permitiendo su implementación para la reutilización de las aguas residuales provenientes del lavado de bovinos y corrales y su posterior uso para el lavado de las instalaciones en la Subasta Santa Clara, dado que la concentración final del

efluente del sistema de tratamiento se encuentra acorde a lo establecido en la legislación colombiana.

- 5) La reutilización de aguas residuales se puede convertir en una excelente alternativa para aquellas zonas donde la disponibilidad de agua potable sea escasa o donde se busque mitigar el impacto ambiental causado por el aprovechamiento hídrico; especialmente en actividades que no demanden alta calidad del recurso, tales como labores de limpieza, riego, entre otros.

Literatura citada

Ali, A., Zahid, R., Ahmad, A. y Lew, B. (2013). *Sustainable Post Treatment Options of Anaerobic Effluent*. In Chamy R. (Ed.). Biodegradation. London: IntechOpen. DOI: [10.5772/56097](https://doi.org/10.5772/56097)

American Public Health Association. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Volmen 21. Washington, DC, USA.: American Public Health Association.

Borja, M. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de Guaranda*. Tesis de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Rio Bamba, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>

Cárdenas, D. C. (2008). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales para su reúso en el proceso productivo de una industria de jabones*. Tesis de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://xdoc.mx/download/optimizacion-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-5cc75a426cb4a?hash=f31a0636a511e565e3d8f4e3d56b6680>

Chen, J., Liu, Y. S., Yang, Y. Q., Hu, L. X., Yang, Y. Y., Zhao, J. L., Chen, F. R. y Ying, G. G. (2017). Removal of antibiotics from piggery wastewater by biological aerated



filter system: Treatment efficiency and biodegradation kinetics. *Bioresource Technology*, 238: 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.023>.

Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C. y Villavicencio, F. (2014). *Reúso del agua residual tratada en México*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Cinara, Universidad del Valle. Cali, Colombia. P.p. 230-236. Recuperado de: http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_11-00-54111051.pdf

García, J. C. (2013). *Regeneración y reutilización del agua*. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, Universidad de Salamanca. Salamanca, España. Recuperado de: <http://cidta.usal.es/formacion/Reutilizacion.pdf>

Ghanimeh, S., Khalil, C., Mosleh, C. y Habchi, C. (2017). Optimized anaerobic- aerobic sequential system for the treatment of food waste and wastewater. *Waste Management* 71, 767-774. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.027>

Gómez, J. D. y Rueda, R. A. (2011). *Productividad del sector ganadero bovino en Colombia durante los años 2000 a 2009*. Trabajo de Grado. Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/2629/1047396260-2011.pdf?sequence=1>

Kang, H., Cha, Y. C., Hur, K. B. y Rhim, S.-K. (2007). *Anaerobic Pretreatment of Swine Wastewater Using Hycem Filter for Subsequent BNR process*. Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society of Waste Management Experts 18, 40-42. Recuperado de: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswmepac/18/0/18_0_337/article/-char/ja/

Li, K., Liu, R. y Sun, C. (2015). Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentrations. *Bioresource Technology* 198, 133-140. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415012675>

- 
- Loaiza, Y. y Osorio, A. (2009). *Gestión del agua en el sector de la ganadería bovina en la cuenca río La Vieja, departamentos de Quindío y Risaralda*. Tesis de Administrador del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1195/6281586132L795.pdf?sequence=1>
- Madera, C. A., Silva, J. P. y Peña, M. R. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basado en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales sub-superficiales. *Ingeniería y Competitividad* 7(2), 5-10. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478001.pdf>
- Marín, M. C. (2012). *Reutilización aguas residuales. Tratamientos*. Marín Pons & Asociados, S. R. L. Recuperado de: <http://marinponsasociados.com/PDFINDUSTRIA/REUTILIZACIONAGUASRESIDUALES.pdf>
- Márquez, E. R. (2008). *Alternativas de recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades en el Departamento de Sucre*. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia. Recuperado de: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/296/2/628.3M357.pdf>
- Mejias, J. (2005). *Estudio sobre la depuración de los lixiviados de vertederos de RSU con cenizas volantes zeolitizadas*. Antecedentes Obtenido de Universidad de Sevilla: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20028/fichero/2_ANTECEDENTES%252F2_ANTECEDENTES.pdf
- Mekala, G., Davidson, B., Samad, M. y Boland, A. (2008). *Wastewater Reuse and Recycling systems: a perspective into India and Australia*. Working paper 128. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. Recuperado de: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Working_Papers/working/WOR128.pdf



Serrano, D., Hinojosa, O. y Sierra, L. (2016). *Eficiencia de un sedimentador para remover nitrógeno, fósforo, sst y dco utilizando coagulantes químicos tratando el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Valledupar*. Proyecto de grado, Universidad Popular del César. Valledupar, César, Colombia. Recuperado de: <http://hemeroteca.unicesar.edu.co/spip.php?article9988>

Sharma, M. K., Khursheed, A. y Kazmi, A. A. (2014). Modified septic tank-anaerobic filter unit as a two-stage onsite domestic wastewater treatment system. *Environmental Technology* 35(17), 2183-2193. Recuperado de: <http://iahr.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2014.896950?scroll=topyneed>
[Access=true](#)

Tyagi, V. K., Khan, A. A., Kazmi, A. A., Mehrotra, I. y Chopra, A. K. (2009). Slow sand filtration of UASB reactor effluent: A promising post treatment technique. *Desalination*, 249(2): 571-576. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409008054>

Técnicas y metodologías para la documentación y la supervisión del patrimonio natural

Techniques and methodologies for the documentation and supervision of natural heritage

Marco Limongiello

PhD Ingeniería Civil

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Salerno

mlimongiello@unisa.it

 <https://orcid.org/0000-0001-6755-7928>

Italia

Resumen

El estudio para cualquier tipo de intervención sobre el patrimonio cultural prevé una etapa preliminar de documentación del bien sobre el que se va a intervenir, ya sea un bien perteneciente al llamado patrimonio histórico o un bien de interés natural - del paisaje. El trabajo presenta una metodología integrada de levantamiento tridimensional para la restitución de información tridimensional georreferenciada y con precisión de centímetros, con el fin de contar con una restitución de métricas elaboradas para una piscina natural en el sudeste de Italia, en el municipio de Marina Serre. La piscina natural estudiada presenta una serie de puntos críticos, como zonas abovedadas y zonas a estudiar en el mar; para obtener un modelo tridimensional completo del objeto de estudio se utilizaron instrumentos como un escáner láser terrestre (TLS), utilizado principalmente para la adquisición de las cuevas presentes en el lugar y una aerofotogrametría desde un vehículo aéreo no tripulado, necesaria para la digitalización de la zona costera donde está presente la piscina. Los datos han sido fusionados, en un modelo único de nubes de puntos extremadamente detallado, para luego derivar toda la información métrica necesaria a partir de esto. Los resultados obtenidos muestran que la metodología ilustrada en el estudio puede ser replicada para la documentación y/o monitoreo de cualquier objeto de alto interés ambiental, sin vegetación.

Palabras clave: VANT; Escaneo láser; Modelación tridimensional georreferenciada; Paisaje; Piscina natural.

Abstract

The study for any type of intervention on cultural heritage, provides a preliminary stage of documentation of the asset on which to intervene, whether it is an asset belonging to the so-called historical heritage, or an asset of landscape - natural interest. The work presents an integrated 3D survey methodology for the restitution of three-dimensional information, georeferenced and with centimetre accuracy, for the restitution of elaborate metrics of a natural pool in south-eastern Italy, in the municipality of Marina Serre. The natural pool surveyed presents a series of critical points, such as vaulted passages and areas to be surveyed in the sea; to obtain a complete 3D model of the object of study the instruments used were a Terrestrial Laser Scanner (TLS), mainly used for the acquisition of the cavities present in the site, and an aerial photogrammetry from unmanned aerial Vehicle (UAV), necessary for the digitalization of the coastal zone where the pool is present. The data have been merged, in a single point cloud model extremely detailed, to then derive all the necessary metric information from this. The results obtained show that the methodology illustrated in the study can be replicated for the documentation and/or monitoring of any object of high environmental interest, without vegetation.

Keywords: UAV; Laser scanning; Georeferenced three-dimensional modelling; Landscape; Natural pool.

Introducción

La fotogrametría y, en particular, la aplicación del software Structure From Motion (Lowe, 2004), han experimentado un importante aumento de aplicaciones en la última década por dos razones principales: los sensores, cada vez más baratos y ligeros y el uso de los llamados drones o mejor identificados como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), que son cada vez más fiables y de uso más común (Segales, Gregor, Rodas, Gregor y Toledo, 2016). En el mundo científico, en el pasado reciente, también se ha producido un aumento gradual de las aplicaciones fotogramétricas (y aerofotogramétricas), en comparación con las aplicaciones del TLS (Terrestrial Laser Scanner).

En particular, en la primera década del nuevo milenio, la popularidad de los sensores LiDAR/TLS ha aumentado considerablemente para la producción de nubes de puntos, mientras que la fotogrametría, en la misma década, no ha sido capaz de proporcionar algoritmos capaces de generar nubes de puntos silenciosos que pueden conseguir los sistemas activos, para la calidad y la densidad de los datos (Kraus, 2007). Por esta razón, muchos investigadores han cambiado sus intereses de investigación al LiDAR y/o al TLS, lo que ha dado lugar a un menor avance en las técnicas fotogramétricas basadas en imágenes. Básicamente, las aplicaciones de levantamiento tridimensional en los primeros años del nuevo milenio se basaban en el uso de sensores activos, es decir, dispositivos capaces de generar una “imagen” tridimensional del objeto, empleando las propiedades ópticas de una señal luminosa adecuadamente codificada.

La luz codificada, a diferencia de la luz ambiental, es una luz que, por el contenido de información, es fácilmente reconocible por un sensor electrónico. Al contrario, la fotogrametría y, por lo tanto, el uso de la técnica pasiva hace que las coordenadas 3D de los puntos claramente identificables sean medibles en las imágenes, con variaciones de iluminación bien contrastadas. Con la difusión de la tecnología Structure from Motion (SfM), el método de levantamiento fotogramétrico ha recuperado finalmente su fuerza; SfM es una técnica de rango de imágenes (range imaging) derivada de la visión artificial (Computer Vision), con la que se estiman estructuras tridimensionales a partir de secuencias de imágenes bidimensionales.



Las ventajas y/o desventajas de las técnicas de levantamiento activas (alta densidad de datos y velocidad de adquisición) y pasivas (calidad de la textura y bajo costo), han inducido al mundo científico a realizar levantamientos 3D, especialmente en los campos de la arquitectura y la arqueología, como resultado de la integración de las dos tecnologías (Fassi, Fregonese, Ackermann y De Troia, 2013).

El caso de estudio trata la alineación de las salidas provenientes de un sensor activo (utilizado para el levantamiento de las cuevas) y un sensor pasivo (utilizado para detectar la orografía de toda la costa), para el levantamiento de la Piscina Natural ubicada en Marina Serre (Italia). Debido a la importancia del sitio por su paisaje e interconexiones históricas con el pasado, en los últimos años se ha planificado una serie de medidas de seguridad y mitigación de riesgos. Como cualquier intervención de este tipo, la fase de estudio y documentación de la obra son las etapas iniciales para las intervenciones de diseño y supervisión posteriores.

Metodología

Caso de Estudio

Marina Serre es un pueblo situado en la costa de Tricase, provincia de Lecce, en el sudeste de Italia (**figura 1**). Aquí las aguas del mar ofrecen un auténtico espectáculo de colores, luces y transparencias, capaz de embellecer aún más las ya bellas formaciones rocosas que componen el tramo costero. Es una costa llena de ensenadas, bahías y acantilados con vistas al mar, incluyendo verdaderas piscinas naturales. La costa es alta e irregular, así como rica en cuevas y ensenadas, formadas por la erosión de las olas y la presencia de una roca de sustrato de carbonato muy quebradiza.

Los acantilados, debido a la presencia de rocas de arenisca, forman una especie de fortificación natural debido a la regularidad que caracteriza a los lados cuadrangulares, mientras que el lecho marino se puede definir bajo. La piscina natural está delimitada por altas rocas que forman esta ensenada en forma de media luna.

En los diversos caminos peatonales que ahora se permiten dentro de la piscina, se encuentran una serie de pasajes abovedados, excavados naturalmente en la roca y, a lo largo del trecho debajo de la costa, se encuentra una espectacular cueva, denominada

Grotta Matróna (**figura 1**), a la que solo se puede acceder por el agua y que ofrece un espectáculo de reflejos de agua que tiñen las paredes de diversos tonos de azul.

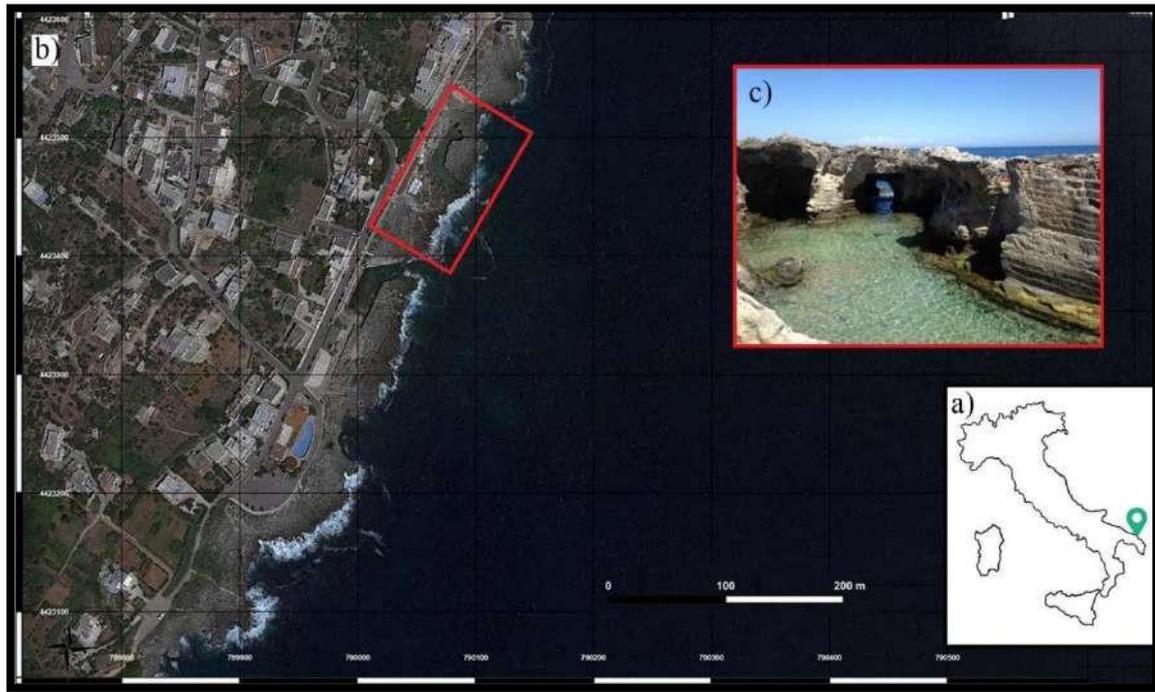


Figura 1. Clasificación territorial: a) mapa de Italia, b) costa de Marina Serra y c) Acercamiento a la piscina natural Grotta Matróna. Fuente: elaboración propia

La zona también se caracteriza por la presencia de algunas torres de vigilancia construidas por los españoles en el siglo XVI y diseñadas para avistar a los invasores antes de que tocan tierra. Marina Serra está caracterizada por la Torre Palane, conectada con las otras cercanas Torre del Porto di Tricase y Torre Nasparo.

Fases

La actividad de levantamiento representa un instrumento fundamental de conocimiento, documentación y análisis preparatorio para cualquier intervención de recuperación y/o conservación del patrimonio cultural o natural. Tras un cuidadoso análisis de las necesidades específicas que requiere la realización del levantamiento, la elección de la instrumentación más adecuada ha sido la de integrar diferentes tecnologías de levantamiento tridimensional.



En primer lugar, se optó por utilizar en la fase de adquisición un TLS con funcionamiento por diferencia de fase y cámara integrada, para detectar tridimensionalmente principalmente las cuevas de la Piscina Natural; la instrumentación activa mencionada anteriormente se complementó con el uso de un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), para ampliar el área de levantamiento mediante técnicas fotogramétricas. El uso combinado de instrumentación óptica activa (TLS) y pasiva (aerofotogrametría), fue el más apropiado, combinando coberturas de más de cientos de metros, notable velocidad de adquisición de puntos, resoluciones y precisión del orden de centímetros. En los párrafos siguientes se ilustran las fases de adquisición y procesamiento de datos en sus entornos informáticos.

Adquisición y elaboración de datos TLS

La principal instrumentación utilizada para la realización de los escaneos láser en 3D fue un escáner Faro Focus3D - Serie X330, con sistema de medición de diferencia de fase, equipado con GPS, cámara integrada y control remoto; este escáner ofrece una instrumentación compacta y ligera que permite garantizar numerosas estaciones y el cumplimiento de tiempos de adquisición rápidos. Las especificaciones técnicas se resumen a continuación: rango de adquisición: 0.6 - 330 m; campo de visión: 300° verticalmente y 360° horizontalmente; resolución mínima: 0.009° (40,960 3D-pixel 360°) verticalmente, 0.009° (40,960 3D-pixel 360°) horizontalmente; velocidad máxima de medición: 976,000 (puntos/segundo); error de distancia lineal: ± 2 mm; cámara a color integrada: hasta 70 megapíxeles (es decir, una resolución adecuada para una escala 1:50); sensores: GPS, brújula, sensor de altura; compensador biaxial: precisión de 0.015° con un rango de medición $\pm 5^\circ$.

El uso de esta instrumentación se refleja en una serie de ventajas en la fase de adquisición, entre ellas una resolución máxima absoluta de barrido único del orden de 1.6 mm, una burbuja y una verticalidad correcta en cada estación garantizada por el compensador biaxial integrado y la generación de una nube de puntos de color con una correspondencia exacta entre los datos cromáticos y la geometría, asegurada por la cámara de color integrada que permite la adquisición de vistas panorámicas de 360°. Por último, el pequeño tamaño y el peso ligero (<5 kg) de este escáner láser lo hacen fácil de transportar, incluso en zonas de

difícil acceso. La resolución de adquisición del escáner se fijó para obtener un punto cada 6 mm a una distancia de 10 metros con un intervalo angular de 0.036° .

Con el fin de obtener un modelo numérico completo y minimizar las zonas de sombra (es decir, donde no se adquieren los datos métricos) se han realizado tres escaneos, con estaciones específicas para representar la Grotta Matrona. Una vez finalizada la fase de levantamiento, los datos adquiridos se procesaron y los escaneos individuales se alinearon utilizando el software "SCENE 2019". Para simplificar la toma de datos entre los escaneos, durante las estaciones de escaneo por láser se han colocado algunas "esferas de referencia" (targets), gracias a las cuales es posible el reconocimiento automático de esferas homólogas entre los diferentes escaneos y, por lo tanto, la conexión y unión de los diferentes escaneos. Teniendo en cuenta que se requieren al menos tres esferas que sean comunes a cada estación, toda el área detectada ha sido cubierta con más de 20 esferas, colocadas a distancias variables entre sí. En la **figura 2** se representa una estación de escaneo.

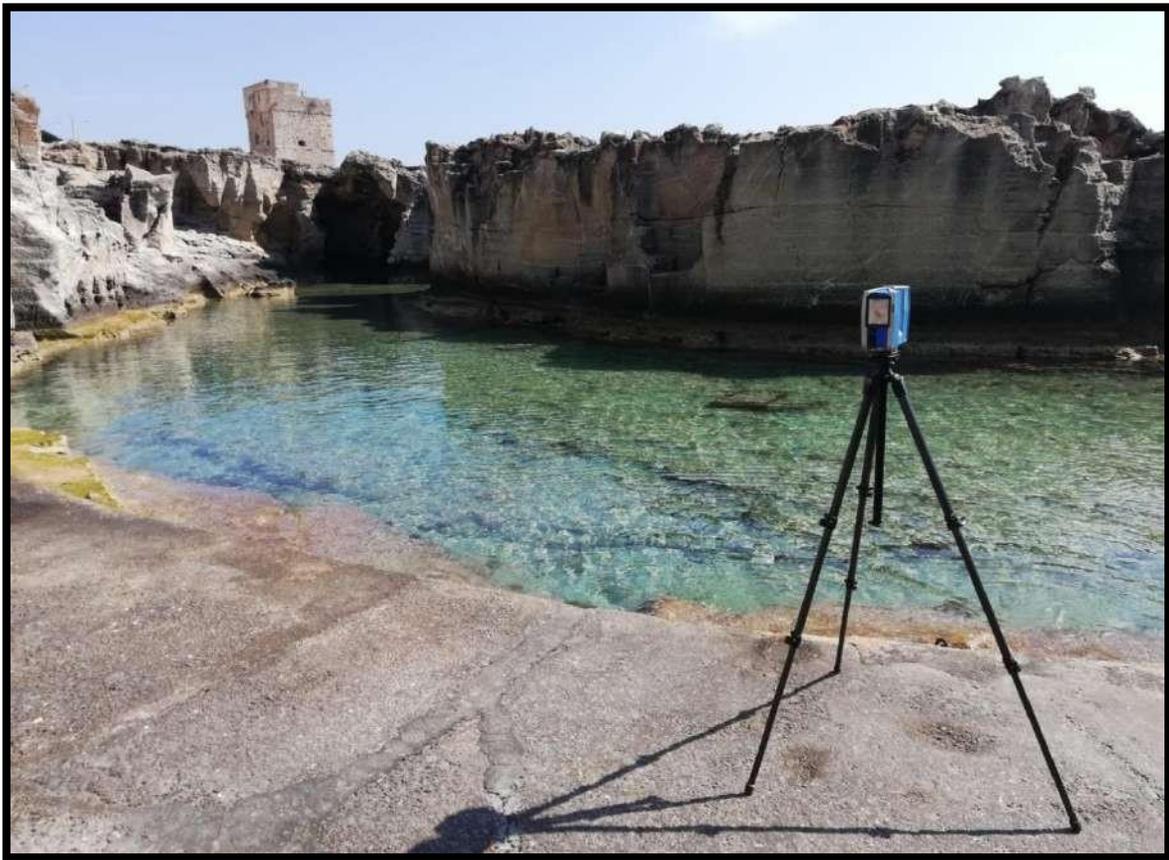


Figura 2. Representación de una posición de escaneo con Faro Focus X330. Fuente: elaboración propia



El software FARO Scene se ha utilizado tanto para la recopilación como para el procesamiento de datos. Para el procesamiento de datos, solo se realizaron los pasos esenciales, es decir, filtrar los datos de los puntos incorrectos de la alineación de la nube de punto, generar una nube de puntos con densidad homogénea y exportar los datos. Con el fin de reducir el ruido y mejorar la calidad general de los datos escaneados, se pueden aplicar filtros al archivo de datos escaneados para eliminar los valores atípicos o puntos con un valor de retorno de reflexión bajo (menos preciso). Posteriormente, después de que todos los datos del escáner hayan sido filtrados, deben ser guardados para producir un modelo completo de nube de puntos en 3D. Para la alineación de los datos se requiere un mínimo de tres objetivos de referencia disponibles en al menos dos escaneos diferentes; los objetivos han sido identificados automáticamente por el software a través de las esferas colocadas en el sitio durante las operaciones de estudio. Finalmente, la nube de puntos puede ser exportada para ser integrada con la nube fotogramétrica.

Adquisición y elaboración de datos aerofotogramétricos

En el estudio de caso probamos un DJI Mavic Pro, que es un medio “ligero” que pesa unos 1400 g. El Mavic Pro es un cuadricóptero con cámara integrada capaz de grabar vídeo en 4K hasta 30 fotogramas por segundo y transmitir la señal de vídeo en HD a smartphones, tablets y dispositivos externos a través de un software de la misma empresa (DJI GO). La cámara está equipada con un sensor Sony CMOS Exmor de 12.4 megapíxeles (tamaño 6.3 x 4.7 mm, tamaño del píxel 1.56 x 1.56 μm), tiene un objetivo cuadrangular con una distancia focal equivalente de 20 mm, f/2.8 y FOV 94°. Tiene una serie de sensores que ayudan al piloto a conducir y mantener la posición en el vuelo. Para la adquisición de los fotogramas, se eligió un procedimiento de captura de imágenes del plan de vuelo, previamente programado en la aplicación DJI Ground Station. Se tomaron 227 imágenes, con un 80% de superposición, una altura de vuelo de 40 m, siguiendo dos franjas ortogonales: la primera de sur a norte, la segunda de oeste a este. Luego, para reconstruir con técnica fotogramétrica también el área de las cuevas hacia el mar y para garantizar una buena superposición también con el levantamiento del TLS, se hizo una adquisición manual con cámara inclinada de 45°. El vuelo en modo manual capturó tanto las paredes del interior de la Piscina Natural como las del exterior, adquiriendo otras 337

imágenes, garantizando una superposición estimada en promedio del 80% entre las tomas. Por lo tanto, en total el proyecto aerofotogramétrico aéreo incluye 564 imágenes. La **figura 3** muestra un detalle de las posiciones de la cámara (Camera positions).



Figura 3. Posiciones de la cámara: en azul las imágenes tomadas del plan de vuelo, en rosa las imágenes tomadas en modo manual. Fuente: elaboración propia

El procesamiento de los datos tuvo lugar en el entorno de Agisoft Metashape, versión 1.5.3 build 8469; el proceso de restitución se basa en cuatro pasos bien conocidos: Align Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh y Build Texture. En la fase de Align Photos se calculan los parámetros internos de la cámara (distancia focal, posición del punto principal, distorsiones radiales y tangenciales) junto con las determinaciones de la posición espacial y la generación de la Sparse Cloud.

En la siguiente fase se vuelve a proyectar un mayor número de píxeles, para cada cámara alineada, generando lo que es la Dense Cloud; luego, en la fase Build Mesh, los puntos de la nube se someten a algoritmos de triangulación para tener un modelo poligonal sujeto a la proyección de la textura en la fase Build Texture. En la fase Align Photos se han establecido los parámetros: Accuracy = High, Key point limit = 4000, Tie point limit = 4000, obteniendo 463,038 puntos. En la elaboración de la Dense Cloud los parámetros utilizados fueron: Quality = High, Depth filtering = Disable, con un total de 101,606,121 puntos. Para la Mesh, los parámetros establecidos fueron: Surface type: Arbitrary; Source data: Dense Cloud y Face cont: Medium.

Para la proyección de la textura en el modelo poligonal, los parámetros elegidos son: Mapping Mode: Generic; Blending Mode: Mosaic; Texture size: 4096 x 1. A partir del procesamiento completo de las tomas fotogramétricas en este entorno de software se ha generado el modelo 3D de toda el área de la Piscina Natural tanto como una nube de puntos como un modelo poligonal. En la **figura 4** se representa una vista en perspectiva de la Dense Cloud en el área de la Grotta Matrona.

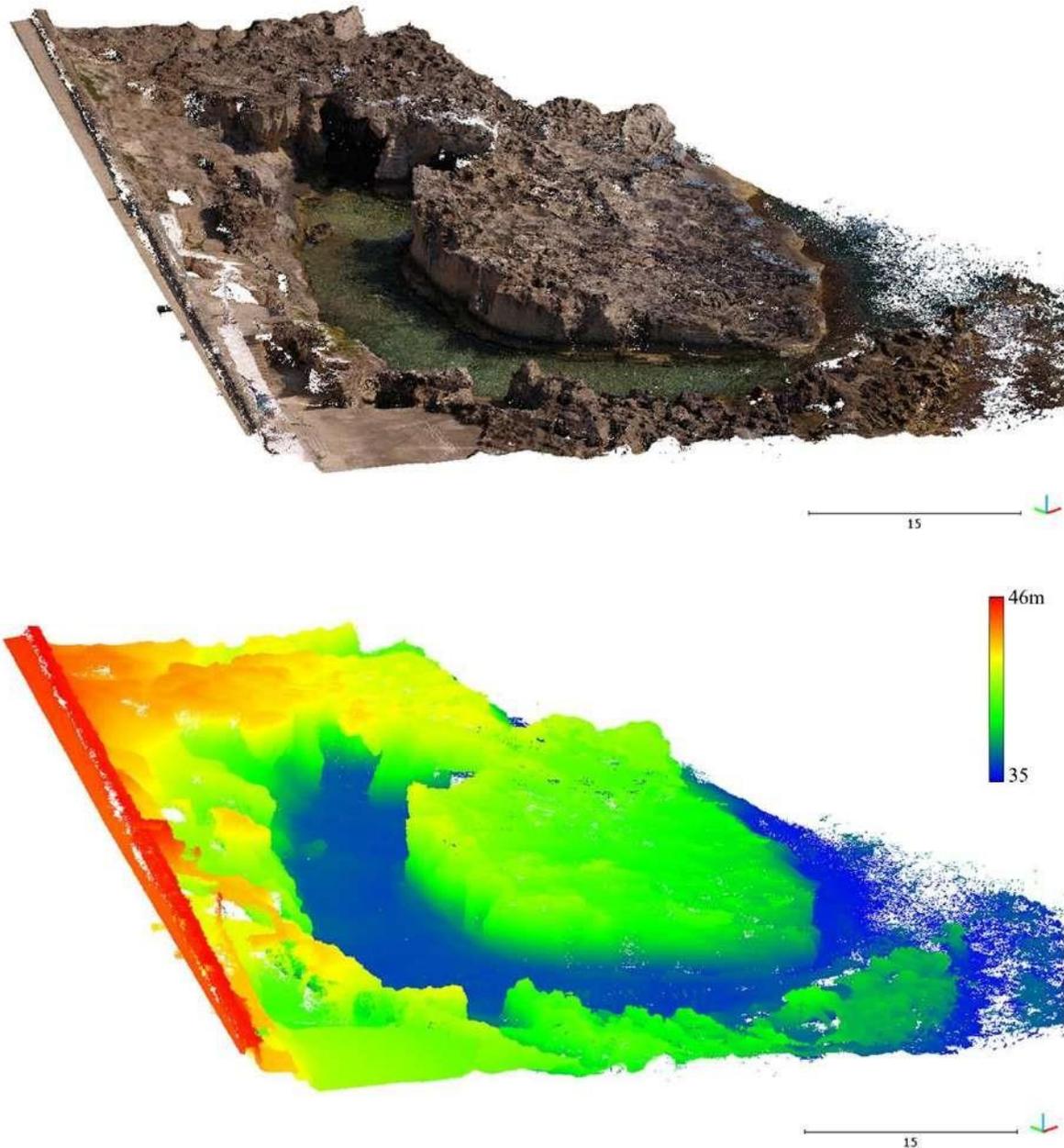


Figura 4. Vista de perspectiva de la Dense Cloud en color (arriba) y por altitud (abajo).

Fuente: elaboración propia

GPC – Ground Control Point

El levantamiento utilizando el escáner láser permite obtener un conjunto de coordenadas tridimensionales del objeto, en un sistema de referencia relacionado con el instrumento. Para georreferenciar todos los escaneos en un mismo sistema de referencia, este se realizó con un apoyo topográfico; para simplificar el procedimiento, se utilizaron puntos a tierra con objetivos fotogramétricos (dimensión 60x60 cm) y tomados con antena GNSS (Global Navigation Satellite System), tanto para georreferenciar la nube de puntos del escáner láser como la nube fotogramétrica en el mismo sistema de referencia. Para medir las coordenadas de los objetivos se ha utilizado un receptor Geomax Zenith 25 con antena GNSS, la cual puede rastrear todos los satélites con la máxima intensidad de señal disponible y realiza comprobaciones regulares e independientes. Las mediciones se hicieron en 10 objetivos fotogramétricos.

El sistema de referencia utilizado es el UTM/ETRF00 con cuotas elipsoidales. La precisión alcanzada en la planimetría es, en promedio, subcentimétrica, mientras que en la altimetría es de unos 2.5 cm. Los restos o residuos de GCP, obtenidos mediante el cálculo fotogramétrico en las direcciones Este (E), Norte (N) y h (altura elipsoidal), se muestran en la **tabla 1**; es de destacar que el promedio de residuos fue inferior a 4 cm. Cabe señalar también que el error medio más alto en los tres ejes se da a lo largo de la altura (h); esto se debe probablemente a la ubicación del GCP a alturas aproximadamente similares (limitación debida a las condiciones orográficas de la zona) y a la menor precisión en la altimetría de la medición del GNSS en modo nRTK (Barba, Limongiello y Mele, 2016).

Tabla 1.

Errores de GCP del cálculo fotogramétrico

| GCP | N ERROR (m) | E ERROR (m) | Z ERROR (m) | 3D ERROR (m) |
|-----|-------------|-------------|-------------|--------------|
| P1 | 0.020 | 0.015 | 0.050 | 0.056 |
| P2 | 0.012 | 0.016 | 0.006 | 0.021 |
| P3 | 0.011 | 0.007 | 0.108 | 0.108 |
| P4 | 0.015 | 0.004 | 0.020 | 0.026 |
| P5 | 0.004 | 0.016 | 0.012 | 0.020 |
| P6 | 0.000 | 0.002 | 0.010 | 0.010 |
| P7 | 0.011 | 0.006 | 0.003 | 0.013 |

| GCP | N_{ERROR} (m) | E_{ERROR} (m) | Z_{ERROR} (m) | 3D_{ERROR} (m) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| P8 | 0.012 | 0.021 | 0.031 | 0.039 |
| P9 | 0.008 | 0.015 | 0.020 | 0.026 |
| P10 | 0.013 | 0.001 | 0.024 | 0.027 |
| Media (m) | 0.011 | 0.010 | 0.028 | 0.035 |

Fuente: elaboración propia

Resultados y discusión

De las adquisiciones anteriores con el TLS y aereofotogrametría se obtuvo, respectivamente, una nube de puntos del TLS de unos 132 millones de puntos que engloba, principalmente, la zona de la Piscina Natural y sus cuevas, mientras que de la aereofotogrametría con VANT se obtuvo una nube de puntos de unos 102 millones de puntos que representa todo el tramo de costa a lo largo de unos 600 m. Las nubes de puntos se alinearon en el mismo sistema de referencia, UTM/ETRF00, dentro del entorno del software CloudCompare (Girardeau-Montau, Roux, Marc y Thibault, 2005), mediante la rototraslación de la nube de escáner láser en la nube aerofotogramétrica, utilizando las coordenadas de los objetivos de 60x60 cm utilizadas dentro del proceso fotogramétrico.

El error promedio de alineación en los puntos homólogos identificados es de unos 10.3 cm. La alineación entre las dos nubes de puntos se ha mejorado aún más a través de los procedimientos de ICP – Iterative Closest Point (Ronchi, Limongiello y Ribera, 2019). El error de alineación final promedio entre las nubes de puntos se ha estimado en Cloud Compare y es igual a unos 7 cm (**figura 5**). A partir de la alineación y unión de las nubes de puntos adquiridas con el TLS y la aerofotogrametría se obtuvieron varias elaboraciones métricas: en particular, solo a partir de la aerofotogrametría se extrajo una ortofoto con una resolución de 2 cm y un DSM de toda la costa y las curvas de nivel con un intervalo de 50 cm (**figura 6**), mientras que a partir del modelo del TLS, integrado con el modelo aerofotogramétrico, se obtuvieron los espesores de las rocas de todas las secciones abovedadas y, en particular, de la Grotta Matrona.

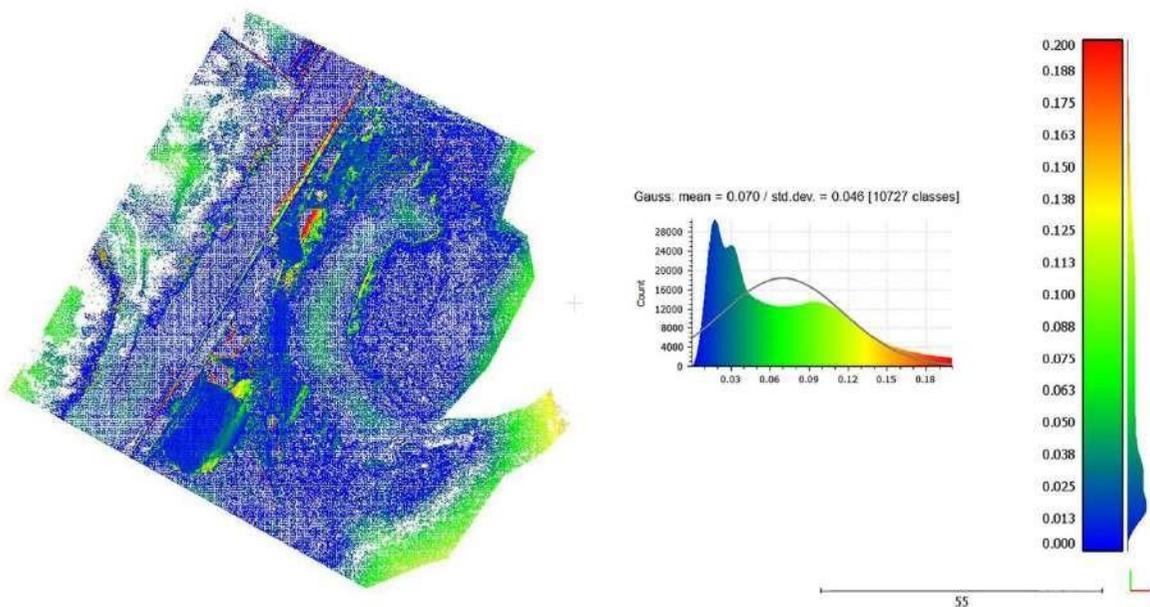


Figura 5. “Cloud to Cloud” distancia entre la nube TLS y aerofotogramétrica. Fuente: elaboración propia

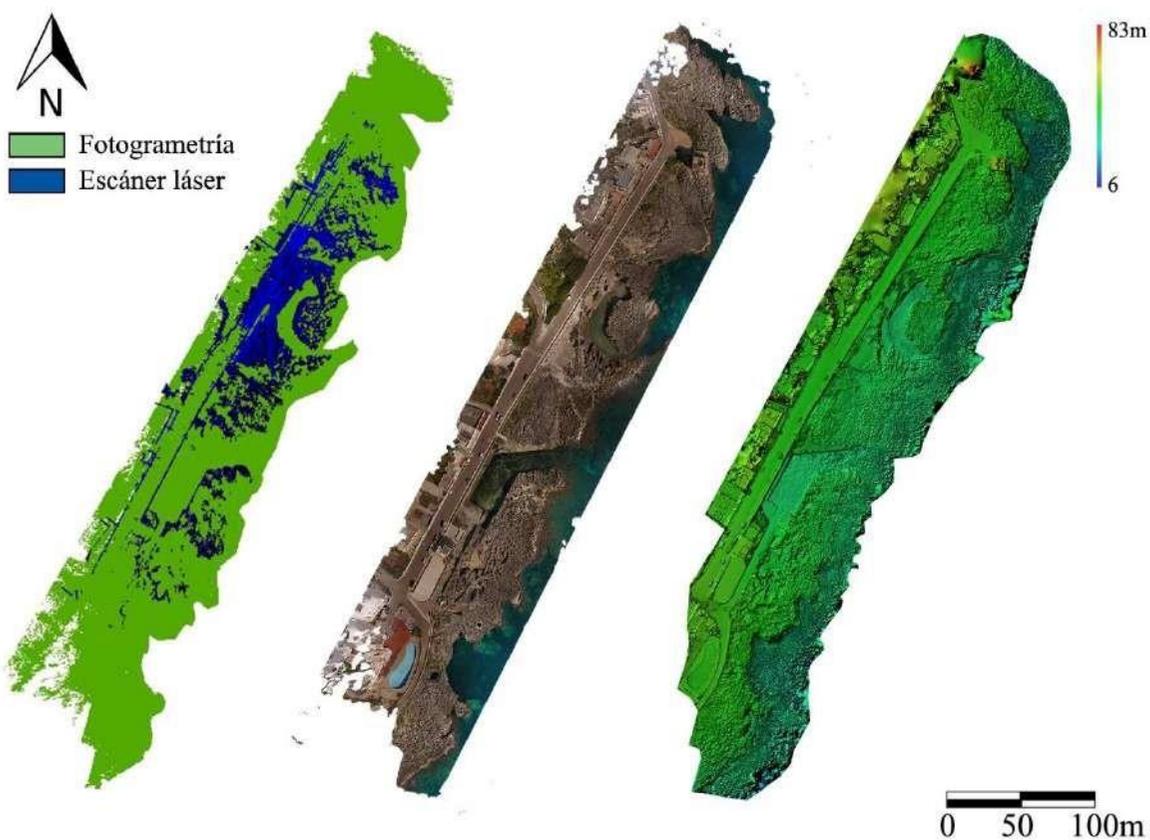


Figura 6. De izquierda a derecha: entrelazado de nubes de puntos; ortofoto nadiral con VANT; DSM aerofotogramétrico. Fuente: elaboración propia

La **figura 7** muestra el diagrama de flujo de la metodología aplicada para la modelización tridimensional de la zona de la piscina natural. Para calcular el grosor de los tramos cubiertos con bóvedas, se realizó un modelo poligonal solo de la zona de la Piscina Natural; a continuación, se utilizó el algoritmo, basado en la interpolación con el método de Poisson (Kazhdan, Bolitho y Hoppe, 2006).

En la malla así obtenida se identifican entonces una serie de puntos, cuya distancia corresponde al punto de reconstrucción que se obtendrá en la nube final (**figura 8**). Estos puntos representan posiciones aproximadas para la nube 3D. A partir del modelo de nubes de puntos se realizaron una serie de secciones, ortofotos a partir de las cuales fue posible calcular los espesores y volúmenes deseados (**figura 9**).

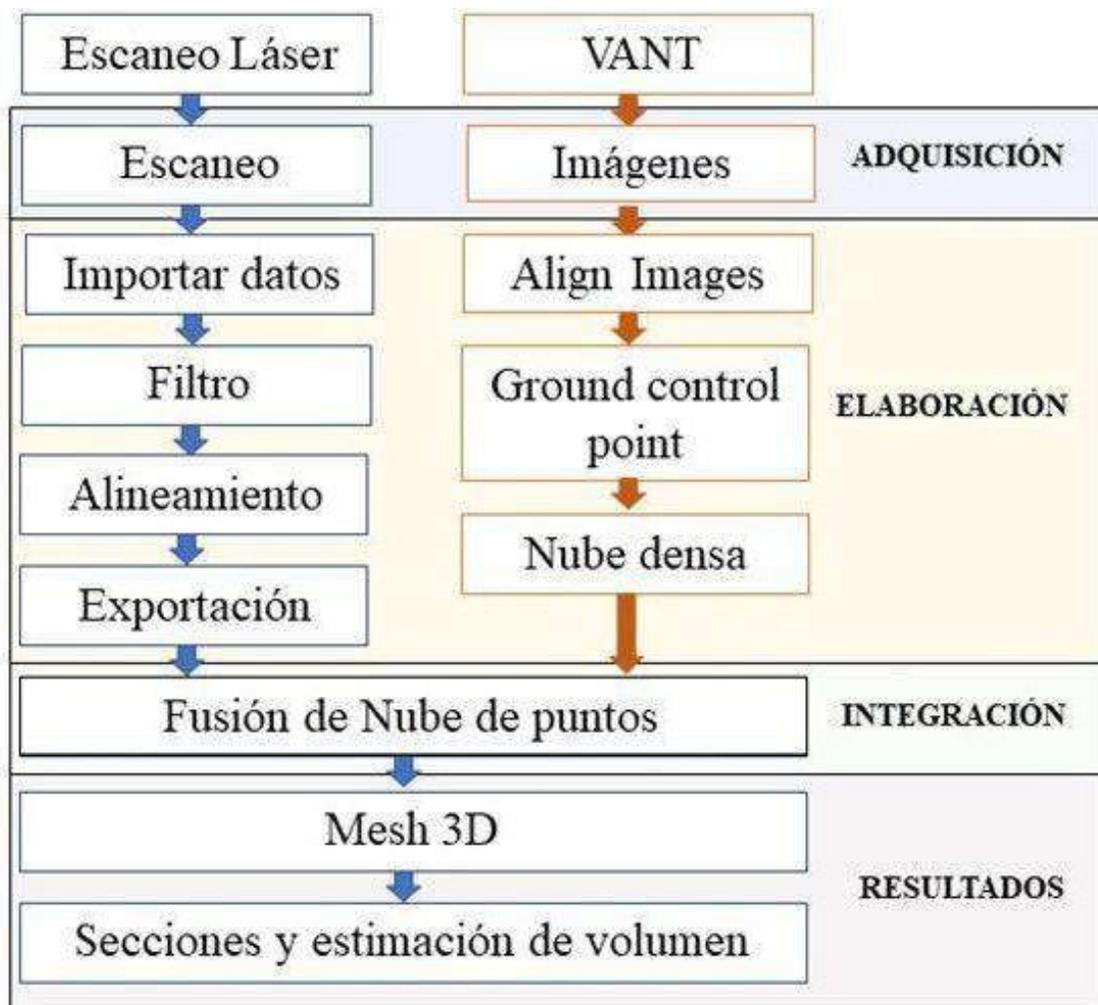


Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para la modelización tridimensional de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia

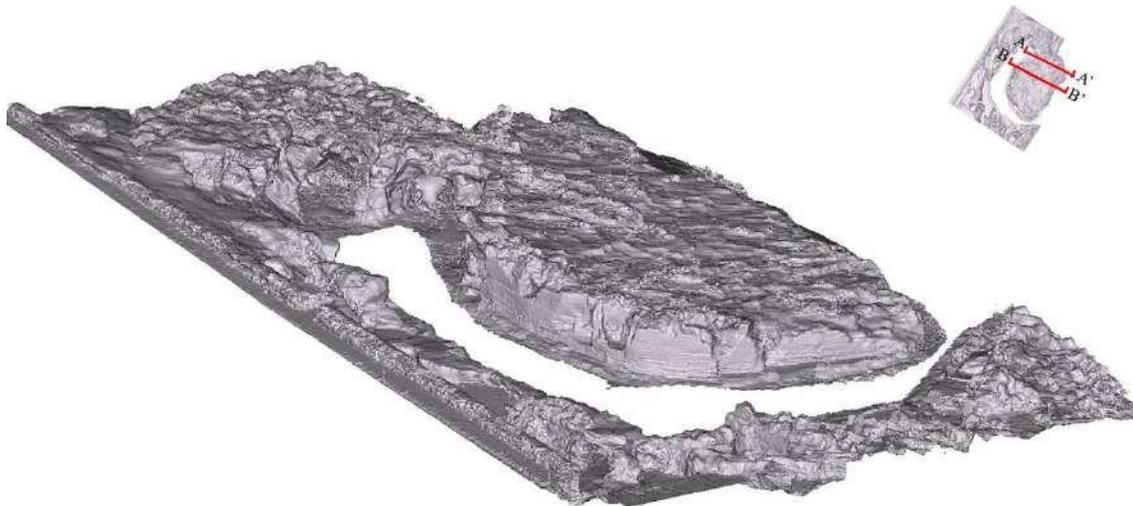


Figura 8. Vista en perspectiva de la malla poligonal. Fuente: elaboración propia

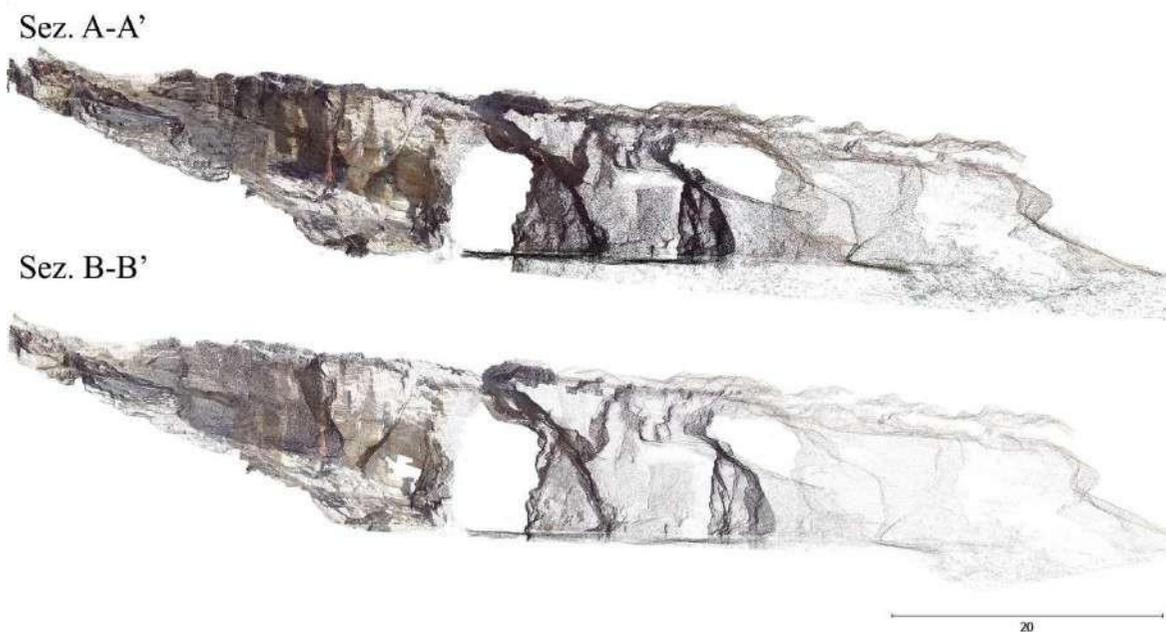


Figura 9. Secciones A-A' y B-B' de la nube de puntos de la Grotta Matrona. Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo fue aplicar una metodología capaz de integrar la información geométrica medida con un TLS con la procedente de un sensor 2D -en particular un VANT- para la documentación y posterior monitoreo de los bienes naturales



difíciles de medir con las técnicas topográficas tradicionales. El trabajo muestra que en la fase de campo es necesario adquirir información redundante de ambas herramientas, a fin de estimar los posibles errores de alineación y, por lo tanto, la precisión métrica de la nube de puntos final y medir las referencias externas, como los objetivos fotogramétricos, también con técnicas topográficas como sistemas GNSS. La medición de puntos comunes permite, de hecho, la rototraslación de las nubes de puntos en el mismo sistema de referencia.

El uso combinado de sensores activos y pasivos representa una doble ventaja: la nube de escáner láser es capaz de detectar áreas que son difíciles de medir con la técnica fotogramétrica, mientras que la misma técnica fotogramétrica compensa la pobre información RGB de la instrumentación range-based.

Los resultados métricos de la alineación han calculado para la fotogrametría aérea un promedio de residuos del orden de 3.5 cm, mientras que, a partir de la alineación de las nubes de puntos (escáner láser y fotogrametría aérea), hay un residuo métrico de alineación promedio de unos 7 cm. El efecto fotorrealista del modelo tridimensional permite investigar con mayor precisión el estado de conservación del objeto, generando secciones, midiendo espesores y volúmenes en la roca, que son difíciles, si no imposibles de estimar con las técnicas tradicionales.

El estudio de caso demuestra una vez más, tal y como ya lo han señalado varios autores que, para la innovación tecnológica disponible hoy en día, el mejor enfoque para un levantamiento tridimensional en el campo del Patrimonio Cultural ya sea histórico o natural, es la integración de los datos del escáner láser (TLS o Lidar) y los datos fotogramétricos.

Literatura citada

Barba, S., Limongiello, M. y Mele, F. (2016). Una herramienta VANT experimental para una metodología cada vez más consolidada: el caso de Via di Nocera en Pompeya, XVIII Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, 21-25. Recuperado de: https://www.academia.edu/42344548/Uno_strumento_UAV_sperimentale_per_una_metodologia_sempre_pi%C3%B9_consolidata_il_caso_di_Via_di_Nocera_a_Pompe

[i Una herramienta VANT experimental para una metodolog% C3% A Da cada ve z m% C3% A l s consolidada el caso de Via di Nocera en Pompeya](#)

Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S. y De Troia, V. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W1, pp.73-80. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/235742814_Comparison_between_laser_scanning_and_automated_3d_modelling_techniques_to_reconstruct_complex_and_extensive_cultural_heritage_areas

Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R. y Thibault, G. (2005). Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (Part 3/W19), pp. 30-35. Recuperado de:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.4047&rep=rep1&type=pdf>

Kazhdan, M., Bolitho, M. y Hoppe, H. (2006). Poisson surface reconstruction. In Proc. of the Eurographics Symposium on Geometry Processing, pp. 61-70. Recuperado de:

<http://hhoppe.com/poissonrecon.pdf>

Kraus, K. (2007). Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans. Berlín, Boston: De Gruyter. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110892871>

Lowe, D.G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, 60(2), 91-110. <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf>

Ronchi, D., Limongiello, M. y Ribera, F. (2019). Field work monitoring and heritage documentation for the conservation project: The “Foro Emiliano” in Terracina (Italy). Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W15, 1031–1037. Recuperado de:



[https://www.academia.edu/40277257/Field work monitoring and heritage documentation for the conservation project The Foro Emiliano in Terracina Italy](https://www.academia.edu/40277257/Field_work_monitoring_and_heritage_documentation_for_the_conservation_project_The_Foro_Emiliano_in_Terracina_Italy)

Segales, A., Gregor, R., Rodas, J., Gregor, D. y Toledo, S. (2016). Implementation of a low cost UAV for photogrammetry measurement applications. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Arlington, VA, USA, pp. 926–932. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/304816801_Implementation_of_a_low_cost UAV for photogrammetry measurement applications](https://www.researchgate.net/publication/304816801_Implementation_of_a_low_cost_UAV_for_photogrammetry_measurement_applications)

Costos y beneficios sociales de mejoras ambientales del pozo El Pital, Planeta Rica, Córdoba, Colombia

Costs and social benefits of environmental improvements in El Pital well, Planeta Rica, Córdoba, Colombia

Manuel Lozano Martínez
Ingeniero Sanitario y Ambiental
CD Ambiental
manuelj9524@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8416-9035>
Colombia

Dayana Ruíz Ramos
Ingeniero Sanitario y Ambiental
CD Ambiental
dayanaruizramos@outlook.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3662-6529>
Colombia

Angélica Solano Agudelo
Ingeniero Sanitario y Ambiental
CD Ambiental
angelica_solano@hotmail.es

 <https://orcid.org/0000-0002-7633-1266>
Colombia

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar los costos y beneficios sociales asociados a mejoras ambientales, basadas en escenarios económicos hipotéticos en el pozo “El Pital” (Planeta Rica-Córdoba). Se utilizaron los métodos económicos de valoración contingente y costo-efectividad. Para ello, se desarrolló trabajo en campo y se aplicaron encuestas a sus beneficiarios. Los datos obtenidos fueron codificados y registrados en el software STATA 12.0, definiendo de esta forma los beneficios hipotéticos, a través de la ecuación de Hanemann. Luego se presupuestaron los costos asociados a las medidas ambientales planteadas y se estimó la relación costo/beneficio. Dentro de los principales resultados se tiene que, a partir de las condiciones socioambientales existentes, se plantearon tres medidas hipotéticas que permitirían una conservación adecuada de El Pital: 1) construcción de un sistema de abastecimiento, 2) impermeabilización de la zona de recarga de los carrocoches y 3) siembra de vegetación nativa. La disposición a pagar por cada litro de agua para la aplicación de las medidas antes descritas fue de \$271 pesos colombianos por cada 20 litros de agua comprados. Se concluye que las personas circunscritas al pozo determinan su importancia con relación a los litros de agua que obtiene de él, el impacto en su trabajo y la historia cultural del mismo. Cabe resaltar que aun cuando las medidas sean viables socialmente y en escenarios económicos de carácter hipotéticos, desde la perspectiva sanitaria y ambiental seguiría significando una afectación al recurso y a las personas.

Palabras claves: Disposición a pagar, Métodos económicos, Mejoras, Recurso Hídrico, Acuífero

Abstract

The objective of this work was to determine the social costs and benefits associated with environmental improvements, based on hypothetical economic scenarios in the “El Pital” well (Planeta Rica-Córdoba). The economic methods of contingent valuation and cost-effectiveness were used. For this, fieldwork was developed, and surveys were applied to its beneficiaries. The data obtained were coded and recorded in the STATA 12.0 software, thus defining the hypothetical benefits, through the Hanemann equation. Then the costs associated with the proposed environmental measures were budgeted and the cost / benefit ratio was estimated. Among the main results, based on the existing socio-environmental conditions, three hypothetical measures were proposed that would allow adequate conservation of El Pital: 1) construction of a supply system, 2) waterproofing of the car recharging area and 3) planting of native vegetation. The willingness to pay for each liter of water for the application of the measures described above was \$ 271 Colombian pesos for each 20 liters of water purchased. It is concluded that the people circumscribed to the well determine its importance in relation to the liters of water obtained from it, the impact on their work and its cultural history. It should be noted that even when the measures are socially feasible and in hypothetical economic scenarios, from the health and environmental perspective, they would continue to affect the resource and people.

Keywords: Willingness to pay, Economic methods, Improvements, Water resources, Aquifer

Introducción

Estimar un valor monetario a los recursos naturales permite comprender la importancia de su conservación y ayuda a la construcción de una visión que permita un adecuado manejo. Una valoración positiva de los pobladores de un área para los servicios ambientales facilita la toma de decisiones en lo referente al recurso (Brito-Mancero, Yaulema-Garcés y Santillana-Quiroga, 2020; Sepúlveda-Vargas, 2008; Pearce y Turner, 1990).

Según Barzev (2002) y su Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales y el Global Water Partnership-GWP (2013), se señala que se establecieron mecanismos institucionales para Sudamérica, definiendo los derechos de propiedad y uso de los recursos naturales y el medio ambiente e identificó aquellos costos ambientales (sociales) no reflejados adecuadamente por el mercado, a fin de determinar las tasas de uso, las medidas de mitigación, los sistemas de compensación y las regulaciones que asegurarán el mayor nivel de beneficios que estos son capaces de generar en forma sustentable.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO (2015), la demanda mundial de agua está mayormente condicionada por



diversos factores (el crecimiento demográfico, las políticas de seguridad alimentaria entre otros). Se prevé que la demanda por el recurso aumente en un 55% para el 2050. Por lo tanto, muchos países están en proceso de realizar progresos en la gestión integral del recurso hídrico, mientras que otros se han estancado en el intento.

En Colombia, según Giraldo (2008), a partir de la formulación de la Ley 142 de 1994, las empresas prestadoras del servicio de agua para consumo doméstico iniciaron un proceso orientado a implementar manejos financieros para asegurar la calidad y sustentabilidad del servicio a largo plazo. Se estableció también que todas ellas se rigieran bajo una condición comercial corriente con una rentabilidad similar a las de cualquier otra empresa con niveles de riesgos semejantes. Para los usuarios, esto ha significado mejores condiciones de acceso al recurso (cobertura), calidad, continuidad, pero también, el pago de un mayor precio por el servicio y, en consecuencia, una favorable reducción del consumo. Por ende, se ve como la legislación de este país ejerce márgenes de rentabilidad financiera sobre el agua.

A través de la Resolución 1084 de 2018 y como resultado del trabajo del Grupo de Análisis Económico para Sostenibilidad de la Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente, 2020), se adoptó la Guía de aplicación de la Valoración Económica Ambiental (VEA), la cual tiene como objetivo orientar a las autoridades ambientales y al público general, respecto a la aplicación de las metodologías de valoración disponibles, de manera que se promueva la generación de información como un criterio técnico de apoyo al proceso de toma de decisiones en el manejo y la conservación del patrimonio natural de la Nación.

En términos generales, la Valoración Económica Ambiental consiste en expresar en dinero las ganancias de bienestar social que se producen por la protección del medio ambiente o las pérdidas generadas por su deterioro. Así, la VEA permite contar con un criterio técnico adicional para la toma de decisiones relacionadas con la implementación de la política ambiental, por parte de las autoridades ambientales del país. Adicionalmente, la generación de este tipo de información fortalece los procesos encaminados a determinar la viabilidad ambiental de políticas, planes, programas y proyectos (Minambiente, 2020).



Un ejemplo claro de esta situación es el municipio de Planeta Rica – Córdoba, Colombia, el cual cuenta con un pozo llamado El Pital, ubicado actualmente en su casco urbano, en la manzana 096 según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que cuenta con una área aproximada de 500 m² (Concejo Municipal de Planeta Rica, 2000) y que además es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano que han adoptado los habitantes de la región desde la llegada de los primeros pobladores de la zona. Este municipio cuenta con el servicio del acueducto municipal para el abastecimiento de agua en casi toda la población, sin embargo, por cuestiones culturales, esta agua no se utiliza para consumo humano, sino solo para labores domésticas y demás, que no impliquen su ingesta bajo ninguna circunstancia.

Cabe resaltar que el cuerpo de agua subterráneo del que se abastece el Pital, está sometido a algunos factores que lo afectan, siendo la contaminación uno de ellos, esto se debe a que las excretas de los equinos que son utilizados para el transporte del agua por todo el municipio entran en contacto con el recurso de forma directa o indirecta, contaminándolo y poniendo en riesgo la salud de quienes beben de esta agua, exponiéndolos a sufrir de enfermedades por las inadecuadas condiciones sanitarias del lugar; por otra parte, hay que resaltar que la estabilidad económica de muchas familias depende del transporte de este recurso.

El Pital, según la valoración que le concedió el Plan Básico de Ordenamiento Territorial – PBOT, es la de “patrimonio cultural, ambiental e histórico”; no obstante, no cuenta con el acompañamiento necesario para su adecuado cuidado y conservación, a pesar de que se encuentra en condiciones decadentes. Hoy, “la lata de agua”, que aproximadamente equivale a 5 galones (20 litros), tiene un precio de \$500.00 (quinientos pesos colombianos). El costo histórico del agua en el año 1999 era de \$40/galón y el costo actual del agua es de aproximadamente \$80/galón, es decir, que en aproximadamente 17 años el precio del galón ha aumentado un 50%, lo que refleja una situación preocupante con respecto a la valoración actual del recurso (PBOT, 2000).



En este sentido, a través de este estudio se busca valorar económicamente el recurso natural y sus servicios ambientales, con el fin de establecer lineamientos o acciones que contribuyan al cuidado y protección del pozo El Pital.

Metodología

Los métodos de valoración económicos que se utilizaron para estimar los costos y beneficios socioambientales del pozo El Pital fueron la valoración contingente y el costo-efectividad. Se trabajó con fuentes de información primaria obtenidas en campo mediante encuestas y cuestionarios, además de información secundaria proveniente de estudios socioeconómicos y ambientales de la zona. La caracterización de las condiciones medioambientales del Pozo el Pital se realizó a partir de la valoración obtenida con la matriz de impactos ambientales de actividades existentes propuesta por Arboleda-González (2008). Para ello, se llevaron a cabo visitas a campo, identificando los impactos y consignándolos en la respectiva matriz, además se utilizó información secundaria (PBOT, 2000; Álvarez y Gómez, 2016) sobre las condiciones ambientales del pozo. Para la recolección de los datos asociados a la medición de la importancia que los habitantes del municipio le concedían a El Pital y el servicio ambiental que este presta, se diseñó, construyó y validó mediante panel de expertos un cuestionario que constaba de 22 preguntas, aplicado a una muestra de 350 viviendas circunscritas al Pozo, que fueron calculadas a partir de un muestreo aleatorio simple de la población total de 3 960 viviendas aledañas al pozo, basándose en la información de viviendas para el año 2017, proporcionadas por el Departamento Nacional de Estadística (DANE).

Para la consolidación de los datos obtenidos en las encuestas realizadas y con el objetivo de conocer la disposición a pagar de la población en cuestión y teniendo en cuenta la importancia que los beneficiarios le daban al Pozo el Pital, además del servicio que este presta, se utilizó el programa STATA 12.0, el cual permitió conocer la disposición a pagar de los habitantes del municipio Planeta Rica para la aplicación de medidas de mejoras ambientales y de saneamiento del pozo.

Por último, el área de estudio se encuentra ubicado en el casco urbano del municipio Planeta Rica, en la manzana 096 según la Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en las coordenadas geográficas $8^{\circ} 17'15''$ Latitud Norte y $75^{\circ} 73'55''$ Longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich (**figura 1**).

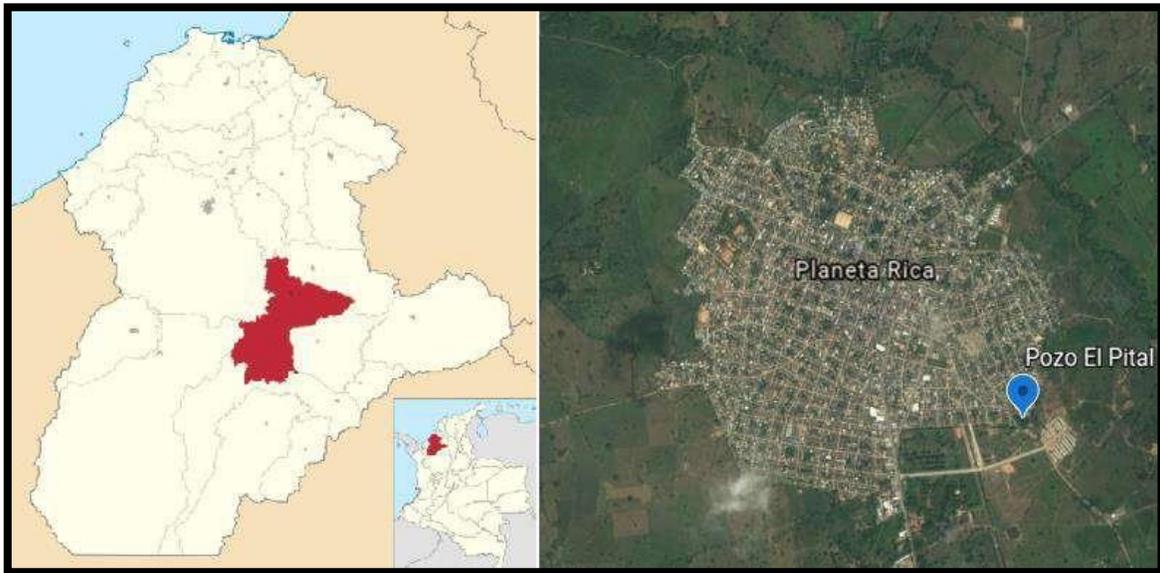


Figura 1. Mapa de ubicación de Córdoba, Planeta Rica, El Pital. Fuente: Google Earth, 2020

Resultados y discusión

Condiciones socioambientales

A partir de la descripción de las condiciones y características en términos ambientales y de sanidad, con relación al uso y consumo del recurso hídrico procedente del Pozo El Pital, se concluyó que las condiciones en las que es aprovechado el recurso hídrico son decadentes y se observó que hay fallas en el sistema de abastecimiento y en la disposición de las excretas equinas procedentes del sistema de transporte del fluido a través del municipio, que vuelven el agua poco apta para consumo humano; este sistema de transporte genera, además, pérdidas del recurso y simultáneamente degrada la calidad visual de la zona.

Selección de métodos de valoración económica de los bienes, servicios e impactos ambientales

De acuerdo con la información que se tiene del Pozo El Pital, se revisó cada uno de los métodos y se seleccionaron aquellos que, a partir de aspectos subjetivos como la calidad visual, determinarían los beneficios por la implementación de las mejoras ambientales. Estos métodos son usados cuando no existe información de mercado ni valores subrogados acerca de las preferencias de los individuos (disposición a pagar o aceptar) respecto de ciertos recursos naturales o servicios ambientales. Así mismo, a partir de estos métodos se valoran los cambios en la productividad humana resultantes de efectos negativos sobre la salud por contaminación o degradación ambiental o cambios en la disponibilidad de recursos naturales.

Los métodos fueron escogidos teniendo en cuenta sus características descriptivas, las cuales se adaptaron a las condiciones de la zona, los cuales fueron los siguientes:

1. Método de Costo–Efectividad
2. Métodos de Valoración Contingente (Mercados contruidos)

Análisis de resultados obtenidos en las encuestas

Con los resultados obtenidos en la encuesta realizada a la muestra de 350 viviendas que hacen parte de la comunidad circunscrita al pozo El Pital, se logró concluir que la principal fuente de abastecimiento para agua de consumo en los hogares, sin importar la edad, el género o el estrato socioeconómico de estas viviendas, es el agua procedente de este pozo. En la **figura 2** se muestran porcentajes de los usos que se les da al agua proveniente del pozo, señalando un 91% (318) para consumo humano, los valores restantes están distribuidos 2% (7) para aseo, 0.58% (2) riego y 6.42% (23) otros usos.

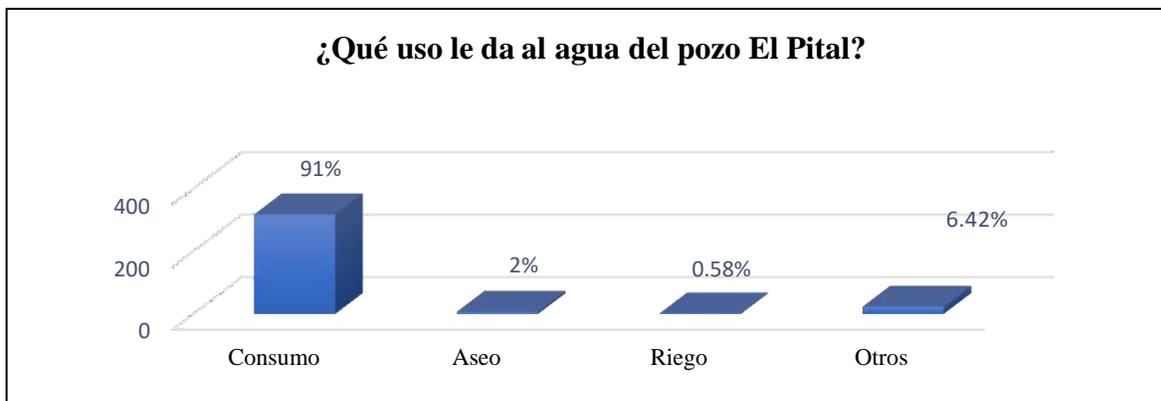


Figura 2. Uso que se le da al agua del pozo. Fuente: elaboración propia

La razón del consumo de esta agua es debido a que, en su mayoría, los pobladores de este municipio consideran que esta agua es de mejor calidad que el agua que brinda el sistema de acueducto municipal, principalmente porque asocian el aspecto del agua del pozo El Pital que en comparación del agua de la red de acueducto posee menor color aparente.

En la **figura 3** se indican las razones por las que las personas consumen el agua del pozo El Pital, indicando 25.72% (90) por cultura, 52.57% (184) por calidad, 7.14% (25) por apariencia, 6.29% (22) por economía y el 8.13% (29) por todo lo anterior.

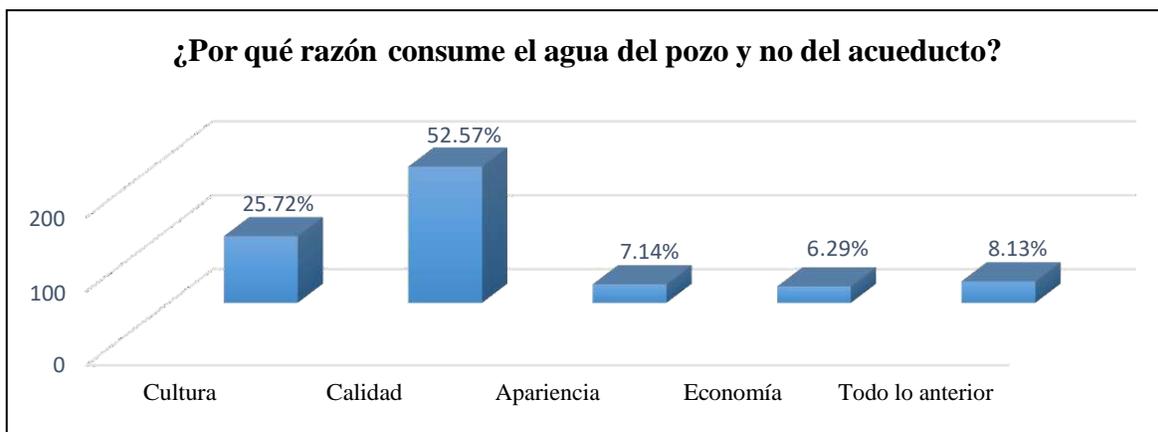


Figura 3. Razones por las que se consume agua del pozo y no del acueducto municipal. Fuente: elaboración propia

El análisis fisicoquímico y microbiológico utilizado para la identificación de los posibles impactos generados en torno al pozo El Pital se toma a partir de estudios

realizados por Álvarez y Gómez (2016), donde se logró identificar que efectivamente la calidad del agua procedente de esta fuente de abastecimiento no posee las condiciones necesarias para considerarse como apta para el consumo humano, así como se muestra en la **tabla 1**.

Tabla 1.

Análisis fisicoquímico y microbiológico en el pozo El Pital

| Parámetros | Muestras | | | Normatividad (decreto 1076/2015) |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| | Aljibe 1 | Aljibe 2 | Aljibe 3 | |
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes totales | Menor a 1 | Menor a 1 | Menor a 1 | 0 ufc/100 ml |
| Coliformes fecales | Menor a 1 | Menor a 1 | Menor a 1 | 0 ufc/100 ml |
| Físico – químicos | | | | |
| Ph | 6.39 | 5.59 | 4.51 | 5 – 9.0 |
| Color aparente | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 15 upc |
| Olor | Inobjetable | Inobjetable | Inobjetable | Aceptable |
| Turbiedad | 0.21 | 0.19 | 0.18 | 2 unt |
| Conductividad | 230 | 195 | 160 | 50 – 1000 micromhos/cm |
| Sustancias flotantes | Ausentes | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| Cloruros | 340 | 190 | 260 | 250 mg/l cl |
| Alcalinidad | 70 | 80 | 80 | 200 mg de caco3 |
| Dureza total | 40 | 31 | 28 | 300 mg/l de caco3 |

Fuente: Álvarez y Gómez (2016)

Para la comunidad del municipio Planeta Rica, la prioridad con respecto a la protección del pozo el Pital, es la del mantenimiento bajo las condiciones ambientales y sanitarias adecuadas y quienes deben ocuparse de este trabajo es el conjunto de la comunidad con las entidades públicas y privadas. La comunidad demostró una disposición positiva a pagar por las mejoras ambientales planteadas en favor del mantenimiento de El Pital, con un 73.72% (258), frente a una negativa de 26.28% (9).

La cantidad de dinero que la comunidad está dispuesta a pagar de más por cada “lata de agua” en pro del mantenimiento del pozo El Pital, según la encuesta aplicada es: el 0.58% (2) está dispuesto a pagar entre \$100-\$300, el 57.71% (202) \$400-\$700, el 39.71% (139) \$800-\$1000 y el 2% (7) más de \$1000 pesos colombianos (**figura 4**).

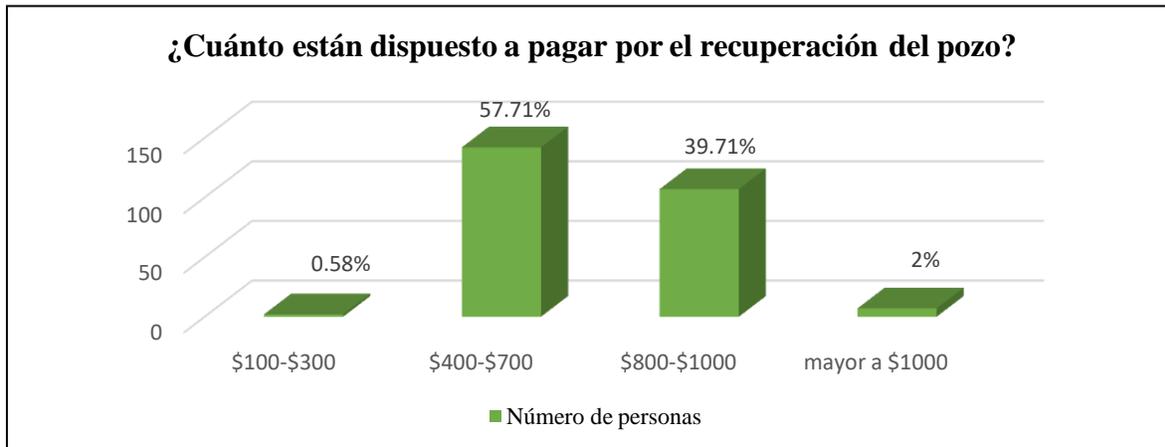


Figura 4. Disposición a pagar por rangos de costos. Fuente: elaboración propia

Metodología para la evaluación de impactos ambientales en actividades existentes

Como resultado de la aplicación de la matriz de impactos ambientales para actividades existentes del Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras y actividades (Arboleda, 2008), se obtuvieron las tres actividades registradas en la **tabla 2**, diseñándose las medidas correspondientes a cada problemática ambiental.

Tabla 2.

Matriz de evaluación de impactos ambientales para actividades existentes

| ASPI | Aspecto ambiental | Impacto ambiental | Significación legal | Significación social | Significación ambiental | | | | Impacto significativo | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|---------------------|----------------------|-------------------------|------------|--------------------|-----------|-----------------------|----|
| | | | | | Probabilidad | Frecuencia | Area de influencia | Severidad | | |
| Extracción de recurso hídrico | Fallas en el sistema de conducción | Desperdicio del recurso hídrico | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 6 | Si |
| | | Deterioro paisajístico | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | Si |
| | | Infiltración de agentes externos en el sistema de conducción hacia el sistema de almacenamiento | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 4 | Si |
| Almacenamiento del recursos hídrico | Fallas en el sistema de llenado | Degradación de la calidad visual del área del pozo | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 7 | Si |
| | | Desperdicio del recurso hídrico | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 11 | Si |
| | | Aumento del | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 6 | Si |

| | volumen de agua infiltrada a la napa freática | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
| Inadecuada disposición de excretas equinas | Contaminación del recurso hídrico por infiltración de contaminantes provenientes de excretas y orinas equinas | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 9 | Si | |
| Obstrucción de la movilidad vehicular y peatonal | Alteración de la movilidad y transporte en la vía Planeta Rica-El Reparo | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 6 | Si | |

Fuente: elaboración propia

Para la elección de los impactos más relevantes y de los cuales se priorizaron las medidas, se basó su puntaje en la significancia legal, social y ambiental, dado que todos representan impactos de importancia; se escogieron aquellos en los cuales al menos dos de las tres significancias hayan resultado de importancia.

Impactos de importancia:

- Contaminación del recurso hídrico por infiltración de contaminantes provenientes de excretas equinas
- Degradación de la calidad visual del área del pozo
- Desperdicio del recurso hídrico

Medidas ambientales para la conservación del área del pozo El Pital

Las medidas que se plantearon para el mantenimiento del pozo fueron:

La construcción de dos tanques de almacenamiento, considerando un volumen total de 121 m³ que, para efectos de construcción se dividirá en dos; el volumen total se obtuvo teniendo en cuenta el número de viviendas que compran esta agua, el volumen de las latas que distribuyen el agua del pozo, el volumen requerido por las expendedoras de agua, las veces en las que se realiza el llenado diario de las mismas y el número de latas que caben en el coche que las transporta.

A partir de estos datos, se estimó que el volumen de cada tanque será de 62 m³, con un dimensionamiento de 2.5 metros de alto, 5 metros de largo y de ancho. Cada estructura



estará construida en concreto de 3000PSI, siguiendo las disposiciones de la NSR 10, Título C, capítulo C.23. El primer tanque tendrá la carga directa de las bombas, es decir, se dará una conducción desde los aljibes a este tanque, mientras que el segundo tanque estará conectado a una tubería que permitirá el llenado directo de los coches, es decir, al sistema de recarga de los caballos; por efectos de cálculo, esta tubería será en PVC de una pulgada y tendrá una pendiente de diseño del 3%.

Con el fin de tener redundancia en el sistema, también se instalará un sistema Bypass que será controlado por un operario. Se asentarán siete bombas, la capacidad de cada bomba y la potencia del motor serán de 1 HP, suficientes para elevar el caudal de bombeo a la máxima altura piezométrica esperada. Dicha obra tendría un costo total de \$27'720.103 pesos colombianos, como lo especifica la **tabla 3**.

La segunda medida planteada está basada en la construcción de una cobertura impermeable en concreto de 3000 psi, con una ubicación inmediata al tanque de abastecimiento número dos, las dimensiones de dicha placa deberán ser de 3.90 m de longitud por 2.40 m de ancho, es decir, contará con un área de 9.36 m². Esta cobertura recibirá las deposiciones equinas de forma directa durante la actividad de llenado de los carrocoches, debido a que aquí será el lugar en donde el caballo se ubicará durante esta actividad, se realizará un lavado periódico de esta área, las aguas residuales generadas serán transportadas a través de una cuneta en V, con una longitud de 30.6 m; dicha cuneta llevará aguas cargadas de orina y heces equinas hacia un tanque de almacenamiento de aguas residuales que estará empotrado en el suelo, las dimensiones de dicho tanque serán de 2 m de altura, de los cuales sobresaldrán 30 cm de la estructura que permitirá el llenado del contenedor, 1.5 m de base y 1.4 m de lado.

Tabla 3.*Tanques de distribución y almacenamiento*

| | Material/Personal | Precio Unitario | Cantidad | Unidad | Precio total |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Materiales en obra(3000psi) | Tubería de 6 mestros | \$ 31 831 | 14 | m | \$ 445 634 |
| | Bypass | \$ 220 281 | 1 | unidad | \$ 220 281 |
| | Codos de 90° | \$ 2 176 | 2 | unidad | \$ 4 352 |
| | Tee de union | \$3 030 | 5 | unidad | \$ 15 150 |
| | Válvula de cierre | \$38 227 | 1 | unidad | \$ 38 227 |
| | Entrada | \$8 238 | 2 | unidad | \$ 16 476 |
| | Salida | \$8 238 | 10 | unidad | \$ 82 380 |
| | Unión | \$ 15 384 | 17 | unidad | \$ 261 528 |
| | Reducción | \$ 37 607 | 1 | unidad | \$ 37 607 |
| | ampliación | \$ 83 400 | 1 | unidad | \$ 83 400 |
| | soldadura liquida | \$ 110 277 | 4 | 1/4 de galón | \$ 441 108 |
| | Concreto impermeabilizado en obra | \$ 450 000 | 28,48 | m3 | \$ 12 816 000 |
| | Operador del pozo | \$ 737 717 | 12 | meses | \$ 8 852 604 |
| | Varilla 5/8" | \$ 3 150 | 820 | unidad | \$ 2 583 000 |
| | | Actividad/Personal | Precio | Cantidad | Unidad |
| Mano de obra | Instalación de tubería | \$ 103 506 | 90 | 20 metros | \$ 465 777 |
| | Vaciado | \$ 13 000 | 28,48 | m3 | \$ 370 240 |
| | Amarrado | \$400 | 3 016 | kg | \$ 1 206 400 |
| | Operador del pozo | \$ 737 717 | 12 | meses | \$ 8 852 604 |
| Total | | | | | \$ 27 720 103 |

Fuente: elaboración propia

Este tanque contará con un sensor de llenado que activará el sistema de bombeo cuando haya llegado al nivel requerido, dicho sistema impulsará el agua residual almacenada a través de un sistema de tuberías hacia un posible predio o huerta localizada en el área rural ubicada en la proximidad del pozo El Pital. Cabe resaltar que los costos de inversión en el sistema de conducción y bombeo de estas aguas ricas en nutrientes hacia el predio a regar los asumirá el propietario o beneficiario de este servicio, con el que eventualmente se pactarán los términos de uso del agua residual, con un costo real total de \$2'393.165 pesos colombianos, asociados a los gastos registrados en la **tabla 4**.

Tabla 4.*Placa de concreto y aprovechamiento de las deposiciones equinas*

| | Material | Precio Unitario | Cantidad | Unidad | Precio total |
|------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------|---------------|---------------------|
| Materiales en obra(3000 psi) | Cemento | \$19 000 | 26 | bultos | \$494 000 |
| | Grava | \$55 500 | 2,21 | m3 | \$122 655 |
| | Arena | \$25 000 | 1,52 | m3 | \$38 000 |
| | Agua | \$25 | 673 | L | \$16 825 |
| | Varilla 5/8" | \$3 150 | 40 | Unidad | \$126 000 |
| | Varilla 1/2" | \$1 995 | 40 | Unidad | \$79 800 |
| | Bomba de agua residual 1/2 | \$490 000 | 1 | Unidad | \$490 000 |
| | Salida | \$8 238 | 1 | Unidad | \$8 238 |
| | Cuneta | \$24 927 | 31 | m | \$772 737 |
| | Malla electrosoldada 1/4" | \$45 000 | 1 | m2 | \$45 000 |
| | Personal | Actividad | Cantidad | Unidad | Precio total |
| Mano de obra | Calculista | \$6 200 | 14 | m2 | \$86 800 |
| | Amarrado | \$400 | 170 | kg | \$68 000 |
| | Vaciado | \$13 000 | 3.47 | m3 | \$45 110 |
| Total | | | | | \$2 393 165 |

Fuente: elaboración propia

La tercera medida se divide en dos actividades, la primera es la reforestación del área circundante al pozo El Pital con el árbol nativo “campano” (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.), que permitirían mejorar la capacidad de infiltración del agua hacia los aljibes que se abastecen de agua subsuperficial y del acuífero mismo por medio de la generación de mulch y por las características de sus raíces. Así mismo, se construirá una cerca para evitar el acceso de animales que pongan en peligro los árboles plantados, cada árbol estará separado 20 metros el uno del otro, colocándose a lo largo de todo el perímetro del área culturalmente conocida como del pozo.

La distancia entre los árboles fue escogida de tal forma que no perturbara el crecimiento entre uno y otro, además se tuvo en cuenta el espacio requerido para los factores limitantes de la planta (luz, nutrientes, agua, entre otros). La segunda actividad corresponde a las capacitaciones, las cuales estarán a cargo de un equipo de trabajo conformado por un ingeniero ambiental, un trabajador social y acompañamiento de la alcaldía de Planeta Rica; se llevarán a cabo en ocho grupos de 300 personas, ya que es importante que se vinculen a todas las personas circunscritas (3 960 habitantes) al pozo, se estima que cada sesión de capacitación durará alrededor de 60 a 90 minutos.

Los costos asociados a esta medida ascienden a los \$14'002,734.00 pesos colombianos relacionados a los gastos registrados en el presupuesto presentado en la **tabla 5**.

Tabla 5.

Bosque de galería y cerca

| Equipo | Material | Precio Unitario | Cantidad | Unidad | Precio total | |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|-----------|-------------------|--------------|
| | Herramienta menor | \$ 567.7 | | Unidad | \$567.7 | |
| Materiales de obra/Materiales de capacitación | Alambre de pua calibre 12.5 | \$398 | 234 | m | \$93 132 | |
| | Grapa para cerca | \$4 900 | 14 | 2 libras | \$68 600 | |
| | Poste de Madera para Cerca. | \$23 900 | 158 | unidad | \$3 776 200 | |
| | Campanos(Samanea Sansa) | \$10 000 | 11 | unidad | \$10 000 | |
| | Siembra | \$10 000 | 12 | unidad | \$120 000 | |
| | Cartillas educativas | \$300 | 3960 | cartillas | \$1 188 000 | |
| | Auditorio | \$200 000 | 4 | días | \$800 000 | |
| | Refrigerios | \$500 | 3965 | Unidad | \$1 982 500 | |
| Mano de obra | Personal | Precio Unitario | Cantidad | Unidad | Periodo de tiempo | Precio total |
| | Vigilante | \$737 717 | 1 | mes | 6 meses | \$4 426 302 |
| | Ayudante | \$25 000 | 3 | día | 10 días | \$750 000 |
| | Trabajador social | \$50 000 | 1 | medio día | 2 días | \$100 000 |
| | Ingeniero ambiental | \$84 000 | 1 | día | 7 días | \$588 000 |
| Total | | | | | \$14 002 734 | |

Fuente: elaboración propia

A partir de la realización de los presupuestos de cada medida, se obtiene que la implementación en un principio de estas sería de: \$ 44'116,002.00 pesos colombianos.

Disposición a pagar

Una vez identificadas las mejoras ambientales para la conservación y recuperación del pozo El Pital, se pudieron determinar los costos a partir de los presupuestos de dichas estrategias. De este modo, se inició el proceso que permitió dar paso a encontrar los beneficios por medio de los modelos económicos ambientales.

Para la aplicación de estos modelos, se analizó la pregunta dicotómica del cuestionario aplicado a las 250 personas de la muestra, donde se le planteó al individuo entrevistado si estaba o no dispuesto a pagar una determinada cantidad por el uso del agua del pozo El Pital. Para ello, en primer lugar, se aplicó el modelo de Hanemann (1984), que

permitió estimar la disposición media a pagar y, en segundo lugar, se analizaron cuáles variables socioeconómicas afectaron a la probabilidad de que un individuo acepte o no el pago propuesto. Si se supone que la función de utilidad es lineal, entonces la media de la disposición a pagar (DAP) coincide con la mediana y pudo ser obtenida a través de la siguiente expresión:

$$E(DAP) = -\alpha/\beta$$

Ecuación 1. Disposición a pagar. Fuente: Hanemann (1984)

Donde α y β son, respectivamente, los coeficientes estimados para la constante y la variable precio de entrada en el modelo logit.

Los resultados estadísticos y econométricos fueron procesados mediante el software estadístico STATA 14.0 para Windows y el nivel de significancia escogido para determinar la influencia estadística en la respuesta dicotómica Y es 0.05 (**figura 5**).

```

Logistic regression                Number of obs   =       351
                                   LR chi2(1)       =       363.39
                                   Prob > chi2       =       0.0000
Log likelihood = -20.215597        Pseudo R2      =       0.8999
  
```

| Dispuestosapagar | Coef. | Std. Err. | z | P> z | [95% Conf. Interval] | |
|-------------------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------|-----------|
| Disposiciónapagar | -.0130447 | .0016617 | -7.85 | 0.000 | -.0163016 | -.0097877 |
| _cons | 3.795237 | .6765504 | 5.61 | 0.000 | 2.469223 | 5.121252 |

Figura 5. Modelación en STATA. Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis matemático correspondiente, se obtuvo el costo total que significa la implementación de las mejoras anteriormente expuestas en un periodo de un año; teniendo en cuenta que en una de las mejoras se requiere la operación a largo plazo llevada a cabo por dos operarios, el costo total es de \$ 44'116,002.00 pesos colombianos y se estima que se necesitarán alrededor de 21 días para cubrir el costo total, ya que se obtienen \$ 45'084,528.00 pesos colombianos en dichos días, lo cual, en un año significan \$



558'189,320.00 pesos colombianos. Por lo anterior, se consideran totalmente viables estas medidas.

Conclusiones

Durante el trabajo de campo se logró evidenciar las precarias condiciones ambientales actuales del pozo asociadas a los agentes contaminantes de las heces equinas, infraestructura deteriorada, uso inadecuado del agua, maltrato animal, etc. Todo lo anterior ocasiona un riesgo sanitario y un impacto ambiental significativo, el cual viola la normatividad de protección de las áreas declaradas como Patrimonio Cultural y Paisajístico del país, por lo que las medidas anteriormente propuestas se tornan de gran urgencia.

De acuerdo con el componente social y, según los resultados de la encuesta aplicada a la población seleccionada, se concluye que el consumo promedio mensual de agua por familia es de 1 120 l, tomados directamente del pozo El Pital, por los que se pagan alrededor de \$ 30,000.00 pesos colombianos mensuales, considerando que este precio se ve justificado en el transporte. De acuerdo con lo anterior, es importante destacar que este costo es alto, si se compara con la prestación del servicio de acueducto, puesto que el valor por metro cúbico de agua para el municipio de Planeta Rica es de aproximadamente \$ 1 724 pesos colombianos en promedio, para un estrato dos.

Por otro lado, se pudo identificar que el 91% de la población usa esta agua para consumo, sin embargo, gran parte de esta no realiza un tratamiento adecuado, haciéndolos propensos a enfermedades debido a que la calidad del agua del pozo El Pital no sigue los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estandarizados en el Decreto 1076 de 2015. Además, debido a la importancia del recurso, los habitantes del municipio consideran que los actores involucrados para velar por la conservación, recuperación y administración adecuada del Pozo El Pital, debería ser el estado. Teniendo en cuenta las circunstancias anteriores, se establecieron tres medidas de intervención que deberían ser aplicadas en conjunto, puesto que estas mejorarían de forma sustancial las condiciones ambientales del área en cuestión y, por lo tanto, la calidad de vida de los habitantes del municipio de Planeta Rica. Estas tres medidas se tasaron en un costo aproximado de \$ 44'116,002.00 pesos colombianos.



Para el caso de los beneficios se estableció un mercado hipotético en el cual se les preguntaba a las personas sobre la disposición a pagar para la conservación del Pozo El Pital, lo que generó que las personas estuvieran dispuestas a asumir un valor de \$271.07 pesos colombianos adicionales para la implementación de dichas medidas. En esta metodología se detectó que las variables que más influyen en la disposición a pagar de las personas son: litros consumidos por día, capacidad de almacenamiento en litros, importancia del recurso en su trabajo e importancia del pozo El Pital.

Con esta información se pudo estimar que los beneficios colectivos esperados ascienden a \$ 45'084,528.00 pesos colombianos mensuales, obtenidos a partir del número de viviendas circunscritas al pozo en un radio de 1 km, por el número de latas consumidas en un día, por la disposición a pagar. Contrastando los resultados de los costos asociados a las medidas de intervención con los beneficios subjetivos percibidos, se puede decir que, para las personas, los beneficios cuantificados superan a los costos de las medidas y, por lo tanto, en términos sociales estas medidas generarían un impacto positivo en su bienestar.

De esta forma, las medidas planteadas socialmente son posibles, sin embargo, hay que resaltar que sanitaria y ambientalmente dichas medidas no son viables dados los factores asociados al deterioro ambiental en relación con la prestación del servicio de distribución del líquido anteriormente mencionado, aclarando además que, al ser un mercado artificial, no podemos decir que también lo sea económicamente.

Literatura citada

- Álvarez, E. y Gómez, N. (2016). *Caracterización físico - química y microbiológica de la aguada El Pital municipio Planeta Rica, Córdoba*. (Tesis de especialización). Universidad Popular del Cesar. Colombia. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/486208818/Caracterizacion-fisico-quimica-y-microbiologica-de-la-aguada-El-Pital-municipio-Planeta-Rica-Cordoba-Universidad-Popular-del-Cesar>
- Arboleda-González, J. A. (2008). *Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín, Colombia. Recuperado de:

https://www.academia.edu/14204956/Manual_de_evaluaci%C3%B3n_de_impacto_ambiental_EIA_de_proyectos_obras_o_actividades

Barzev, R. (2002). Valoración económica de los recursos naturales, bienes, servicios e impacto ambiental. In *Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales*. Managua, Nicaragua. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/391549432/Guia-VE-Rado-larga-pdf>

Brito-Mancero, M., Yaulema-Garcés, F. M. y Santillana-Quiroga, L. M. (2020). Valoración económica ambiental del recurso suelo de tres parroquias rurales del Cantón Riobamba. *Conciencia Digital*, 3(3), 397-415. Recuperado de: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1331/3267>

Departamento Nacional de Estadísticas-DANE. (2017). *Geoportal estadístico*. Recuperado de: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/atlas-estadistico/>

Giraldo, N. (2008). Agua para consumo doméstico en Colombia- costos y regulación tarifaria. *Gestión y ambiente*, 11(1), 97-108. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317370503_Cadavid-Giraldo_N_2008_Agua_para_consumo_domestico_en_Colombia_costos_y_regulacion_tarifaria_Gestion_y_ambiente_111_97-108

Global Water Partnership. (2013). *Evaluación de Recursos Hídricos – Conocimiento de los recursos y de las necesidades (C1)*. Recuperado de: <http://www.gwp.org/es/Toolbox/Herramientas/Instrumentos-de-Gestion-/Evaluacion-de-Recursos-Hidricos/>

Google Inc. (2020). Google Earth, Versión 7.3.3.7786 (64-bit). USA. Recuperado de: <https://www.google.com/earth/>

Hanemann, M. (1984). Welfare Evaluation in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultural Economics*, 66 (3), 222-241. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/1242685?seq=1>

Ley 142 de 1994. *Diario Oficial No. 41.433*, Bogotá, Colombia, 11 de julio de 1994.
Recuperado de:

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Minambiente. (2020). *Valoración Económica Ambiental. Colombia*. Recuperado de:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/valoracion-economica-ambiental>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. (2015). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas*. Recuperado de:

<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>

Pearce, D. y Turner, R. (1990). Economic of natural resources and environment. *American Journal of Agricultural Economics*, 73 (1), 1-378. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/31662420_Economics_of_natural_resources_and_the_environment_DW_Pearce_RK_Turner

Plan Básico de Ordenamiento Territorial-PBOT. (2000). *Acuerdo 033, Alcaldía de Planeta Rica 01-59*. Recuperado de:

http://tramites1.suit.gov.co/registro-web/suit_descargar_archivo?A=16761

Resolución 1084 de 2018. *Diario Oficial No. 50.632*, Bogotá, Colombia, 22 de junio de 2018. Recuperado de:

https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1084_2018.htm

Sepúlveda-Vargas, R. (2008). Valoración económica del uso recreativo del Parque Ronda del Sinú, en Montería, Colombia. *Semestre Económico*, 67-90. Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v11n22/v11n22a4.pdf>

Manejo de retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en la vereda Santa Ana Sector La Quinta en la ciudad de Duitama-Boyaca, Colombia

Handling of retamo espinoso (*Ulex europaeus*) in the vereda Santa Ana Sector La Quinta in the city of Duitama-Boyaca, Colombia

Andrea Stephanie Camargo Joya

Licenciada en Ciencias Naturales y Educación Ambiental
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

stephanie.camargo17@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6066-7411>

Colombia

Stefany Dayanna Jiménez Farfán

Licenciada en Ciencias Naturales y Educación Ambiental
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

stefanny.jimenez16@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4152-6378>

Colombia

Resumen

En la ciudad de Duitama, actualmente, se presenta una problemática ambiental, la presencia de “retamo espinoso” (*Ulex europaeus*) en veredas como La Quinta, El Carmen, Santa Helena, La Pradera, San Antonio Norte y Santa Ana, lo cual representa una gran preocupación para la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, debido a que afecta a los ecosistemas al impedir el crecimiento de especies nativas de la zona, lo que provoca una disminución de la calidad de los suelos y pérdida de lagunas, es por ello que se propone realizar un programa de manejo de esta especie en el sector de la vereda La Quinta, como un sistema de control para esta planta invasora. El método utilizado para el desarrollo de este programa es la erradicación manual y el monitoreo constante de las actividades realizadas en conjunto con la comunidad; lo anterior permitió evidenciar un avance en la zona de estudio con la comunidad local, al incluirlos dentro del proceso de aprendizaje y ejecución del método de erradicación que podrán seguir realizando; estas acciones se lograron implementar por medio de capacitaciones a los grupos involucrados como lo fue la comunidad, el Batallón Silva Plazas, todo esto con el apoyo de HOLCIM y Serviaseo, entre otros actores.

Palabras clave: restauración, plantas invasoras, erradicación, control ambiental

Abstract

Currently there is an environmental problem in Duitama city, the presence of “thorny broom” (*Ulex europaeus*) in villages such as La Quinta, El Carmen, Santa Helena, La Pradera, San Antonio Norte and Santa Ana, which represents great concern for the Secretary of Agricultural Development, because it affects the ecosystems where it develops, preventing the growth of native species in the area, which causes a decrease in the quality of the soils and loss of lagoons, that is why it is proposed to carry out a management program of this species in the sector of the path La Quinta, as a control system for this invasive plant. The method used for the development of this program is the manual eradication and the constant monitoring of

Recibido: 21/09/2020

Revisado: 10/10/2020

Aprobado: 10/12/2020



Los artículos de Environment & Technology se comparten
con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND



the activities carried out together with the community; the foregoing showed progress in the study area with the local community, by including them within the learning process and execution of the eradication method that they can continue to carry out; these actions were implemented through training with the groups involved: the community, the Silva Plazas Battalion, and with the support of HOLCIM and Serviaseo, among other actors.

Key words: restoration, invasive plants, eradication, environmental control

Introducción

El “retamo espinoso” (*Ulex europaeus* L.) es una planta invasora originaria de Europa Occidental, que ha sido introducida en países de América, África y Oceanía. Actualmente en Colombia no se conoce el año en que aparecieron las primeras plantas, pero se tiene certeza de que se usó en 1950 como estrategia de control de los bordes del embalse de la regadera hacia el sur de la ciudad de Bogotá (Barrera-Cataño *et al.*, 2002; Ríos, 2005; Barrera-Cataño, 2011).

En este sentido, el Ministerio de Ambiente en su resolución 0684 del 25 de abril de 2018, planteó los procesos para la prevención y manejo integral de la especie “retamo espinoso” (*Ulex europaeus*) en las diferentes zonas donde ha sido identificada en Colombia; en Duitama, la planta ha sido reconocida en la zona alta de páramo y subpáramo; en la vereda Santa Ana sector La Quinta, se ha presentado afectación por ser la entrada al páramo de la Rusia que causa una transformación del paisaje dañando la estructura ecológica de este, la cual inició con un brote que con el tiempo aumenta su masa e invade totalmente los bordes de la carretera de la vía Duitama-Charalá.

Por lo anterior, se propuso realizar un programa de manejo que permitió establecer un orden cronológico de las acciones que se requieren ejecutar para prevenir, controlar, mitigar, y compensar los principales impactos ambientales negativos, por ejemplo, la destrucción del ecosistema. A través de este proceso de manejo se determinaron los porcentajes de cobertura e invasión que tenía el retamo espinoso en la zona de estudio, además de proponer acciones de trabajo comunitario con los habitantes de la vereda La Quinta de la ciudad de Duitama, en alianza con otras empresas del sector, como el Batallón Silva Plazas, HOLCIM y Serviaseo y, por último, la implementación de mecanismos que evidencien el aprendizaje en el método de erradicación en los habitantes de la vereda La Quinta.



La presente investigación estuvo orientada a determinar el conocimiento y percepción que se tiene acerca del “retamo espinoso” (*U. europaeus*) mediante la realización de estudios comunitarios y la participación de la misma con el fin de establecer un programa de manejo de esta especie en el embalse la Regadera en Bogotá, en la vereda Santa Ana sector La Quinta, Duitama. La investigación fue de tipo no experimental.

Metodología

Área de estudio

La ciudad de Duitama está situada en el Altiplano Cundiboyacense, limita al norte con el departamento de Santander, Charalá y Encino; al sur con los municipios de Boyacá de Tibasosa y Paipa; al este con los municipios de Santa Rosa de Viterbo y Floresta. El área de estudio se ubica entre los kilómetros 12 y 14 de la vía Duitama-Charalá, en las coordenadas 5° 54' 10.448" N y 73° 04' 16.103" W, en la entrada al páramo de la Rusia (**figura 1**).

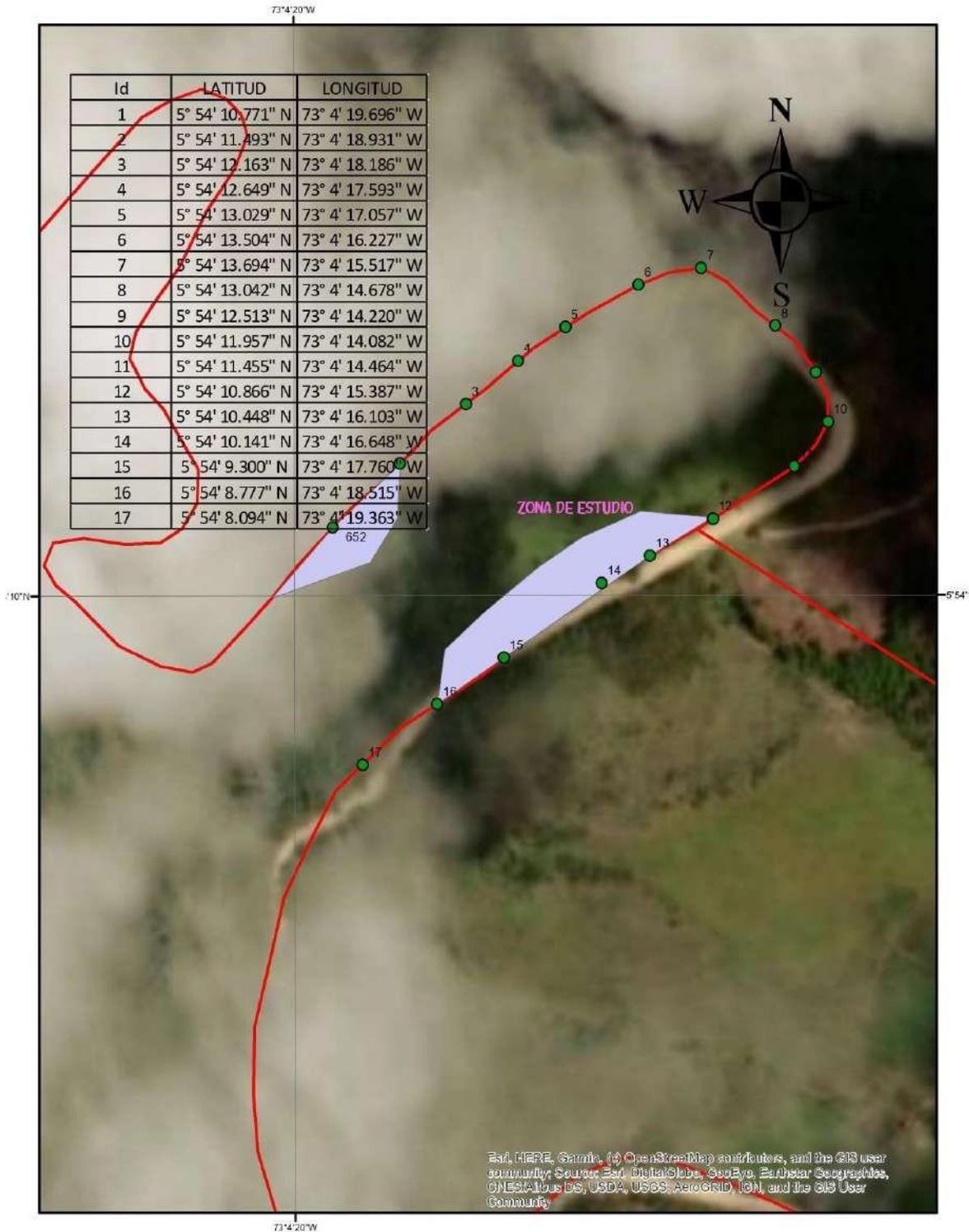


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2018)

Fases metodológicas

A continuación, se describen las principales acciones concertadas con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Duitama, para dar conclusión a la presente investigación y lograr los objetivos trazados para tal fin:

1. Se realizó un diagrama de la zona afectada por medio de un mapa satelital que permitió evaluar el tamaño de la invasión para determinar el porcentaje de cobertura y el posible alcance de las acciones planteadas durante las jornadas de erradicación.

2. Se creó una convocatoria por medio de los medios de comunicación y participación en reuniones de información para los habitantes de la vereda Santa Ana sector La Quinta y el Batallón Mecanizado Silva Plazas, como actores principales del proceso.

3. Se crearon grupos de trabajo para la capacitación de los participantes, posteriormente se delegaron acciones desde la coordinación de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, para llevar a cabo las jornadas de erradicación manual que permitieron llevar un orden en el proceso, evitando nuevos rebrotes o contaminación de otras áreas.

4. Se realizó la evaluación de la cobertura erradicada y de las jornadas de erradicación, en las cuales se buscó obtener información sobre los aprendizajes de la comunidad en aspectos específicos como características de la planta, reproducción e impacto ambiental.

Resultados y discusión

Diagnóstico de la zona

Para el desarrollo del proyecto, se realizó un diagnóstico sobre las zonas más afectadas por el “retamo espinoso” (*U. europaeus*); esta identificación fue realizada por medio de visitas guiadas, un barrido de la zona por puntos GPS que fue cargada en el mapa de la zona (**figura 2**); durante la fase de diagnóstico se logró evidenciar que la especie que inició en el borde de carretera Duitama-Charalá está llegando a otras veredas como El Carmen, Santa Helena, La Quinta, Quebrada de Becerras, Siratá y Santa Ana, con mayor presencia de nuevos brotes en las veredas San Antonio Sur y la Pradera.



Figura 2. Presencia de *Ulex europaeus* en el área de estudio. Fotografía: A.S. Camargo

El área de estudio elegida para la intervención fue sobre la carretera frente a la entrada de la sede guarda páramos pan de azúcar y la Rusia, ubicada en las coordenadas 5° 54' 13" N y 73° 04' 16" W, a una altitud de 3440 msnm y se localiza entre los kilómetros 12 y 14, la cual tiene una extensión de 115 m de largo por 13 y 18 m de ancho, los cuales presentan una cobertura del 100% de la especie. Durante la primera visita realizada en diciembre 2018, se llevó a cabo un muestreo que permitió la recolección de datos sobre la altura de los individuos, la cual varió entre 0.5 – 2.67 m.

Así mismo, se determinó la invasión de la zona, evidenciando que zonas cercanas al punto de referencia (**figura 3**) están siendo afectadas por la especie invasora, lo que planteó la necesidad del trabajo con la comunidad para que, al finalizar la investigación, se continuaran con los procesos de erradicación y extensión a otras áreas para mitigar este proceso.



Figura 3. Mapa satelital del área de estudio. Fuente: Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2018)

Además, se muestra la zona de estudio desde un mapeo satelital (**figura 3**), el cual incluye las medidas de la zona afectada como punto de referencia para determinar el avance del trabajo que se realizó, que permitió la comparación por medio de la disminución de la cobertura de la especie invasora en la zona.

A esta altura, en la entrada del páramo, se encuentra un porcentaje de plantas nativas que puede ser observado en la **figura 4**, tales como: “frailejón” (*Espeletia* sp.), “encenillo” (*Weinmannia tormentosa* L. f.), “campanilla pecosa” (*Digitalis purpurea* L.) y “uva camarona” (*Macleania rupestris* (Kunth) A.C. Sm.), las cuales se caracterizan por la retención de agua y la regulación hídrica, ubicadas en una zona de 115 m de longitud a 3440 msnm; se asume que el nivel de cobertura vegetal se encontraría así:

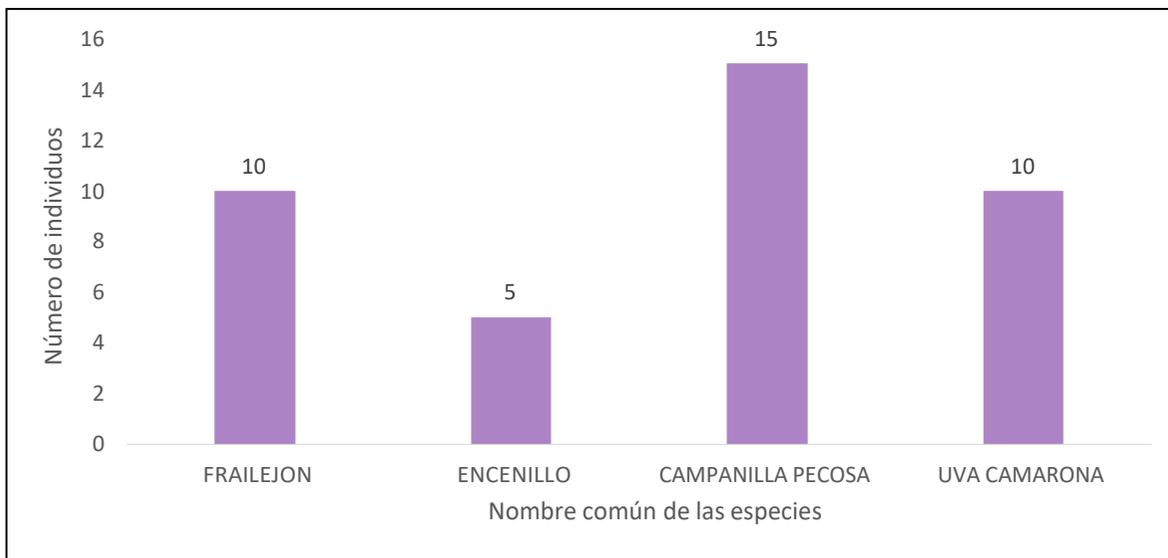


Figura 4. Especies vegetales encontradas dentro de la zona durante 2018. Fuente: Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2018)

Por otra parte, durante las visitas de campo se realizaron tres muestreos en cuadrantes de 1 x 1 m, los cuales comprenden la distancia de las áreas estudiadas, para determinar la extensión de las especies y con ello establecer el área que cada una abarca; cada uno de los muestreos fue realizado a diferentes distancias de la zona de estudio con el fin de lograr evaluar y determinar mejor cómo es el crecimiento de la misma (**tabla 1** y **figura 5**).

Dentro del primer muestreo (metro 1) se encontraron tres individuos de diferentes tamaños y diámetros, el individuo 1 presentó gran cantidad de semillas en la base del tronco. En el muestro del metro 70 se encontró una sola especie, debido a que por su altura y diámetro no presentó otras a su alrededor. En el muestro del metro 114 se encontró también una sola especie, que es de las de mayor altura, el diámetro se halló abarcando una mayor zona.

Tabla 1.

Muestreo realizado en el metro 1 de la zona de estudio

| MUESTREO METRO 1 | | | | |
|----------------------------|-------------------|----------|----------|-------------|
| Número de individuo | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Diámetro (cm) | 35.9 | 5 | 2 | 35.9 |
| Altura (cm) | 40 | 10 | 5 | 50 |
| Nombre común | “retamo espinoso” | | | “frailejón” |
| MUESTREO METRO 70 | | | | |
| Diámetro (cm) | 79 | | | |
| Altura (cm) | 90 | | | |
| Nombre común | “retamo espinoso” | | | |
| MUESTREO METRO 114 | | | | |
| Diámetro (cm) | 290 | | | |
| Altura (cm) | 150 | | | |
| Nombre común | “retamo espinoso” | | | |

Fuente: elaboración propia

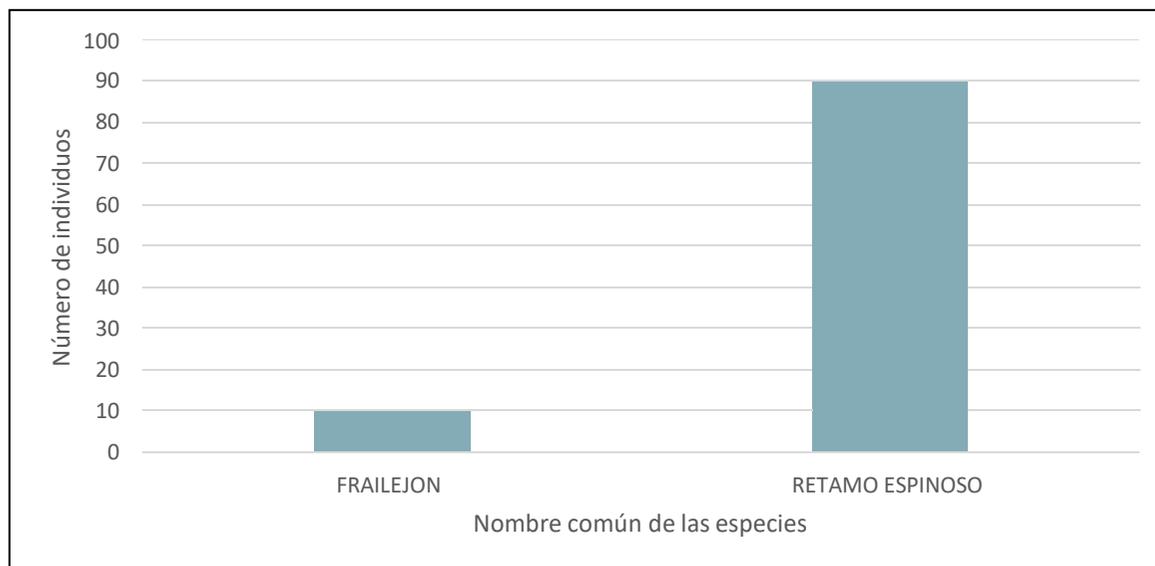


Figura 5. Individuos de “frailejón” y “retamo espinoso” encontrados en el área de estudio.

Fuente: elaboración propia

Después de la realización de los muestreos se logró evidenciar que, dentro de los 115 metros, un 90% de la cobertura está representada por individuos de “retamo espinoso” (*Ulex europaeus*) (figura 6).

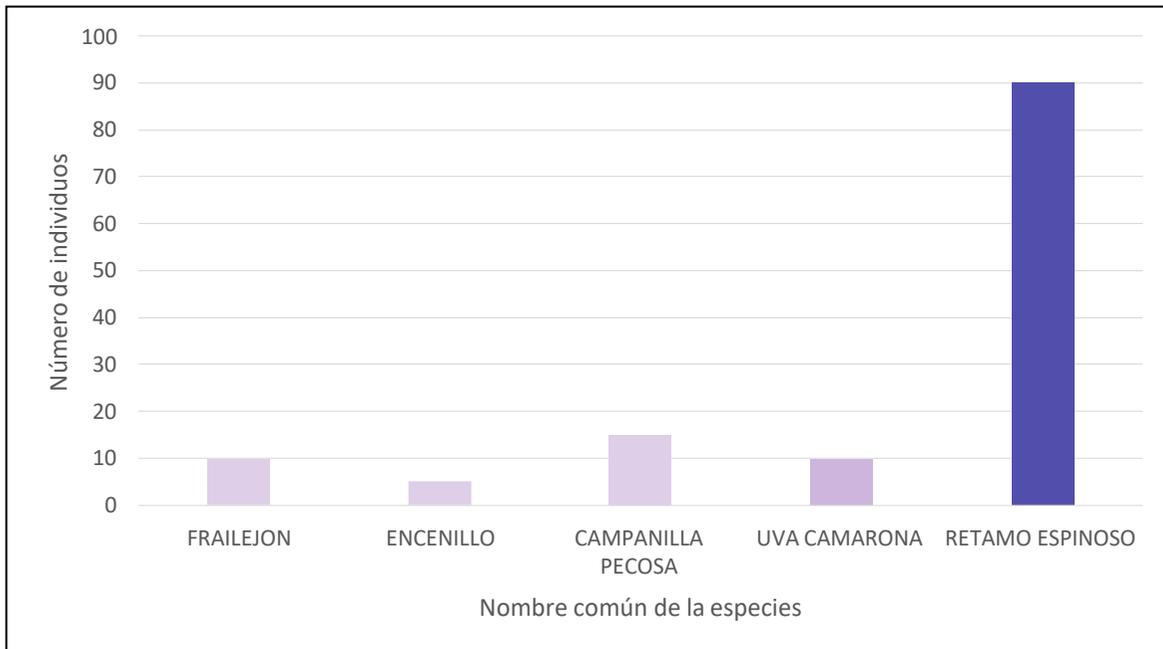


Figura 6. Número de individuos de las especies vegetales encontradas entre 2018 y 2019.

Fuente: elaboración propia

Con lo anterior, se puede evidenciar un cambio en la cobertura del área estudiada para 2018, donde se muestra la variación de especies acordes con la zona, sin embargo, para 2020 se encuentra una pérdida parcial de individuos que vienen siendo reemplazados por “retamo espinoso” como sucedió durante los muestreos realizados.

Así mismo, se logró comprobar que las semillas suelen ser encontradas en plantas a partir de los 40 msnm; no todas las semillas son encontradas en la base de la planta, ya que generalmente esta especie arroja las semillas en un diámetro de hasta ocho metros de distancia (figura 7).



Figura 7. Semillas de “retamo espinoso” encontradas en el suelo, cerca de la base de la planta. Fuente: elaboración propia

Trabajo con la comunidad

Para iniciar la primera etapa se realizó la socialización del proyecto con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, la primera acción fue la convocatoria, a través de la cual se hizo un llamado a los habitantes de la vereda Santa Ana sector La Quinta y a las personas del Batallón Silva Plazas, además de las entidades descentralizadas del municipio, con el fin de obtener apoyo de ellos.

La comunidad se mostró bastante interesada en la idea de lograr restaurar sus ecosistemas y como método aplicable para su propio contexto, permitiendo mejorar la calidad de cada una de estas. Se inició con una capacitación netamente teórica en la que se identificaba la especie y el método de erradicación manual, el cual sigue los lineamientos nacionales dentro de los que el paso inicial es la eliminación de flores y semillas para,

posteriormente, realizar el corte de troncos dejando tocones de 20 cm que faciliten la eliminación de la raíz de la planta. Adicionalmente, se explicaron los materiales que se utilizarían en cada una de las jornadas y con ello se procedió a la demostración de métodos durante la primera jornada, dentro de la cual se pusieron en práctica los conocimientos obtenidos anteriormente.

Durante el desarrollo de las jornadas de erradicación, para algunos casos se evidenciaba que la información de las convocatorias se había replicado hacia otras veredas, quienes llegaron a las zonas de encuentro para aprender sobre la labor, lo que motivó la idea de crear un póster informativo acerca de la especie (**figura 8**).

**EL ENEMIGO SILENCIOSO
DEL BOSQUE ALTO ANDINO
Y LOS PÁRAMOS**

Retamo Espinoso
(*Ulex Europaeus*)

- Traída desde Europa
- Llegó a Colombia desde los años 50
- Acaba con la biodiversidad
- Crece de 2 a 7 m.
- Se reproduce rápidamente en todos los ecosistemas

RECOMENDACIONES

- No la cortes y la acumules ya que nacera nuevamente en mayor cantidad
- Procura no transportar sus semillas
- No quemes la planta ya que es altamente inflamable
- Si decides cortarla, arranca sus raíces y empacalas en bolsas

UN VISITANTE NO DESEADO

Aunque parezca inofensivo no lo es

En caso de dudas comuníquese con nosotros
311 442 1119 - 311 527 5175
secdesarrollo@duitama-boyaca.gov.co

SECRETARÍA DE DESARROLLO AGROPECUARIO
MUNICIPIO DE DUITAMA

Figura 8. Póster sobre el “retamo espinoso”. Fuente: elaboración propia y Secretaría de Desarrollo Agropecuario

Con este póster se buscó llegar aún más a la comunidad y que los habitantes de la ciudad de Duitama generaran una conciencia acerca de las problemáticas que está teniendo el municipio respecto a la parte ambiental en general, no solo por la invasión de esta especie.

La evidencia del aprendizaje de los conocimientos respecto a esta especie se consiguió por observación directa, de acuerdo con las actividades que ejecutaban y que el método de erradicación utilizado fuera el que se había enseñado previamente, lo cual permitió demostrar la importancia de relacionar la teoría y la práctica, para que con ello los asistentes se apropiaran de sus conocimientos.

Jornadas de erradicación

Durante las jornadas de erradicación que se llevaron a cabo durante diciembre de 2019 se puso en práctica la demostración de métodos para el inicio de esta actividad, de manera que quedara claro el protocolo que se debe utilizar para realizar una correcta erradicación, sobre todo, teniendo en cuenta la resolución 0684 del 25 de abril de 2018 emitida por el MinAmbiente, en la cual establece los lineamientos para la “Prevención y Manejo Integral de Retamo Espinoso (*U. europaeus* L.) y Retamo Liso (*Genista monspessulana* (L.) L.A.S. Jhonson)”, realizado por corte de los troncos grandes con ayuda de machetes y guadañadora para que, de esta manera, queden tocones de aproximadamente 20 cm y que así fuera más fácil la extracción de las raíces al abrir huecos profundos; todos estos desechos fueron puestos en la carretera con el fin de reducir su tamaño y empacarlos para ser recogidos por el camión de HOLCIM, empresa privada cementera suiza líder en el suministro de cementos donde se da la disposición final a esos desechos.

En la **figura 9** se muestra cómo es el manejo de los desechos una vez que son cortadas las plantas, enfatizando cómo los desechos son colocados sobre la carretera con el fin de que cortar los troncos para ser empacados no caigan semillas al suelo (**figura 9a**) y, en caso de que esto suceda, poderlas recoger más fácilmente, además de que se procuró que durante el procedimiento se cortaran las flores y semillas con anterioridad.



Figura 9. Manejo, empacado y recolección de los desechos de “retamo espinoso” en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia

El manejo de los desechos fue realizado por HOLCIM, debido a que la planta cuenta con hornos que incinerar más fácilmente estos desechos, evitando que los mismos queden en otro lugar, el transporte es realizado en un vehículo cerrado que no vaya a realizar dispersión de semillas durante el trayecto hasta la llegada a la planta ubicada en Nobsa, Boyacá (**figura 9 b y c**).

En la **figura 10a** se observa al “retamo espinoso” creciendo en un predio del área de estudio durante febrero de 2020. En la **figura 10b** se observa el área trabajada durante diciembre y enero, donde se evidencian los rebrotes que posteriormente son eliminados para evitar el crecimiento de las plantas nuevamente en esta área.

Los rebrotes de la **figura 10c** fueron eliminados, pero al realizar la inspección del predio en abril de 2020 se evidencia la aparición de nuevas plantas, que nuevamente fueron eliminadas para que, de esta manera, se mantenga el control de la especie en el área de estudio.

La última inspección se realizó en junio donde los rebrotes eliminados anteriormente desaparecieron totalmente, sin embargo, debido a que no se pudieron realizar visitas ni jornadas en mayo, aparecieron unas pocas plántulas, pero así mismo se observa que el porcentaje de biomasa disminuyó, lo cual se comprobó, ya que en la última visita se realizó la medición en el área de estudio, lo cual arrojó la erradicación de 80 metros en su totalidad, lo que evidencia la eficiencia del procedimiento utilizado.



Figura 10. Visitas de inspección y seguimiento al área de estudio. a) visita durante el mes de febrero 2020, b) visita de inspección en abril 2020, c) visita de inspección en junio 2020. Fuente: elaboración propia



Para el desarrollo del proyecto, se realizaron seis jornadas de erradicación de “retamo espinoso” (*U. europaeus*) en un área determinada de 80 m por 18 m, como lo plantea Tu, Hurd y Randall (2001), mencionando que “la eficiencia que manejan cada una de las técnicas que pueden ser usadas para la erradicación de retamo espinoso, para el caso de la técnica manual, muestran como ventaja el hecho de que es muy específica”, en la cual se presenta una minimización de los daños hacia los especímenes de flora y fauna que se encuentran en los alrededores o dentro del área escogida.

Lo anterior nos demuestra que la técnica empleada tiene gran eficiencia, ya que disminuye la producción de semillas y rebrotes en el área de estudio que se definió, ya que, al ser el borde de la carretera, presenta una invasión media que no afecta a otras especies vegetales propias de la zona. Sin embargo, cabe resaltar que los costos, el tiempo empleado y la gran extensión de invasión dificulta el avance rápido de la erradicación.

Tomando en cuanto lo anterior, se determina que el proceso de erradicación de plantas invasoras deben darse de forma continua y constante entre periodos de tiempo no muy extensos, lo cual permite realizar un mayor control en cuanto a su crecimiento, expansión y desaparición; en este sentido, Ríos (2002) plantea que “con extracciones cada seis meses en un ciclo de cuatro o cinco remociones se puede lograr un cambio en la trayectoria sucesional, disminuyendo la dominancia de retamo en la comunidad”.

Por lo anterior, sería posible lograr una meta oportuna de erradicación y preparación del terreno para su posterior restauración; por esto, las jornadas de inspección programadas para realizar visitas en los diferentes predios que se tomaron como áreas de invasiones fueron fundamentales para determinar la periodicidad y eficacia del método de extracción de esta planta.

Cabe resaltar que para realizar el proceso de erradicación de *U. europaeus* se debe resaltar que su reproducción puede ser a partir de tocones o restos de raíces reptantes, sin embargo, su principal estrategia de dispersión e infestación es la producción de semillas, después de disturbios como incendios y ampliación de la frontera agrícolas, entre otros (Hoshovsky, 1989; Clements, Peterson y Prasad, 2001; Barrera y Castaño, 2011; Beltrán, 2012).



De esta manera, la primera parte del proyecto se orientó hacia el corte de flores y recolección de semillas, las cuales fueron distribuidas y selladas en bolsas para evitar su propagación. Según Gómez-Pompa y Vázquez-Yanes (1985), esta especie comúnmente se establece en claros de bosques y en claros naturales como son las orillas de los ríos, donde hay alta disponibilidad momentánea de recursos, principalmente de energía. Por ello, el porcentaje de invasión en la vereda Santa Ana sector La Quinta, es muy amplio por ubicarse en los bordes de carretera de la vía Duitama - Charalá.

De la misma manera, para llevar a cabo este proceso se tuvieron en cuenta una parte de capacitación teórica, donde los participantes conocieron las diferentes fuentes de información sobre esta especie; en una segunda parte se realizó una demostración de los métodos a usar durante el proceso en cada uno de los sitios que se llevarían a cabo; es así como se proporcionaron las herramientas necesarias para que el método de erradicación tuviera un mayor impacto y efectividad, ya que de esta manera se identifica mejor la problemática, además de que el adquirir unos conocimientos previos, permite desenvolverse mejor a la hora de ponerlos en práctica, identificando la especie y siguiendo el procedimiento planteado más fácilmente.

La participación de la comunidad no fue muy activa, pero se evidenció que los habitantes de otras veredas se mostraron interesados y motivados a conocer y colaborar en esta actividad, debido a que tienen en cuenta la idea de que debemos proteger nuestros ecosistemas.

Actualmente se habla de que la naturaleza reclama su espacio en el planeta por la situación que vivimos, teniendo en cuenta que la humanidad nunca estableció una relación armónica con la naturaleza, sino que llegaron a invadir sus espacios. En estos tiempos de pandemia, el eje común es que la fauna está llegando a lugares donde antes estaban llenos de personas, algo muy similar sucedió con el “retamo espinoso”, ya que al no poder realizar un trabajo más constante en las zonas donde se encuentra, esta planta avanzó e invadió aún más sectores.

Adicionalmente, el paso de camiones y autos en la carretera puede ser otra manera en la que esta planta está invadiendo otras zonas y veredas aledañas, ya que, como Hoshovsky (1989) lo plantea, la fuerte intervención humana de trabajadores y maquinaria



puede ser un factor determinante para dispersar las semillas de la especie, por lo que, además de los camiones y autos de la carretera, la gente que por ahí transita de veredas como Avendaños, El Carmen y Santa Helena, pueden estar ayudando en la dispersión de nuevas plantas en estas veredas.

Conclusiones

La erradicación de “retamo espinoso” (*Ulex europaeus*) de manera manual es un método de gran utilidad para trabajar en áreas pequeñas, ya que facilita el cuidado de otras especies que se encuentren alrededor, además de que se convierte en un método útil para que la comunidad participe e identifique esta problemática que se presenta en diferentes ecosistemas.

De acuerdo con la determinación del tamaño del estudio que tenía 115 m por 18 y 13 m, se evidencia la eficiencia del método utilizado, ya que luego de seis jornadas de erradicación manual, se logró eliminar más del 50% de la planta de “retamo espinoso” del lugar.

El acompañamiento por parte de entidades ambientales y territoriales debe ser constante, ya que con ello se motiva, capacita e interviene las veredas que se encuentran afectadas por la presencia de estas plantas invasoras, comprometiendo a las comunidades que se encuentran a su alrededor para un trabajo constante y asertivo.

Literatura citada

Beltrán, H. (2012). *Evaluación de matorrales y bancos de semillas en invasiones de Ulex europaeus de diferente edad al sur de Bogotá D.C. - Colombia*. Trabajo de Grado de Maestría: Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.

Barrera, J., Ríos, H. y Pinzón, C. (2002). Planteamiento de la propuesta de restauración ecológica de áreas afectadas por fuego y/o invadidas por el retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en los cerros de Bogotá D. C. Colombia. *Pérez Arbelaezia*, 6(13), 55-71.

Barrera – Cataño, JI. (2011). Restauración ecológica de bosques altoandinos sometidos a presión antrópica: de lo teórico a lo posible. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.

Clements, D., Peterson, D. J. y Prasad, R. (2001). The biology of Canadian weeds. 112. *Ulex europaeus* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 325–337. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/278411866_The_biology_of_Canadian_weeds_112_Ulex_europaeus_L

Gómez-Pompa, A. y Vázquez-Yanes, C. (1985). Estudios sobre la regeneración de selvas cálido-húmedo de México. En: Gómez-Pompa, A. y Del Amo, S. (Eds.). Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. México, D.F. Editorial Alhambra Mexicana S.A. de C.V. e Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos 2, 1-25 pp.

Hoshovsky, M. (1989). *Elements Stewardship Abstract for Ulex europaeus Gorse*. Arlington, Virginia: The Nature Conservancy. Recuperado de: <https://www.invasive.org/weedcd/pdfs/tncweeds/ulexeur.pdf>

Ríos, H. (2002). *Eliminación del Retamo espinoso - Ulex europaeus L. (Fabaceae), como estrategia experimental de restauración de la vegetación en el Cerro de Monserrate*. Tesis de Grado. Departamento de Biología: Universidad Nacional de Colombia.

Ríos, H. (2005). *Guía técnica para la restauración ecológica de áreas afectadas por especies vegetales invasoras en el distrito capital: complejo invasor retamo espinoso (Ulex europaeus L.) - retamo liso (Teline monspessulana (L.) C. Koch.)*. Bogotá, D.C.: Jardín Botánico José Celestino Mutis.

Secretaria de desarrollo Agropecuario (2018). Inventario predios adquiridos por el municipio de Duitama. Actualización 2017-2018. Archivo municipio de Duitama, Boyacá.



Tu, M., Hurd, C. y Randall, J. M. (2001). Weed Control Methods Handbook, Tools and Techniques for Use in Natural Areas. USA: The Wildland Invasive Species Team, The Nature Conservancy. Recuperado de: <https://www.invasive.org/gist/products/handbook/methods-handbook.pdf>

Estado actual del conocimiento florístico de México y su importancia para el desarrollo sustentable

Current state of floristic knowledge in Mexico and its importance for sustainable development

Jaime Ernesto Rivera Hernández
PhD en Ciencias Naturales para el Desarrollo
Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S. C.
jriverah@geobicom.org
 <https://orcid.org/0000-0003-4240-9966>
México

Graciela Alcántara-Salinas
PhD en Etnobiología
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
alcantara.graciela@colpos.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-3673-2831>
México

Rafael Arturo Muñoz-Márquez-Trujillo
PhD en Planificación de Paisaje
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
arturom@colpos.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-8897-1690>
México

Juan Antonio Pérez-Sato
PhD en Ciencia Animal y Plantas
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
pantonio@colpos.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-8842-6262>
México

Natalia Real-Luna
Estudiante de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo y
Maestra en Ciencias en Entomología y Acarología
Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba
Autor de correspondencia: nreal@colpos.mx
 <https://orcid.org/0000-0002-8489-080X>
México

Resumen

Se presenta un panorama de la importancia de los recursos vegetales para el desarrollo del ser humano a lo largo de la historia y en la actualidad; también se reflexiona sobre el papel que juega el conocimiento actual sobre estos recursos para lograr el desarrollo sustentable en México. Se argumenta que un mayor conocimiento sobre la riqueza florística contribuirá a la mejor toma de decisiones sobre la conservación y el aprovechamiento sustentable, por lo que se analiza el estado actual de este conocimiento en México y se expone el cómo se ha utilizado, se utiliza y se puede/debe utilizar para el desarrollo sustentable. Adicionalmente, se elabora una breve semblanza de cómo ha sido, cómo es y cómo se espera que sea el desarrollo sustentable en México, enfatizando la importancia de valorar, rescatar y tomar en cuenta el conocimiento tradicional indígena para la construcción de mejores estrategias de conservación de recursos naturales y de desarrollo sustentable.

Palabras claves: Sustentabilidad, recursos naturales, florística, conservación, conocimiento tradicional

Abstract

Here we present an overview regarding the importance of vegetal resources for the development of the human being in the past and nowadays, also we reflected on the role of current knowledge regarding these resources in achieving sustainable development in Mexico. It is argued that greater knowledge about floristic richness will contribute to the best decision making on conservation and sustainable use, so we analyzed the current state of this knowledge in Mexico and set out how it has been used, is used and can/should be used for sustainable development. In addition, a brief semblance of what it has been like, what it is like and what sustainable development is expected to be like in Mexico has been described to emphasize the importance of valuing, rescuing, and considering traditional indigenous knowledge for the construction of better strategies of natural resources conservation and sustainable development.

Key words: Sustainable development, natural resources, floristic, conservation, traditional knowledge

Introducción

Desde su aparición como *Homo sapiens* en el planeta, hace aproximadamente 200,000 años, la relación y dependencia del hombre con las plantas ha sido vital y una de las más importantes para su supervivencia; entre algunos de los usos que le ha dado el ser humano al componente vegetal está el alimenticio, para construcción de refugios y viviendas, medicinal, combustible, etc. (Viirsoo, 1965). No obstante, el acelerado crecimiento poblacional humano y el aprovechamiento irracional de los recursos naturales han sido el detonante para la disminución de los recursos vegetales, enfrentando actualmente una problemática grave, que involucra la deforestación, pérdida de hábitat, de biodiversidad, aislamiento reproductivo, cambio climático, erosión genética, agricultura de monocultivos con semillas híbridas y transgénicos, entre otros.

De unos pocos años a la actualidad, el ser humano se ha percatado de que, además de los beneficios anteriormente citados, existen otros, ahora llamados servicios ambientales o servicios ecosistémicos, que aportan los diferentes ecosistemas del mundo, entre los cuales



destacan: captación, filtración y mejoramiento de la calidad del agua y control de los ciclos hidrológicos, generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes, mantenimiento de la calidad gaseosa de la atmósfera (la cual ayuda a regular el clima), generación y conservación de suelos fértiles, refugio para la vida silvestre y la conservación de la biodiversidad, fuente de materias primas y recursos genéticos, medicinales y ornamentales, proveen de espacios naturales con belleza escénica para la recreación, la investigación científica, la educación y el alimento espiritual, entre muchos otros (Hassan *et al.*, 2005; Fisher *et al.*, 2009; De Groot *et al.*, 2002).

Por esto, actualmente es de gran valía contar con el conocimiento sobre la riqueza florística de una zona, región o país, debido a que brinda la posibilidad a tomadores de decisiones de hacer elecciones correctas, con la convicción de que están actuando sobre bases firmes. Esto retoma mayor importancia si consideramos que el enfoque desarrollista y depredador de la naturaleza aun impera en Latinoamérica y en muchas otras regiones del mundo, por lo que es vital conocer los recursos con los que contamos, así como los procesos naturales y antrópicos que los afectan (Torrecilla, 2007).

Lo anterior se sustenta partiendo de la premisa de que no se puede conservar y/o aprovechar un recurso que no se conoce, es decir, si realmente deseamos aprovechar de forma sustentable nuestros recursos vegetales, es necesario conocer lo que se tiene, cuánto se tiene, el estado que guardan estos recursos y cuál es la capacidad de aprovechamiento sustentable que se puede hacer de ellos.

Por otra parte, también es importante analizar el modo en que se ha trabajado y se trabaja actualmente hacia el desarrollo sustentable en México, sobre todo en las regiones rurales e indígenas, donde estas comunidades humanas conviven, aprovechan y manejan los recursos naturales. Este manejo lo hacen utilizando técnicas ancestrales prehispánicas, sin embargo, actualmente y como consecuencia de la globalización, existe un cambio de costumbres, técnicas, lenguajes, cosmovisión y, en general, erosión en las diferentes culturas, lo que está afectando tanto a las comunidades y su desarrollo integral, como a los recursos naturales con los que conviven (Alcántara-Salinas, 2011).

El conocimiento florístico de México

México es uno de los países con mayor riqueza florística y el país americano con mayor nivel de endemismo registrado en su territorio (Villaseñor, 2003); sin embargo, como sucede en la mayoría de los países en vías de desarrollo, no existe un conocimiento florístico completo. Desde hace ya varios años se han realizado diferentes estimaciones sobre el número de especies vegetales en México: Toledo *et al.* (1997) habla de entre 18,000 y 30,000 especies; posteriormente, Villaseñor (2003) estimó 22,000; más tarde Villaseñor y Ortiz (2014) consideraron 21,841 y Villaseñor (2016) realizó una revisión de herbarios, contabilizando de 23,314, incluyendo 1,039 especies de helechos y licofitas, 149 gimnospermas y 22,126 angiospermas, por lo que México ocupa actualmente el cuarto lugar en número de especies a nivel mundial y afirma que aproximadamente el 50% de estas especies son endémicas, ocupando por esto el segundo lugar a nivel mundial, solo por debajo de Sudáfrica.

Adicionalmente, es importante mencionar que los tres estados florísticamente más diversos de México: Oaxaca, Veracruz y Chiapas, cuentan ya con información publicada de su riqueza florística, por lo que se tiene un nivel aceptable de conocimiento (Breedlove, 1986; García-Mendoza y Meave-Del Castillo, 2012). A este respecto sobresale Veracruz, debido a que cuenta con la serie Flora de Veracruz (Gómez-Pompa, 1978-1988, 1990-1991; Sosa, 1992-2003; Castillo-Campos, 2004-2019), que desde 1978 se encarga de sistematizar la riqueza florística del estado en forma de fascículos por familia botánica.

Algunos otros estados y regiones de México se encuentran también conocidos desde el punto de vista florístico, los cuales se presentan en la **tabla 1**.

Tabla 1.

Estudios florísticos existentes en diversas regiones de México

| Región / Estado | Fuente |
|---|---|
| Ciudad de México | Rivera-Hernández y Espinosa (2007), Rivera-Hernández y Flores-Hernández (2013), Rivera-Hernández (2016) |
| Coahuila | Villareal-Quintanilla (2001) |
| Cuenca de México (Ciudad de México y partes del Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala) | Rzedowski <i>et al.</i> (2001) |

| Región / Estado | Fuente |
|--|---|
| Durango | González-Elizondo <i>et al.</i> (1991) |
| El Bajío y otras regiones adyacentes (Guanajuato, Querétaro y parte de Michoacán) | Rzedowski y Calderón de Rzedowski (1991-2020) |
| Guerrero | Diego-Pérez y Fonseca-Juárez (1989-2014), Jiménez <i>et al.</i> (2015-2018) |
| Nueva Galicia (Jalisco, Colima y Aguascalientes, más porciones adyacentes de Nayarit, Durango, Zacatecas, Guanajuato y Michoacán) | McVaugh (1983-2001) |
| Quintana-Roo | Sousa y Cabrera (1983) |
| Tabasco | Cowan (1983) |
| Valle Tehuacán-Cuicatlán (partes de Puebla y Oaxaca) | Dávila-Aranda <i>et al.</i> (1993), Dávila-Aranda <i>et al.</i> (1993-2000), Kelly <i>et al.</i> (2000-2004), Novelo-Retana <i>et al.</i> (2004-2007), Medina- Lemos <i>et al.</i> (2007-2019) |

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar, 21 de los 32 estados mexicanos presentan estudios publicados sobre su riqueza florística. En este sentido, también sobresale el esfuerzo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), con sus publicaciones de estudios de estado de la biodiversidad, los cuales incluyen estudios sobre la flora; al 2020 han publicado 22 de estos estudios de los 32 estados que integran a la República Mexicana. De igual manera, sobresale el estudio de Villaseñor (2016), registrando el número total de especies para México hasta ese momento, incluyendo el número de especies por estado, además de la lista florística e incluye la distribución de cada especie por estado.

Por lo anterior, aun cuando el conocimiento del recurso vegetal en México presenta un avance respetable, es muy importante que, desde un punto de vista de planificación estratégica, se priorice el completar el inventario taxonómico de la flora mexicana, para poder contar con una herramienta que permita desarrollar de forma confiable y correcta, las mejores estrategias de conservación y de desarrollo sustentable en este país.

¿Cómo se ha utilizado, se utiliza y se debe utilizar el conocimiento florístico para el desarrollo sustentable

El estudio y conocimiento de la flora y vegetación de una región en particular se vislumbra como una condición indispensable para comprender mejor la relación sociedad-naturaleza. Si intentamos mejorar cada día esta relación nos estaremos acercando al logro de un equilibrio armónico entre las necesidades de la sociedad y los ecosistemas que se establecen en la naturaleza (Chaviano-Beitra, 2007).

La información existente sobre la riqueza florística en México se ha utilizado y se utiliza como base para una serie de acciones de conservación y protección de los recursos naturales, así como para planificar estrategias de desarrollo sustentable, principalmente en comunidades rurales e indígenas, porque ellas son las que conviven día con día con estos recursos (Aranda, Gual-Díaz, Monroy-Vilchis, Silva y Velázquez, 1999; Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, 2019; Conabio, 2008; Bocco, Velázquez y Torres, 2000; Guevara-Romero, Téllez-Morales y Flores-Lucero, 2015).

De esta manera, la información referente al conocimiento de los diferentes tipos de vegetación existentes en México, así como las especies que caracterizan a cada uno de ellos, su estructura, estratificación y la riqueza de especies en general, se utilizan para llevar acciones y estudios de diferente índole. Entre estas acciones y estudios destacan, solo por mencionar algunos ejemplos: restauración ecológica, planeación e identificación de áreas prioritarias para la conservación, protección de recursos naturales (en forma de áreas naturales protegidas), estudios de línea base para manifestaciones de impacto ambiental, de ordenamiento ecológico, así como también aquellos utilizados para sustentar los contenidos de los programas de Educación Ambiental, entre muchos otros usos que se le da en la conservación de los recursos naturales. La información florística y de vegetación se utiliza también para apoyar el desarrollo sustentable de forma extensa: para identificar especies que sean susceptibles de aprovechamientos racionales, como base de estudios de factibilidad y capacidad de carga de proyectos de ecoturismo y, en general, como base para proyectos productivos que sean sustentables (Luna-Nieves, 2011; Gámez *et al.*, 2016; Méndez-Toribio, Martínez-Garza, Ceccon y Guariguata, 2018; Rivera-Hernández, 2015;



Rivera-Hernández, Alcántara-Salinas, Vargas-Rueda, Balderas-San Miguel y Mora-Gallardo, 2019).

No obstante, a pesar de que los inventarios florísticos no se han concluido, es muy importante que la información existente a la fecha sobre la diversidad vegetal de México se aproveche cabalmente, tanto para las acciones de conservación, como para las que van encaminadas hacia un aprovechamiento sustentable. La anterior afirmación se debe a que, a pesar de que la información biológica (incluida la florística y de vegetación) ya existe y se encuentra disponible en algunas regiones, esta no es utilizada ni tomada en cuenta en la mayoría de las acciones de conservación y desarrollo sustentable que actualmente se llevan a cabo; por ejemplo, en las acciones de restauración ecológica, específicamente en la que más comúnmente se realiza: la reforestación (Carabias, Arriaga y Cervantes, 2007).

Es muy importante que, quienes llevan a cabo acciones de reforestación, tomen en cuenta la diversidad florística de cada zona en particular, utilizando para las plantaciones las especies nativas y no solo las dominantes, sino que, con el conocimiento existente acerca de la estructura y estratificación de la vegetación original, traten de imitar la distribución espacial de las especies en el área a restaurar, esto debido a que, generalmente, las especies utilizadas en la reforestación son pinos o maderas preciosas o semipreciosas (por ser especies “aprovechables” y redituables económicamente).

Otra práctica común es el uso de especies no nativas o introducidas para la reforestación, dando prioridad a aquellas que son de fácil propagación y supervivencia, sin poner mucha atención en otras especies no “aprovechables” para el ser humano, pero muy importantes desde el punto de vista ecológico para el funcionamiento de los ecosistemas, entre ellas muchas especies arbustivas. Esto se puede observar fácilmente si se revisa el catálogo de especies en producción de la mayoría de los viveros forestales a nivel nacional (Molina-González, 2009). Un ejemplo actual es el programa gubernamental denominado “Sembrando Vida” (Secretaría del Bienestar, 2020), el cual, de origen ya tiene un defecto, pues únicamente se preocupa por la productividad para procurar el bienestar social, además de que sobresale su mal manejo, pues en muchas localidades se ha reportado deforestación



de predios con bosques naturales, para poder tener acceso a este programa y así cobrar los estímulos económicos que este ofrece (Castillo, 2020).

Es también muy importante que la información florística se utilice para los programas de educación ambiental, tanto para la planeación y diseño de senderos educativos, como para nutrir los contenidos de dichos programas pues, aunque hay valiosos ejemplos que sí la utilizan (Escande, 2020; Cante A. C., 2020), la gran mayoría no le prestan la debida atención a la veracidad de la información que brindan.

Del mismo modo ocurre en los proyectos ecoturísticos, pues esta información puede y debe ser aprovechada para la planeación de senderos, para nutrir la información que se ofrezca en estos en forma de carteles informativos sobre la vegetación y especies presentes, para el rotulado de especies vegetales para su identificación, así como para la elaboración de guías ecoturísticas de identificación de especies y tipos de vegetación, algo que desafortunadamente no se ha explotado extensivamente en México, a diferencia de otros países, como es el caso de Costa Rica, Perú y otros países latinoamericanos (Díaz-Herrera, 2017; Ministerio del Ambiente y Educación, 2012).

Por otra parte, es importante resaltar la relación intrínseca entre la botánica y el paisaje. Para ilustrar esta relación podemos partir de una visión basada en diferentes escalas y en los procesos que suceden en los espacios, los cuales definitivamente influyen en las expresiones de la flora y en el carácter de los paisajes (y evidentemente de las regiones). Primero, se parte de la escala del individuo, es decir, el espécimen descrito como unidad independiente de los otros organismos, a una escala grande (1:1). Dicho individuo posee sus propias características fisiológicas, por ejemplo, tipo y tamaño de hoja, altura, características del tallo o tronco, forma y color de las flores y los frutos, entre otros aspectos particulares. Asimismo, muestra una relación con su entorno inmediato y mediato, que le influye en su manera de vivir y relacionarse con ese entorno.

Después, disminuyendo la escala, con una visión más amplia, se encuentran grupos de individuos, con los que, dependiendo del ecosistema, se visualizará la diversidad que existe y en donde se visualizan las relaciones entre diferentes especies, las que en su conjunto manifiestan mosaicos de formas y colores diversos, alturas, contrastes y texturas



diferentes. Siguiendo esa disminución de escala, aparecen los paisajes, que son aquellas partes de la corteza terrestre, que muestran características similares y que definen unidades espaciales discretas y reconocibles denominadas como Unidades de Paisaje.

Las unidades de Paisaje están definidas por las características del medio como lo es la geología, la topografía, la edafología, el clima y la vegetación resultante (Farina, 1998). Estas unidades presentan características formales de conjunto, como resultado de una especie de sumatoria de las características individuales y de grupo de la vegetación presente en esas unidades. Las características ya mencionadas muestran entonces esa relación escalar intrínseca entre las especies vegetales individuales y luego grupales con el paisaje, con lo cual, insistiendo en la necesidad del conocimiento de la vegetación, la relación entre la botánica y el paisaje se potencia. Es en este tema, donde el conocimiento de la flora y la vegetación toma relevancia en el paisaje, pues muchos técnicos y especialistas en arquitectura del paisaje requieren el conocimiento de los taxónomos, respecto a las especies de flora nativas que deben utilizar en su paleta de especies para sus diseños paisajísticos, sobre todo en el ámbito urbano, pero también en términos rurales y ecoturísticos (Molina-Prieto, 2009).

El desarrollo sustentable en México, su historia, presente y futuro

Los recursos naturales representan la base material para la sobrevivencia y el desarrollo del ser humano y sus diferentes sociedades, siendo motivo de atención el acceso y usufructo de estos recursos, ya sea desde la simple recolección de productos de origen natural, hasta los más complejos productos consecuencia de procesos industriales (Méndez-Urbán, Díaz y Maradiaga, 2010).

Es indudable que, si se quiere hablar, analizar y discutir el desarrollo sustentable en México, habría que remitirse a sus regiones rurales e indígenas. Día con día, las comunidades locales se enfrentan a la gran problemática de hacer producir la tierra con muy pocos recursos económicos y sin acabar con los recursos naturales que poseen. Lo anterior se debe a que nos enfrentamos con un escenario en el que la falta de planeación para el aprovechamiento de los recursos y la implementación y permanencia de un modelo



económico excluyente y despilfarrador, han ocasionado el severo deterioro de los recursos naturales, siendo la base que provee a las comunidades humanas de sus satisfactores más elementales. Este escenario ha provocado, desde hace varias décadas, que estas regiones se encuentren sumidas en la marginación y la pobreza extrema, por lo que la búsqueda de un modelo sustentable para el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, representa una urgente necesidad para uno de los más importantes sectores de la población, los campesinos, para encontrar formas no solo para sobrevivir con dignidad, sino también para poder desarrollarse plenamente como grupo social y humano (Méndez-Urbán, Díaz y Maradiaga, 2010).

Fue al final de la década de los 80's, casi al término de la llamada "década perdida", que en México se inició con mayor fuerza la idea de la sustentabilidad para el desarrollo y se convirtió, de un reclamo marginal casi inexistente, a una exigencia emergente por parte de los movimientos y organizaciones sociales y del sector privado, para finalmente verse reflejado en las políticas y acciones de gobierno. De esta manera, en 1988 se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual incorpora, no únicamente la protección ambiental y regula su contaminación, sino que también el tema del uso sustentable de los recursos naturales, adicionando el componente de sustentabilidad a las prioridades del Estado (Escobar, 2007).

A inicios de los 90's, a pesar de una lenta recuperación económica, parecía que México estaba en el camino de consolidar su desarrollo sustentable, sin embargo, los acontecimientos que se originaron en el país, tales como el levantamiento armado en Chiapas en la misma fecha en que se ponía en marcha el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), así como la crisis institucional del país entero, lo alejaron del todo de la sustentabilidad, adicional a la evolución institucional que se desarrolló muy lentamente hacia el tema ambiental y de sustentabilidad. No fue hasta el año de 1992 cuando se creó la CONABIO y en 1994 se conformó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (Escobar-Delgadillo, 2007).

Actualmente, México ha tenido logros y avances muy importantes hacia el desarrollo sustentable; sin embargo, si se analizan fríamente los números que arrojan los datos



económicos, nos damos cuenta que el modelo de desarrollo actual está basado en la insustentabilidad del aprovechamiento de los recursos naturales, pues presenta una tasa de inversión promedio del 5.1 % de la ganancia obtenida, con el fin de resarcir el abatimiento de los recursos y una proporción de su Producto Interno Bruto (PIB) del 10 % de degradación ambiental, por lo anterior, se ha priorizado el desmedido uso de los recursos naturales bajo el criterio de la rentabilidad inmediata, provocando la destrucción de recursos potenciales cuyo valor no se refleja en el mercado, además de que el deterioro del medio ambiente, resultado de la acción del hombre, es a la vez el elemento más condicionante del desarrollo social (Escobar-Delgadillo, 2007).

Por otra parte, también se ha intentado desarrollar la sustentabilidad desde el gobierno, desde el escritorio, con modelos que han funcionado en los países desarrollados y sin tomar en cuenta aspectos importantes, como el comprender y valorar el cómo cada sociedad, cultura y/o comunidad maneja su espacio y sus recursos, cómo desarrollan sus actividades económicas, agrícolas o pecuarias (Méndez-Urbán, Díaz y Maradiaga, 2010) y cómo las han realizado desde tiempos prehispánicos, así como también el tratar de trabajar con la gente de una forma horizontal, “hombro con hombro”, para obtener resultados reales (Rivera-Hernández, Alcántara-Salinas y Vergara-Villamil, 2009).

La globalización ha provocado una transformación importante de los saberes locales sobre el manejo de recursos naturales; sin embargo, muchos de estos saberes para entender y manejar la naturaleza han sobrevivido y prevalecido a la globalización, por lo que tenemos el deber de reconocer y valorar el conocimiento tradicional que se ha transmitido de generación en generación, el cual les permite a las comunidades locales seguir coexistiendo con su entorno natural; por lo anterior, sobresale como una prioridad el tratar de registrar, sistematizar y documentar los conocimientos tradicionales indígenas y rurales, pero sobre todo, entender la cosmovisión, la percepción y la cognición de los sistemas de clasificación biológica tradicional de las comunidades campesinas y de los pueblos indígenas sobre sus recursos, pues a través de ella es que los bosques y montañas de México se han conservado durante cientos de años (Méndez-Urbán, Díaz y Maradiaga, 2010; Rivera-Hernández, Alcántara-Salinas y Vergara-Villamil, 2009; Alcántara-Salinas, 2011).



Por otro lado, es relevante mencionar que México firmó los compromisos para el desarrollo sustentable de la Agenda 2030, en donde sobresalen los objetivos 13 “acción por el clima” y 16 “vida de ecosistemas terrestres” (PNUD, 2020), por lo que el necesario conocimiento y la documentación, tanto de la flora como de las formas locales de relación con los entornos, se vuelve inclusive una obligación.

Finalmente, el sueño del desarrollo sustentable puede lograrse si se conjunta lo siguiente: a) entrelazar las políticas económicas, productivas y sociales, b) entender la manera de cómo los diferentes grupos étnicos de México perciben su mundo y su relación con la naturaleza, c) trabajar de la mano con las comunidades rurales e indígenas e integrando este entendimiento para la propuesta de nuevas estrategias de desarrollo sustentable y d) formulación de nuevas políticas de estado, en donde se priorice y se le dé más importancia a los campesinos. A través del logro del desarrollo sustentable, se logrará la preservación del medio ambiente, un mejor desarrollo económico, tanto de los campesinos como del aparato productivo en general y, en consecuencia, el mejoramiento de la calidad de vida de la población en general.

Conclusiones

Es indudable que el conocimiento de la riqueza florística juega un papel muy importante para lograr el desarrollo sustentable en México, pues es una disciplina básica que debe ser tomada en cuenta al momento de la planeación de actividades y estrategias encaminadas hacia este tipo de desarrollo. Es cierto también, como se ha expuesto líneas arriba, que el conocimiento sobre la riqueza vegetal en México muestra avances muy importantes, con un faltante en este conocimiento de poco menos del 20 % del total estimado de plantas, por lo que la información actual disponible puede y debe apoyar a sustentar propuestas sólidas de desarrollo sustentable. No obstante, es también de gran importancia que se concluyan los inventarios florísticos de las diferentes regiones de México, con el fin de contar con la mayor información posible sobre este tema, para que la toma de decisiones se realice sobre bases sólidas y fehacientes.



Adicionalmente, el conocimiento florístico se ha utilizado en México para una serie de acciones, tanto de conservación como para buscar el desarrollo sustentable, pero sin aprovechar toda la información disponible, por lo que se hace un llamado a la utilización formal, seria y completa de la información existente (disponible principalmente en publicaciones científicas, de divulgación, herbarios, jardines botánicos y en bases de datos de universidades y centros de investigación) para este tipo de actividades, con el fin de lograr una mejor aplicación de estos conocimientos en disciplinas prácticas.

Por otra parte, citando una vez más la premisa de que no se puede conservar/aprovechar lo que no se conoce y añadiendo que no se puede amar/cuidar lo que no se conoce, toma mayor fuerza la importancia del papel de la riqueza florística para la conservación y el desarrollo sustentable y el contar con el inventario completo de la riqueza vegetal de México.

Es una realidad que los esfuerzos que hasta ahora se han realizado para lograr el desarrollo sustentable en México han quedado muy cortos, lo cual se debe principalmente a la utilización de modelos de desarrollo que son inadecuados para su realidad social y económica, pero principalmente, porque no se ha tomado en cuenta y no se le ha dado prioridad a la manera en cómo los campesinos en general, pero especialmente los grupos indígenas, han manejado tradicionalmente sus recursos naturales y en cómo perciben el mundo que los rodea (la naturaleza), así como también en cómo se han venido transformando sus culturas, costumbres y prácticas agrícolas y ganaderas, como resultado de los cambios sociales recientes, entre ellos, la globalización.

De esta forma, resalta la importancia de contar con estudios etnobiológicos que sistematicen y le den relevancia al conocimiento tradicional sobre recursos naturales, lo cual, conjugado con la información científica sobre flora, vegetación, fauna y los demás recursos naturales, más la información productiva, económica y social, se puedan elaborar propuestas reales y pragmáticas que puedan ser apoyadas por nuevas políticas gubernamentales que prioricen a los más necesitados: los campesinos, quienes son la base de la cadena productiva, para que por un lado se logre la conservación del medio ambiente, pero a la vez se logre el tan anhelado desarrollo sustentable en nuestro país.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a Amauri Díaz Solís, a Fernando Ramírez Muñoz y a dos evaluadores anónimos por la revisión crítica del manuscrito final y sus propuestas para mejorarlo.

Literatura citada

Alcántara-Salinas, G. (2011). *A comparative study of Cuicatec and Zapotec ornithology, with particular reference to contextual variation in a time of environmental and social change in Oaxaca, Mexico*. Tesis doctoral. Universidad de Kent, Reino Unido.

Aranda, M., Gual-Díaz, M., Monroy-Vilchis, O., Silva, L. del C. y Velázquez, A. (1999). Aspectos etnoecológicos: aprovechamiento de la flora y fauna silvestres en el sur de la Cuenca de México. 263–283 pp. En: Velázquez, A. y Romero, F.J. (Comps.). *Biodiversidad de la Región de Montaña del Sur de la Cuenca de México*. Distrito Federal, México: Universidad Autónoma Metropolitana y Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. Recuperado de: <http://dunza.com.mx/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6131Nacionales/6131-14.pdf>

Bocco, G., Velázquez, A. y Torres, A. (2000). Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *Interciencia* 25(2), 64–70. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33904403.pdf>

Cante A. C. (2020). *El Charco del Ingenio. Jardín Botánico y Área Natural Protegida*. San Miguel de Allende, Guanajuato, México. Consultado el 20 de noviembre de 2020. Recuperado de: <https://www.elcharco.org.mx/>

Carabias, J., Arriaga, V. y Cervantes G., V. (2007). Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos. *Boletín de la Sociedad*

Botánica de México 80, 85–100. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/pdf/577/57708009.pdf>

Castillo, C. (2020). *Sembrando Vida destruye 10 mil hectáreas de selva*. BiodiversidadLA. Consultado el 20 de noviembre de 2020. Recuperado de:
<http://www.biodiversidadla.org/Noticias/Sembrando-Vida-destruye-10-mil-hectareas-de-selva>

Castillo-Campos, G. (ed.). (2004-2015). *Flora de Veracruz*. Fascículos 134-166. Instituto de Ecología, A.C. y Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana. Xalapa, México.

Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente. (2019). *Propuestas para el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Cd. de México, México: CeIBA. Recuperado de:
https://ceiba.org.mx/publicaciones/Difusion/190611_Propuestas.CeIBA_PND2019.pdf

Chaviano-Beitra, A. (2007). Importancia de los estudios de flora-vegetación en el desarrollo de la minería. Caso de estudio: Moa. *Futuros* (5)19.

CONABIO-CONANP-SEMARNAT. (2008). *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal: Objetivos y Metas*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de:
https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/planeta/internacional/files/EMCV_-_Objetivos_y_Metas.pdf

Cowan, C. P. (1983). *Flora de Tabasco*. Serie Listados florísticos de México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Dávila-Aranda, P., Villaseñor-Ríos, J. L., Medina-Lemos, R., Ramírez-Roa, A., Salinas-Tovar, A., Sánchez-Ken, J. y Tenorio-Lezama, P. (1993). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Serie Listados florísticos de México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

- Dávila-Aranda, P., Villaseñor-Ríos, J. L., Medina-Lemos, R. y Téllez-Valdés, O. (1993-2000). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 1–28. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- De Groot R. S., Wilson, M. A. y Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41, 393–408. Recuperado de: http://ww2.oikos.unam.mx/CIEco/comunidades/files/De%20Groot,%202002_VALUATION%20OF%20ECOSYSTEM%20FUNCTIONS,%20GOODS%20AND%20SERVICES.pdf
- Díaz-Herrera, M. (2017). La educación ambiental en los centros educativos de Monteverde: algunas lecciones aprendidas dentro y fuera del aula. *Ambientico* 263, 51–56. Recuperado de: <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/263.pdf>
- Diego-Pérez, N. y Fonseca-Juárez, R. M. (1989-2014). *Flora de Guerrero*. Fascículos 1–63. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Escande, A. (2020). *Centros Ecoclub*. Recuperado de: <https://www.centrosecoclub.com.mx/>
- Escobar-Delgado, J. L. (2007). El Desarrollo Sustentable en México (1980-2007). *Revista Digital Universitaria* (9)3, 4-13. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.9/num3/art14/art14.pdf>
- Farina, A. (1998). *Principles and methods in landscape ecology*. The Netherlands: Springer.
- Fisher, B., Constanza, R., Turner, R. K. y Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68, 643–653. Recuperado de: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/80264/1/571829937.pdf>
- Gámez, M. O., Villavicencio G., E., Serrato C., M. A., Mejía M., J. M., Treviño C., G., Martínez G., L., Rodríguez O., M., Granada C., L., Flores C., M., Reyes S., J., Islas

- L., M., Salomé C., E., Menchaca G., R. A., Espadas M., C. M., Hernández S., L., Vázquez G., L. M., Martínez M., F., Vargas P., O. y Ríos S., E. (2016). *Conservación y aprovechamiento sostenible de especies ornamentales nativas de México*. México: Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/172778/Conservaci_n_y_aprovechamiento_sostenible_de_especies_ornamentales_de_M_xico.pdf
- Gómez-Pompa, A. (ed.). (1978-1988). *Flora de Veracruz*. Fascículos 1-59. Xalapa, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, A. C.
- Gómez-Pompa, A. (ed.) (1990-1991). *Flora de Veracruz*. Fascículos 60-66. Xalapa, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos y University of California.
- González-Elizondo, M., González-Elizondo, S. y Herrera-Arrieta, Y. (1991). *Flora de Durango*. Serie Listados florísticos de México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de: <http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/lfi9.html>
- Guevara-Romero, M. L., Téllez-Morales, M. B. R. y Flores-Lucero, M. L. (2015). Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales desde la visión de las comunidades indígenas: Sierra Norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia* (7)14, 511–537. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n14/2007-0705-ns-7-14-00511.pdf>
- Hassan, R., Scholes, R. y Ash, N. (eds). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Findings of the Condition and Trends Working Group Volume I. USA: Island Press and Millennium Ecosystem Assessment. 26–36 pp. Recuperado de: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.766.aspx.pdf>

- 
- Jiménez, J., Fonseca-Juárez, R. M. y Martínez, M. (2015-2018). *Flora de Guerrero*. Fascículos 64-82. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Kelly, L. M. (2000-2004). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 29-38. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Luna-Nieves, A. L. (2011). *Identificación, selección y aprovechamiento de árboles semilleros en áreas de conservación comunitaria en el municipio de Churumuco, Michoacán, México*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental), Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/282817392_Identificacion_seleccion_y_aprovechamiento_de_arboles_semilleros_en_areas_de_conservacion_comunitaria_en_Churumuco_Michoacan_Mexico
- Mc Vaugh, R. (1983-2001). *Flora Novogaliciana*. USA: The University of Michigan Herbarium, Ann Arbor.
- Medina-Lemos, R. (2007-2019). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 47-159. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Méndez, A., Urbán, G., Díaz, E. y Maradiaga, F. (2010). Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable en las Regiones Indígenas. Pp. 105–149. En: del Val, J., Zolla, C. y Sánchez G., C. (coord.). *Estado del desarrollo económico y social de los pueblos indígenas de Guerrero*. Tomo I. México: Programa Universitario México Nación Multicultural, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Secretaría de Asuntos Indígenas del Gobierno del Estado de Guerrero. Recuperado de: [http://www.nacionmulticultural.unam.mx/edespig/diagnostico_y_perspectivas/economia_sociedad/2%ECONOMIA%20SOCIEDAD%20Y%20DESARROLLO/1%20RECURSOS%20NATURALES/Estado%20del%20desarrollo%20\(Cap%2004\).pdf](http://www.nacionmulticultural.unam.mx/edespig/diagnostico_y_perspectivas/economia_sociedad/2%ECONOMIA%20SOCIEDAD%20Y%20DESARROLLO/1%20RECURSOS%20NATURALES/Estado%20del%20desarrollo%20(Cap%2004).pdf)
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Cecon, E. y Guariguata, M. R. (2018). *La restauración de ecosistemas terrestres en México: Estado actual, necesidades y*

oportunidades. Documentos Ocasionales 185. Bogor, Indonesia: CIFOR. Recuperado de: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-185.pdf

Ministerio del Ambiente y Ministerio de Educación. (2012). *Política Nacional de Educación Ambiental*. Gobierno de Perú. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/politica_nacional_educacion_ambiental_amigable_11.pdf

Molina-González, D. (2009). *Estudio Regional Forestal. Unidad de Manejo Forestal 0904*. Xochimilco, Distrito Federal. Servicios Técnicos Forestales y Ambientales. México, D.F. Recuperado de: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1199ERF_UMAFOR0904.pdf

Molina-Prieto, L. F. (2009). Botánica para arquitectos del siglo XXI. *Revista Nodo* 3(6), 97–106. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3364599.pdf>

Novelo-Retana, A. (2004-2007). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 39-46. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Consultado en enero 2020. Recuperado de: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Rivera-Hernández, J. E. y Espinosa H., A. (2007). Flora y vegetación del Distrito Federal. Pp. 231-253. En: I. Luna V., J.J. Morrone y D. Espinosa O. (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de: https://www.academia.edu/600763/Flora_y_vegetaci%C3%B3n_del_Distrito_Federal

Rivera-Hernández, J. E., Alcántara-Salinas, G. y Vergara-Villamil, A. (2009). *Guía ecoturística de la Biodiversidad y la Cultura de San Juan Teponaxtla, Cuicatlán, Oaxaca*. Córdoba, Veracruz, México: Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C., Rufford Small Grants Foundation y Programa de Apoyo a las



Culturas Municipales y Comunitarias del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (PACMyC-CONACULTA). 216 pp.

Rivera-Hernández, J. E. y Flores-Hernández, N. (2013). *Flora y Vegetación del Distrito Federal. Problemática y Conservación*. Distrito Federal, México. Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C. y Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Rivera-Hernández, J. E. (2015). *Flora, vegetación y priorización de áreas de conservación del Parque Nacional Cañón del Río Blanco, Veracruz, México*. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional y Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. Recuperado de: https://www.academia.edu/36044450/Flora_vegetaci%C3%B3n_y_priorizaci%C3%B3n_de_%C3%A1reas_de_conservaci%C3%B3n_del_Parque_Nacional_Ca%C3%B1%C3%B3n_del_R%C3%ADo_Blanco_Veracruz_M%C3%A9xico

Rivera-Hernández, J. E. (2016). La Flora y Vegetación de la Ciudad de México. Pp. 24–48. En: CONABIO (ed.). *Estudio de Biodiversidad en la Ciudad de México. Estudio de estado*. Vol. II. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. Recuperado de: https://www.academia.edu/31066492/Flora_y_Vegetaci%C3%B3n_en_la_Ciudad_de_M%C3%A9xico._Conabio

Rivera-Hernández, J. E., Alcántara-Salinas, G., Vargas-Rueda, A. F., Balderas-San Miguel, O. y Mora-Gallardo, R. (2019). *Estudio de Biodiversidad para el Proyecto Minicentral Misantla, Veracruz, México*. Reporte final de resultados. Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C. (Geobicom) y Comisión Federal de Electricidad. Veracruz, México.

Rzedowski, G. C. de, Rzedowski, J. y colaboradores. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª. Edición. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1406 pp.

Recuperado de:
https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Indice_Flora_del_Valle_de_Mx.pdf

Rzedowski, J. y Calderón de R., G. C. (eds.). (1991-2019). *Flora del Bajío y Regiones adyacentes*. México: Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Secretaría del Bienestar. (2020). *Programa Sembrando Vida. Programa de Comunidades Sustentable*. Gobierno de México. México. Recuperado de:
<https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>

Sosa, V. (ed.). (1992-2003). *Flora de Veracruz*. Fascículos 67-133. Xalapa, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Instituto de Ecología, A.C. y University of California.

Sousa-Sánchez, M. y Cabrera C., E. F. (1983). *Flora de Quintana Roo*. Serie Listados florísticos de México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de:
<http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/lfl2.html>

Toledo, V. M, Rzedowski, J. y Villalobos, J. (1997). Regional Overview: Middle America. Pp. 97–124. En: Davis, S.D., Heywood, V.H., Herrera-MacBryde, O., Villalobos, J. y Hamilton, A.C. (Eds.) *Centres of Plant Diversity. A guide and strategy for their conservation*. Volume 3. The Americas. Cambridge, Reino Unido: WWF/IUCN.

Torrecilla, P. (2007). *Botánica y Humanidad: esencia del Desarrollo Sustentable. Enfoques contemporáneos de la sistemática*. Conferencia dictada en el marco del XVII Congreso Venezolano de Botánica. Recuperado de:
http://www.sbotanica.org.ve/XVII_CVB_2007_memorias.pdf

Viirsoo, E. V. (1965). Los recursos vegetales de la Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina para la Investigación de Productos Aromáticos* (4)12, 20-23. Recuperado de: <http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio004-07.html>

- 
- Villareal-Quintanilla, J. A. (2001). *Flora de Coahuila*. Serie Listados florísticos de México. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recuperado de: <http://www.ibiologia.unam.mx/BIBLIO68/fulltext/lf23.pdf>
- Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* (18)3, 160-167. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33907806.pdf>
- Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.* 85, S134–S142. Recuperado de: http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/16.-_1173.pdf
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87, 559–902. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/425/42547314001.pdf>



Environment & Technology

REVISTA CIENTÍFICA

Convocatoria para **tercer número** de artículos originales e inéditos

Se reciben contribuciones como:

- * Artículo de investigación
- * Notas científicas
- * Artículos de revisión
- * Artículos de reflexión
- * Reseñas de libros



Hasta el **30 de Abril** del **2021**

ENVÍE SU ARTÍCULO A:

 ret@revistaenvironmentandtechnology.co

PARA MÁS INFORMACIÓN:

 www.revistaenvironmenttechnology.co

  [@environmentytec](https://www.instagram.com/environmentytec)



LA SOSTENIBILIDAD TRATA DE ECOLOGÍA, ECONOMÍA E IGUALDAD

-Ralph Bicknese



ENVIRONMENT &
TECHNOLOGY
FOUNDATION