

# Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios - ECACEN



ZOOBIOS (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
INCACEN (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
CIDAGRO (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
MERKATOR (Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA)  
GICAD (Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO)



# **GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO RURAL: INNOVACIONES PARA UN FUTURO SOSTENIBLE**

## **Autores:**

Alberto Roldán Niño  
Alexander Salazar Montoya  
Alfonso Corte López  
Aura Camila Pacheco Tobio  
Belky Josefina Rodríguez Zuleta  
Binsen Esteban Ríos Restrepo  
Carmenza María Caraballo Castro  
César Osorio Betancurt  
Cindy Lorena García Pinto  
Claudia María Vitola Otálora  
Damileth Dearmas Duarte  
Eroel Arcángel Correa Marín  
Esteban Álvarez Dávila

Fanny Pinzón Candelario  
Gloria María Restrepo Franco  
Gustavo Adolfo Ramos Gélvez  
Ingris Yohana Hernández Martínez  
Jorge Eduardo de Jesús León Alonso  
José Fernando Solanilla-Duque  
Juan Carlos Quiroz Díaz  
Manuel Pinzón Candelario  
Margarita del Rosario Salazar Sánchez  
María Fernanda Domínguez Amorocho  
Samuel López Gómez  
Sebastián Hoyos  
Tania Masiel Picón Clavijo  
Vladimir Jhosmell Baquero Márquez

## **Grupos de Investigación:**

ZOOBIOS (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
INCACEN (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
CIDAGRO (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)  
MERKATOR (Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA)  
GICAD (Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO)

## UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)

Jaime Alberto Leal Afanador

**Rector**

Constanza Abadía García

**Vicerrectora académica y de investigación**

Leonardo Yunda Perlaza

**Vicerrector de medios y mediaciones pedagógicas**

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

**Vicerrector de servicios a aspirantes, estudiantes y egresados**

Leonardo Evemeleth Sánchez Torres

**Vicerrector de relaciones intersistémicas e internacionales**

Julialba Ángel Osorio

**Vicerrectora de inclusión social para el desarrollo regional y la proyección comunitaria**

Jordano Salamanca Bastidas

**Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente**

Sandra Rocío Mondragón Arévalo

**Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios**

Juan Sebastián Chiriví Salomón

**Líder Nacional del Sistema de Gestión de la Investigación (SIGI)**

Martín Gómez Orduz

**Líder Sello Editorial UNAD**

# Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible

**Compiladora:** Fanny Pinzón Candelario

**Autores:** Alberto Roldán Niño, Alexander Salazar Montoya, Alfonso Corte López, Aura Camila Pacheco Tobio, Belky Josefina Rodríguez Zuleta, Binsen Esteban Ríos Restrepo, Carmenza María Caraballo Castro, César Osorio Betancurt, Cindy Lorena García Pinto, Claudia María Vitola Otálora, Damileth Dearmas Duarte, Eroel Arcángel Correa Marín, Esteban Álvarez Dávila, Fanny Pinzón Candelario, Gloria María Restrepo Franco, Gustavo Adolfo Ramos Gélvez, Ingris Yohana Hernández Martínez, Jorge Eduardo de Jesús León Alonso, José Fernando Solanilla-Duque, Juan Carlos Quiroz Díaz, Manuel Pinzón Candelario, Margarita del Rosario Salazar Sánchez, María Fernanda Domínguez Amorcho, Samuel López Gómez, Sebastián Hoyos, Tania Masiel Picón Clavijo, Vladimir Jhosmell Baquero Márquez

## Grupos de Investigación:

ZOOBIOS (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)

INCACEN (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)

CIDAGRO (Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD)

MERKATOR (Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA)

GICAD (Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO)

## ISBN:

### e-ISBN:

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente–ECAPMA

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios–ECACEN

©Editorial

Sello Editorial UNAD

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Calle 14 sur No. 14-23

Bogotá D.C.

Agosto de 2025

**Corrección de textos:** Milena Espinosa Manrique

**Diseño de portada:** Fanny Pinzón Candelario

**Diagramación:** Nathalia A. López Ramírez / Hipertexto - Netizen

**Edición integral:** Hipertexto – Netizen

**Cómo citar este libro:** Pinzón Candelario, F. (Comp.) (2025). *Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible*. Sello Editorial UNAD. **DOI PENDIENTE**

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons–Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional. [https://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](https://co.creativecommons.org/?page_id=13).



## Reseña del libro

*Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible* es una referencia para todas las partes interesadas en el desarrollo de un futuro sostenible para la gestión del medio ambiente y su aplicación a las transformaciones rurales. La recopilación de estudios realizados por varios docentes investigadores destaca las innovaciones y describe los enfoques integrales disciplinarios del manejo ambiental.

El libro aborda los desafíos contemporáneos que las zonas rurales enfrentan en medio de variaciones climáticas, la destrucción de los ecosistemas y un desarrollo económico insostenible. Además, describe los enfoques innovadores y promocionados a través de estudios de caso críticos que se pueden utilizar para gestionar los recursos naturales, fomentar la agricultura sostenible y aumentar las oportunidades de las comunidades.

Uno de los aspectos más destacados de esta obra es su enfoque en la innovación como motor de cambio. Desde el uso de tecnologías limpias hasta la implementación de políticas públicas inclusivas, los autores presentan un abanico de soluciones que buscan transformar las zonas rurales en territorios resilientes y sostenibles. Además, el libro resalta la importancia de la cooperación entre actores locales, nacionales e internacionales para alcanzar estos objetivos.

*Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible* es una lectura indispensable para investigadores, académicos y tomadores de decisiones interesados en las interacciones entre la gestión ambiental y el desarrollo rural. Con un enfoque tanto teórico como práctico, esta obra ofrece una guía valiosa para quienes buscan impulsar un desarrollo rural alineado con los principios de sostenibilidad y equidad.

## Reseña de los autores

### Alberto Roldán Niño

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia. Con una amplia experiencia nacional e internacional en procesos agrícolas tecnificados, en especial en floricultura intensiva. Actualmente, se encuentra vinculado al programa AgroSENA del Centro de Atención al Sector Agropecuario en la Regional Risaralda.

### Alexander Salazar Montoya

Ingeniero agrónomo, especialista en gestión ambiental y magíster en desarrollo sostenible y medio ambiente. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) desde octubre del 2011. Con experiencia en planificación y manejo de áreas protegidas, así como trabajo de extensión rural con comunidades campesinas e indígenas. Productor de café especial durante los últimos 15 años.

### Alfonso Corte López

Licenciado en administración, magíster en administración de la Universidad de Sonora y doctor en administración educativa del Instituto Pedagógico de Posgrado en Sonora. Docente de la Universidad de Sonora. Editor ejecutivo invitado asociado de la revista *Epistemos: Ciencia, Tecnología y Salud* de la Universidad de Sonora, y revisor de artículos de revistas científicas internacionales. Miembro del Comité Científico de CODIPRO-CIN, España. Organizador de eventos académicos y conferencista a nivel nacional e internacional. Expresidente del Colegio Nacional de Licenciados en Administración de Sonora, con reconocimiento como profesor de tiempo completo con perfil deseable y certificación ante ANFECA, parte del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) nivel candidato. Secretario general de la Red de Investigadores Científicos de América Latina y el Caribe (Red ICALC). Doctor *honoris causa* de la Organización Internacional para la Inclusión y Calidad Educativa con sede en Cusco, Perú.

### Aura Camila Pacheco Tobio

Estudiante del programa de Economía de la Universidad Popular del Cesar, sede Aguachica.

### Belky Josefina Rodríguez Zuleta

Ingeniera agrónoma y magíster en desarrollo sostenible y medio ambiente. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Con 5 años de experiencia en reforestación y manejo de suelos en áreas de explotación de carbón a cielo abierto, y 5 años de experiencia en producción y transformación de café.

**Binsen Esteban Ríos Restrepo**

Ingeniero en mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con más de 5 años de experiencia en el desarrollo de proyectos tecnológicos e innovadores para la optimización de procesos industriales y mejoramiento de la eficiencia operativa del sector productivo. Actualmente, se desempeña como facilitador de robótica en la Tecnoacademia Risaralda del SENA.

**Carmenza María Caraballo Castro**

Docente líder de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Miembro del semillero de investigación SYNERGIA. Coordinadora de investigación en Santa Marta.

**César Osorio Betancurt**

Ingeniero industrial y tecnólogo mecánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con experiencia en la industria alimentaria, experto en diseño en SolidWorks e investigador del programa SENNOVA del Centro de Comercio y Servicios, SENA.

**Cindy Lorena García Pinto**

Ingeniera ambiental y sanitaria, especialista en análisis y gestión ambiental, y magíster en ingeniería mecánica. Con 14 años de experiencia profesional en diferentes áreas como residuos sólidos, planes de manejo, normativa ambiental, sistemas integrados de gestión y seguridad industrial. Docente universitaria desde el 2012 en universidades públicas y privadas; desde el 2019 se encuentra vinculada a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

**Claudia María Vitola Otálora**

Zootecnista. Con 20 años de experiencia docente, actualmente es instructora en el Centro Acuícola y Agroindustrial de Gaira, del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), y con experiencia en proyectos productivos en el Magdalena y Sucre, el Comité de Ganaderos del Magdalena y Agrifuels.

**Damileth Dearmas Duarte**

Ingeniera ambiental y sanitaria, especialista en gerencia pública y doctora en estudios urbanos. Docente investigadora de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) desde octubre del 2012.

**Eroel Arcángel Correa Marín**

Ingeniero industrial y tecnólogo en mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con experiencia de 6 años en proyectos de innovación, desarrollo tecnológico, diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD-CAM), fabricación con molde desechable (FMD) y docencia universitaria.

### **Esteban Álvarez Dávila**

Doctor en ecología, conservación y restauración de ecosistemas. Docente de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

### **Fanny Pinzón Candelario**

Licenciada en biología, especialista en educación ambiental, especialista en gerencia de la seguridad y salud en el trabajo, magíster en ingeniería ambiental y doctora en proyectos. Docente investigadora de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Con más de 25 años de experiencia en proyectos de gestión ambiental, especialmente del recurso hídrico, así como en proyectos y programas de conservación.

### **Gloria María Restrepo Franco**

Doctora en ciencias agrarias. Docente de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales.

### **Gustavo Adolfo Ramos Gélvez**

Zootecnista, especialista en gerencia estratégica de mercados y magíster en educación. De la tercera generación de ganaderos, trabajó en el Comité de Ganaderos del Magdalena. Con 20 años de experiencia docente en instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

### **Ingris Yohana Hernández Martínez**

Médica veterinaria zootecnista y magíster en ciencias veterinarias. Con 7 años de experiencia en docencia e investigación.

### **Jorge Eduardo de Jesús León Alonso**

Ingeniero agrónomo, especialista en gestión de proyectos. Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) desde el 2014. Con experiencia en sistemas de producción agrícola y extensión rural.

### **José Fernando Solanilla-Duque**

Ingeniero agroindustrial y doctor en ciencias de coloides e interfaces. Con 29 años de experiencia en docencia e investigación. Sus temas de interés son biotecnología de alimentos, bioprocesos y conservación de alimentos, acerca de los cuales ha publicado varios artículos en revistas indexadas.

### **Juan Carlos Quiroz Díaz**

Zootecnista. De la tercera generación de ganaderos, es comerciante y productor en su empresa Miraflores.

**Manuel Pinzón Candelario**

Ingeniero metalúrgico y de materiales, especialista en gestión ambiental y magíster en evaluación de integridad y durabilidad de materiales. Con experiencia como director de laboratorio de ensayo con acreditación ISO 17025 y consultor de calidad de materiales. Docente e investigador en las áreas de ingeniería civil, mecánica y ambiental.

**Margarita del Rosario Salazar Sánchez**

Bióloga, magíster en recursos hidrobiológicos continentales y doctora en ciencias agrarias y agroindustriales. Con experiencia de 5 años en docencia y 10 años en investigación. Sus temas de interés son ecotoxicidad, biodegradación de polímeros, ecología y biotecnología de alimentos, acerca de los cuales ha publicado varios artículos en revistas indexadas.

**María Fernanda Domínguez Amorocho**

Ingeniera ambiental, especialista en gerencia de proyectos y magíster en desarrollo alternativo, sostenible y solidario. Con 14 años de experiencia en manejo y educación ambiental, y en procesos de fortalecimiento de vocaciones científicas.

**Samuel López Gómez**

Ingeniero (en prácticas) en procesos agroindustriales de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con experiencia en la industria alimentaria y acuapónica, investigador del programa SENNOVA del Centro de Comercio y Servicios, SENA.

**Sebastián Hoyos**

Ingeniero mecatrónico de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con experiencia en administración, diseño 2D y 3D, así como habilidades de programación. Actualmente, está vinculado como facilitador de electrónica de Tecnoacademia Risaralda, del SENA.

**Tania Masiel Picón Clavijo**

Estudiante del programa de Economía de la Universidad Popular del Cesar, sede Aguachica.

**Vladimir Jhosmell Baquero Márquez**

Profesional en administración de empresas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), especialista en gerencia financiera de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y magíster en tecnología educativa del Tecnológico de Monterrey. Con 12 años de experiencia laboral en el sector público y privado, y 10 años de experiencia como docente universitario en diferentes instituciones públicas y privadas como la UNAD, UNIMINUTO, CUN y el SENA.

## Tabla de contenido

|                                                                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Reseña del libro                                                                                                                                                         | 4         |
| Reseña de los autores                                                                                                                                                    | 5         |
| Introducción                                                                                                                                                             | 19        |
| <b>Capítulo 1. Análisis de tecnologías de valorización de residuos sólidos orgánicos como punto de partida para una gestión integral de residuos sólidos municipales</b> | <b>21</b> |
| Resumen                                                                                                                                                                  | 21        |
| Abstract                                                                                                                                                                 | 22        |
| Introducción                                                                                                                                                             | 23        |
| La biomasa y sus características                                                                                                                                         | 23        |
| Revisión de diferentes tecnologías de aprovechamiento                                                                                                                    | 25        |
| Referentes de las tecnologías emergentes en la gestión de residuos orgánicos                                                                                             | 30        |
| Referencias                                                                                                                                                              | 31        |
| <b>Capítulo 2. Crisis civilizatoria del pensamiento: reflexiones sobre los discursos sustentables de Enrique Leff</b>                                                    | <b>35</b> |
| Resumen                                                                                                                                                                  | 35        |
| Abstract                                                                                                                                                                 | 36        |
| Introducción                                                                                                                                                             | 37        |
| Planteamiento de la temática                                                                                                                                             | 38        |
| Transformar la ciencia en busca de nuevos conceptos que guíen el pensamiento                                                                                             | 39        |
| Cómo empezar a pensar por fuera de los discursos hegemónicos: la otredad y el diálogo de saberes                                                                         | 41        |
| La educación ambiental y los centros universitarios en América Latina                                                                                                    | 43        |
| El saber ambiental de los pueblos indígenas en América Latina                                                                                                            | 44        |
| Conclusiones                                                                                                                                                             | 45        |
| Referencias                                                                                                                                                              | 47        |
| Lecturas recomendadas                                                                                                                                                    | 48        |

**Capítulo 3. Inventario de avifauna en dos zonas de Santa Marta:  
zona baja del río Toribio y zona de Minca Pozo Azul** **49**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Resumen                            | 49 |
| Abstract                           | 50 |
| Introducción                       | 51 |
| Metodología                        | 52 |
| Áreas de estudio                   | 52 |
| Método de inventario de avifauna   | 54 |
| Transectos                         | 54 |
| Puntos de observación y conteo     | 54 |
| Análisis de datos                  | 55 |
| Resultados                         | 55 |
| Diversidad y abundancia            | 55 |
| Discusión y análisis de resultados | 61 |
| Conclusiones                       | 61 |
| Referencias                        | 62 |

**Capítulo 4. Análisis económico y nutricional del ensilaje  
de maíz (Zea mays), con y sin mazorca, utilizando diferentes i  
nclusiones de melaza, en el Caribe colombiano** **63**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Resumen                             | 63 |
| Abstract                            | 64 |
| Introducción                        | 65 |
| Materiales y métodos                | 67 |
| Medición de variables nutricionales | 70 |
| Enfoque y diseño experimental       | 71 |
| Resultados                          | 72 |
| Conclusiones                        | 74 |
| Recomendaciones                     | 75 |
| Referencias                         | 75 |

## **Capítulo 5. Huertas escolares para la sostenibilidad: integración de prácticas agroecológicas en la educación**

77

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Resumen                 | 77 |
| Abstract                | 78 |
| Introducción            | 79 |
| Metodología             | 79 |
| Resultados              | 80 |
| Análisis y conclusiones | 81 |
| Referencias             | 83 |

## **Capítulo 6. Diseño de un sistema hidropónico de precisión automatizado orientado a la seguridad alimentaria de las familias**

85

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Resumen                                      | 86  |
| Abstract                                     | 87  |
| Introducción                                 | 88  |
| Diseño del sistema hidropónico               | 88  |
| ¿Qué sistema es el más adecuado?             | 89  |
| Automatización                               | 91  |
| Descripción del hardware                     | 91  |
| Lógica de programación                       | 93  |
| Producción                                   | 94  |
| Criterios de preselección                    | 94  |
| Alimentación                                 | 94  |
| Tiempo de cosecha                            | 94  |
| Espacio ocupado                              | 94  |
| Separación                                   | 94  |
| Consideraciones                              | 95  |
| Condiciones de cultivo                       | 96  |
| Estructura de la unidad hidropónica          | 98  |
| Simulación y análisis estático en SolidWorks | 99  |
| Condiciones de carga                         | 100 |
| Cálculo del peso de las bandejas             | 101 |
| Resultados de la simulación                  | 102 |
| Tensiones principales                        | 102 |
| Desplazamientos                              | 102 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Deformaciones unitarias | 103 |
| Resultados esperados    | 104 |
| Conclusiones            | 104 |
| Recomendaciones         | 105 |
| Referencias             | 105 |

## **Capítulo 7. Emprendimiento e innovación en el sector agropecuario** 107

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resumen                                                                                   | 107 |
| Abstract                                                                                  | 108 |
| Introducción                                                                              | 109 |
| Contexto y relevancia del sector agropecuario                                             | 110 |
| Desafíos actuales: sostenibilidad, cambio climático y seguridad alimentaria               | 110 |
| Emprendimiento en el sector agropecuario                                                  | 112 |
| Definición y características del emprendimiento agropecuario                              | 112 |
| Perfil del emprendedor agropecuario                                                       | 113 |
| Modelos de negocio en el sector: desde la agricultura orgánica hasta la economía circular | 113 |
| Retos y oportunidades para los emprendedores agropecuarios                                | 114 |
| Innovación en el sector agropecuario                                                      | 115 |
| Definición de innovación agropecuaria                                                     | 115 |
| Tipos de innovación                                                                       | 115 |
| Impacto de la innovación en la productividad y la sostenibilidad                          | 117 |
| Ejemplos de innovaciones exitosas en el sector agropecuario                               | 117 |
| Políticas públicas y regulación en el sector agropecuario                                 | 118 |
| Importancia de las políticas públicas en el sector agropecuario                           | 118 |
| Ejemplos de políticas públicas que fomentan la innovación y la sostenibilidad             | 119 |
| Desafíos en la implementación de políticas públicas                                       | 119 |
| Orientaciones a futuro en políticas públicas para el sector agropecuario                  | 120 |
| Tendencias emergentes en el sector agropecuario                                           | 120 |
| Digitalización y agricultura de precisión                                                 | 121 |
| Sostenibilidad y agricultura regenerativa                                                 | 121 |
| Innovación en la cadena de valor agroalimentaria                                          | 123 |
| Integración de la ciencia de datos y la inteligencia artificial                           | 123 |
| Innovación y emprendimiento en el sector agropecuario                                     | 124 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Emprendimiento en el sector agropecuario                                  | 124 |
| Innovaciones tecnológicas y nuevas soluciones                             | 124 |
| Modelos de negocio innovadores                                            | 125 |
| Desafíos y oportunidades para el emprendimiento en el sector agropecuario | 126 |
| Acceso a financiamiento y recursos                                        | 126 |
| Integración de nuevas tecnologías                                         | 126 |
| Acceso a mercados y canales de distribución                               | 126 |
| Cumplimiento de normativas y certificaciones                              | 127 |
| Casos de éxito y fracaso en el sector agropecuario                        | 127 |
| Casos de éxito en innovación agropecuaria                                 | 127 |
| Casos de fracaso en el sector agropecuario                                | 129 |
| Lecciones aprendidas de casos de éxito y fracaso                          | 129 |
| Impacto de las políticas públicas en el emprendimiento agropecuario       | 130 |
| Políticas de apoyo y subsidios                                            | 130 |
| Regulaciones ambientales y sostenibilidad                                 | 130 |
| Fomento de la innovación y la investigación                               | 131 |
| Infraestructura y acceso a mercados                                       | 131 |
| Referencias                                                               | 131 |

## **Capítulo 8. Estimación del almacenamiento de carbono y emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> por deforestación en el departamento del Cesar, Colombia**

133

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resumen                                                                                                   | 133 |
| Abstract                                                                                                  | 134 |
| Introducción                                                                                              | 135 |
| Materiales y métodos                                                                                      | 136 |
| Área de estudio                                                                                           | 136 |
| Análisis                                                                                                  | 136 |
| Construcción del mapa de carbono                                                                          | 136 |
| Estimación de las emisiones potenciales de CO <sub>2</sub> por deforestación en el departamento del Cesar | 139 |
| Resultados y discusión                                                                                    | 140 |
| Determinación de las áreas de bosque natural en el departamento del Cesar                                 | 140 |
| Estimación del carbono almacenado en la vegetación                                                        | 143 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Deforestación              | 144 |
| Conclusiones               | 147 |
| Contribución de la autoría | 147 |
| Agradecimientos            | 148 |
| Referencias                | 148 |
| Lecturas recomendadas      | 151 |
| Anexos                     | 153 |

## **Capítulo 9. Impacto de la subienda de peces del río Magdalena en la economía del municipio de Aguachica, Cesar** **171**

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Resumen                                      | 172 |
| Abstract                                     | 172 |
| Introducción                                 | 173 |
| Experiencias alrededor de la pesca           | 174 |
| Comercialización de pescado                  | 178 |
| La contaminación y su afectación en la pesca | 182 |
| Referencias                                  | 188 |

# Índice de figuras

## Capítulo 1.

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Clasificación de tecnologías de conversión de biomasa                                                              | 27 |
| <b>Figura 2.</b> Clasificación del proceso hidrotérmico de la biomasa con respecto al diagrama de fase presión-temperatura del agua | 28 |

## Capítulo 3.

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Sierra Nevada de Santa Marta                                        | 51 |
| <b>Figura 2.</b> Áreas de estudio                                                    | 52 |
| <b>Figura 3.</b> Áreas priorizadas en el POMCA (río Piedras, río Manzanares y otros) | 53 |
| <b>Figura 4.</b> Riqueza de órdenes en las zonas de Minca y del río Toribio          | 57 |
| <b>Figura 5.</b> Riqueza de familias en las zonas de Minca y del río Toribio         | 58 |
| <b>Figura 6.</b> Abundancia de órdenes en la zona de Minca                           | 58 |
| <b>Figura 7.</b> Abundancia de familias en la zona de Minca                          | 59 |
| <b>Figura 8.</b> Abundancia de órdenes en la zona del río Toribio                    | 59 |
| <b>Figura 9.</b> Abundancia de familias en la zona del río Toribio                   | 60 |
| <b>Figura 10.</b> Órdenes más abundantes en las zonas de estudio                     | 60 |

## Capítulo 4.

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Diversidad del ganado colombiano           | 65 |
| <b>Figura 2.</b> Precio de la mazorca en los últimos 5 años | 66 |
| <b>Figura 3.</b> Ensilaje en bolsa                          | 68 |
| <b>Figura 4.</b> Picado y llenado del silo de maíz          | 69 |
| <b>Figura 5.</b> Tratamientos empleados en el estudio       | 71 |

## Capítulo 5.

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Metodología utilizada en el proyecto | 80 |
|-------------------------------------------------------|----|

## Capítulo 6.

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Cultivos en aire                                   | 89 |
| <b>Figura 2.</b> Cultivos en sustratos                              | 89 |
| <b>Figura 3.</b> Balsa flotante                                     | 90 |
| <b>Figura 4.</b> Cultivos en agua con Nutrient Film Technique (NFT) | 90 |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 5.</b> Esquema del sistema electrónico                  | 92  |
| <b>Figura 6.</b> Sistema hidropónico en SolidWorks                | 99  |
| <b>Figura 7.</b> Estructura de ángulos                            | 100 |
| <b>Figura 8.</b> Bandejas de cultivo en SolidWorks                | 100 |
| <b>Figura 9.</b> Dimensiones de la bandeja de cultivo             | 101 |
| <b>Figura 10.</b> Áreas de tensión en ángulos en SolidWorks       | 102 |
| <b>Figura 11.</b> Zonas de desplazamientos por peso en SolidWorks | 103 |
| <b>Figura 12.</b> Deformaciones unitarias en SolidWorks           | 103 |

## Capítulo 7.

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Emisiones de GEI en los sistemas agroalimentarios                              | 111 |
| <b>Figura 2.</b> Modelos de innovación                                                          | 116 |
| <b>Figura 3.</b> Modelo de agricultura vertical                                                 | 117 |
| <b>Figura 4.</b> Proceso de la agricultura regenerativa                                         | 122 |
| <b>Figura 5.</b> Proyección de necesidades al 2050                                              | 128 |
| <b>Figura 6.</b> Cantidad de agua usada en los cultivos de Vertical Harvest                     | 128 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa de las zonas de vida del departamento del Cesar con su división municipal | 140 |

## Capítulo 8.

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Atardecer en el malecón del municipio de Gamarra                                        | 174 |
| <b>Figura 2.</b> Mapa urbano del municipio de Aguachica y puntos de venta de pescado                     | 180 |
| <b>Figura 3.</b> Pescado que Edy Johana Arias comercializa en su barrio                                  | 181 |
| <b>Figura 4.</b> Contaminación en la orilla del río Magdalena,<br>en el malecón del municipio de Gamarra | 183 |
| <b>Figura 5.</b> Contaminación del río Magdalena en el municipio de Gamarra                              | 184 |
| <b>Figura 6.</b> Pez muerto a orillas del río Magdalena en<br>el malecón del municipio de Gamarra        | 186 |

# Índice de tablas

## Capítulo 1.

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Características físicas y químicas de los residuos                                    | 24 |
| <b>Tabla 2.</b> Diferentes valores de energía obtenida en el hydrochar a partir de residuos de comida | 29 |

## Capítulo 3.

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Riqueza y abundancia de avifauna en las dos zonas de estudio | 56 |
| <b>Tabla 2.</b> Índices de diversidad                                        | 61 |

## Capítulo 4.

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Composición bromatológica de la planta de maíz             | 67 |
| <b>Tabla 2.</b> Costos del cultivo de maíz por hectárea                    | 69 |
| <b>Tabla 3.</b> Costos de la cosecha de maíz                               | 70 |
| <b>Tabla 4.</b> Costos totales de siembra y de cosecha del cultivo         | 70 |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados del aforo                                       | 72 |
| <b>Tabla 6.</b> Resultados de análisis bromatológico                       | 73 |
| <b>Tabla 7.</b> Utilidades de los tratamientos (miles por m <sup>2</sup> ) | 74 |

## Capítulo 6.

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Criterios de selección de cultivos     | 95 |
| <b>Tabla 2.</b> Condiciones de cultivos                | 96 |
| <b>Tabla 3.</b> Composición de la solución equilibrada | 98 |

## Capítulo 8.

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Ecuaciones alométricas                                                                                     | 137 |
| <b>Tabla 2.</b> Valores de referencia para estimar el carbono almacenado en diferentes cultivos del departamento del Cesar | 139 |
| <b>Tabla 3.</b> Zonas de vida según Holdridge en el departamento del Cesar                                                 | 141 |
| <b>Tabla 4.</b> Usos del suelo según la metodología CORINE Land Cover en el departamento del Cesar                         | 142 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 5.</b> Estimación de carbono almacenado en las zonas de vida para el departamento del Cesar                     | 143 |
| <b>Tabla 6.</b> Análisis de la deforestación anual en el departamento del Cesar                                          | 144 |
| <b>Tabla 7.</b> Reservas de carbono almacenadas en la biomasa para diferentes zonas de vida en el departamento del Cesar | 145 |
| <b>Anexo 2.</b> Zonas de vida a nivel municipal en el departamento del Cesar                                             | 160 |
| <b>Anexo 3.</b> Coberturas del departamento del Cesar y su homologación                                                  | 164 |
| <b>Anexo 4.</b> Coberturas para la estimación de carbono almacenado por zona de vida                                     | 167 |

## Introducción

En un mundo cada vez más conectado, las temáticas ambientales y las necesidades de desarrollo económico están estrechamente vinculadas, especialmente en las zonas rurales, donde hay una gran riqueza de biodiversidad y recursos naturales que son de interés global. Sin embargo, estas zonas enfrentan graves desafíos como la degradación ambiental, la pobreza y la vulnerabilidad al cambio climático, que requieren soluciones innovadoras y sostenibles.

*Gestión ambiental y desarrollo rural: innovaciones para un futuro sostenible* surge de la necesidad de un enfoque integral de estos temas. El libro reúne las últimas investigaciones y experiencias prácticas de docentes investigadores que trabajan en el campo de la gestión ambiental y el desarrollo rural. El documento examina cómo las innovaciones en políticas públicas, tecnología y prácticas de gestión pueden mejorar la calidad de vida en las zonas rurales y, al mismo tiempo, proteger el medio ambiente natural.

El propósito del libro es brindar orientación y destacar estrategias que han demostrado ser efectivas en varias áreas rurales de Colombia. A partir de estudios de caso, análisis críticos y propuestas teóricas, se presenta una visión integral de cómo la gestión ambiental puede promover un desarrollo rural sostenible y justo, orientado al futuro. Invitamos a los lectores a explorar estas páginas con una mente abierta y el deseo de encontrar soluciones innovadoras que puedan transformar las áreas rurales en espacios donde la naturaleza y las comunidades humanas coexistan armoniosamente y prosperen. Este libro es a la vez un reflejo del presente y una mirada al futuro, un futuro en el que el desarrollo sostenible y el desarrollo rural se basen en fundamentos sólidos y en la innovación.





## Capítulo 1.

# Análisis de tecnologías de valorización de residuos sólidos orgánicos como punto de partida para una gestión integral de residuos sólidos municipales

**Cindy Lorena García Pinto**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-8934>

**Fanny Pinzón Candelario**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-2971>

## Resumen

La gestión integral de los residuos sólidos municipales es todo un reto, debido a la heterogeneidad en la composición de los residuos y en el manejo desde la fuente de generación hasta su disposición final, en especial en países en vía de desarrollo. Para el manejo de los residuos generados, se han utilizado ampliamente los rellenos sanitarios; sin embargo, se conocen los impactos ambientales que estos traen consigo, lo cual aumenta la complejidad en la gestión; además, se pierde material con potencial de recuperación.

En Colombia, los residuos domiciliarios tienen un gran porcentaje de material orgánico, los cuales, al ser dispuestos y enterrados en el relleno sanitario, generan emisiones considerables de biogás al aire, contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero y al calentamiento global si estos no se aprovechan adecuadamente. En el presente capítulo se exploran las diferentes tecnologías existentes como pirólisis, gasificación y

carbonización hidrotérmica, las cuales se han estudiado en diferentes investigaciones para valorar los residuos orgánicos a través de la producción de energía a partir de biomasa y, así, dar una segunda oportunidad a este tipo de residuos.

**Palabras clave:** residuos, carbonización hidrotérmica, biomasa, gestión integral

## **Abstract**

The integrated management of municipal solid waste is a challenge, due to the heterogeneity of waste composition and management from the source of generation to final disposal, especially in developing countries. Sanitary landfills have been widely used for the management of the waste generated; however, the environmental impacts they bring with them are well known, which increases the complexity of management; in addition, material with recovery potential is lost.

In Colombia, household waste contains a large percentage of organic material, which, when disposed of and buried in landfills, generates considerable emissions of biogas into the air, contributing to the emission of greenhouse gases and global warming if not properly used. This chapter explores the different existing technologies such as pyrolysis, gasification and hydrothermal carbonisation, which have been studied in different research projects to valorise organic waste through the production of energy from biomass and thus give a second chance to this type of waste.

**Keywords:** waste, hydrothermal carbonisation, biomass, integrated management

## Introducción

El aumento poblacional de las ciudades conlleva un aumento del consumo de productos y alimentos que, posteriormente, se convertirán en desechos, los cuales deben ser gestionados correctamente para evitar un problema de sanidad. La disposición de residuos sólidos en botaderos clandestinos o, en el mejor de los casos, en rellenos sanitarios tecnificados es la alternativa más usada en muchos países. Los residuos sólidos que son llevados a estos sitios de disposición final son enterrados y en la mayoría de los casos no cuentan con un tratamiento previo, por lo que no pueden ser recuperados o reciclados.

En estas condiciones empieza un proceso de digestión anaerobia de los residuos orgánicos (proceso de descomposición orgánica en ausencia de oxígeno), generando un gas conocido como biogás, en una cantidad entre 160 y 250 m<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de residuo dispuesto, en la que dicho gas tiene una proporción de aproximadamente 55 % de CH<sub>4</sub>, 44 % de CO<sub>2</sub> y 1 % de otros gases. Asimismo, un relleno puede producir cerca de 125 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por tonelada de residuo dispuesto en un periodo de 10 a 40 años (Lino e Ismail, 2011).

Para evitar los impactos causados por las emisiones del biogás, el cual contiene gases de efecto invernadero, este gas es quemado directamente a través de las chimeneas de desfogue, como sucede en los rellenos sanitarios de Colombia, o es recuperado como biocombustible para generar energía, como en el caso de Brasil, donde la generación de energía eléctrica estimada es de 300 a 500 MW a partir de los residuos sólidos municipales, lo cual corresponde a 650 000 toneladas de CH<sub>4</sub> por año (Lino e Ismail, 2011).

Si bien en la Unión Europea no se acepta la práctica de rellenos sanitarios como una solución (Bajić et al., 2015), el Reino Unido se ha quedado atrás ambientalmente cuando se trata de aplicar prácticas sostenibles de residuos, pues la amplia disponibilidad de sitios para rellenar significaba que los rellenos sanitarios fueran tradicionalmente una opción económica para disponer residuos y “llenar huecos en la tierra” (Uyarra y Gee, 2013, p. 112) en los sitios requeridos.

## La biomasa y sus características

La biomasa es una sustancia orgánica compuesta principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno, la cual está presente en el mundo y posee energía solar almacenada en sus enlaces moleculares. Algunos ejemplos de biomasa son los árboles, las algas, el maíz, el trigo, las frutas, los vegetales y los restos de cada uno de estos desechados como residuos urbanos o agroindustriales (Tekin et al., 2014).

Como se mencionó, la biomasa incluye los restos de comida, este tipo de desechos varían su composición significativamente según la fuente generadora. Se ha reportado un contenido de humedad de 74 % a 90 %, una proporción de sólidos volátiles a sólidos totales de 0,8 a 0,97 y una proporción de carbón a nitrógeno de 14,7 a 36,4 (Pham et al., 2015). En el caso de Santa Marta, se han reportado las características físicas y químicas de los desechos urbanos tal y como llegan al relleno sanitario. Estos datos, extraídos del *Plan de gestión integral de los residuos sólidos del Distrito de Santa Marta* (Empresa de Servicios Públicos de Aseo del Distrito de Santa Marta [ESPA], 2014), se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Características físicas y químicas de los residuos

| Tipo de caracterización                    | Relleno sanitario<br>(base húmeda)                         |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Peso específico                            | 0,5 %                                                      |
| Contenido de humedad                       | 29,80 %                                                    |
| Tamaño de partículas                       | -                                                          |
| Distribución del tamaño                    | -                                                          |
| Materia volátil                            | 67,44 %                                                    |
| Material combustible                       | 38,64 %                                                    |
| Carbono fijo                               | 3,36 %                                                     |
| Ceniza                                     | 32,56 %                                                    |
| Punto de fusión de las cenizas             | Muy fusible                                                |
| Análisis elemental (C, H, O, N, S, ceniza) | % C: 22,42; % H: 3,12;<br>% O: 13,21; % N: 0,71; % S: 0,19 |
| Poder calorífico                           | 2040                                                       |

**Fuente:** ESPA (2014).

Por otro lado, los plásticos son polímeros sintetizados a partir de compuestos orgánicos (petróleo), por lo que pueden llegar a considerarse como sustancias orgánicas. Su composición es variable y depende del uso al que están destinados; por tanto, sus moléculas pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, creando de esta manera los diferentes plásticos existentes. Además, tienen buena resistencia a los álcalis, los ácidos y los solventes, así como buenas propiedades para el aislamiento térmico y eléctrico (Cristán Frías et al., 2003).

Los plásticos pueden dividirse de acuerdo con su comportamiento ante el calor en termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos tienen moléculas lineales, de modo que, al aplicarles calor, reblandecen y, al enfriarse, vuelven a ser sólidos; este proceso puede repetirse varias veces. En cambio, al aplicar calor a los termoestables, sus moléculas se cruzan de manera irreversible, haciendo que al final se obtenga un material más duro, fuerte y resistente al calor (Cristán Frías et al., 2003).

Además, según el proceso de polimerización, los plásticos pueden dividirse en polímeros de condensación y polímeros de adición. En las reacciones de condensación se generan diferentes longitudes de polímeros y pequeñas cantidades de subproductos como el agua, el amoníaco y el etilenglicol, mientras que en las reacciones de adición se generan longitudes específicas de polímeros y ningún subproducto. Entre los polímeros de condensación se encuentran el nylon, los poliuretanos y los poliésteres; entre los polímeros de adición se encuentran el polietileno, el polipropileno, el policloruro de vinilo y el poliestireno (Cristán Frías et al., 2003).

Entonces, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es conformada por los restos de comida, papel, cartón y plásticos, incluyendo todo tipo de textiles, gomas, maderas y restos de jardín. El porcentaje de materia orgánica en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) es del 50 al 60 %. Esta parte de los RSU es susceptible de ser usada como biomasa (Ponce Ballester, 2013), ya que la biomasa tiene un alto potencial de utilización como recurso energético renovable.

## Revisión de diferentes tecnologías de aprovechamiento

Con el fin de aprovechar no solo los beneficios de la generación de biogás, sino también los desechos orgánicos que se pierden cuando son dispuestos en los rellenos sanitarios, se han venido desarrollando diferentes tecnologías como las plantas de digestores anaerobios. En estas, una vez que los residuos orgánicos son separados de los residuos inorgánicos, los primeros son introducidos en las plantas para producción de biogás y lodos enriquecidos (digestatos) a fin de generar energía y fertilizante, respectivamente. Con el empleo de esta tecnología, se ha reportado que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 21 MJ de energía, que podrían generar 2,04 kWh de electricidad (Pham et al., 2015).

Por otro lado, el compostaje y la lombricultura constituyen otras tecnologías de tratamiento biológico, donde solo son tratados los desechos orgánicos. En el compostaje, los desechos son acopiados en pilas bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad, oxígeno y mezclado, degradándose hasta obtener compost. En el caso de la lombricultura, para la degradación de los desechos orgánicos, se emplean las lombrices conocidas con el nombre común de *lombrices rojas californianas*, las cuales se alimentan

de los desechos orgánicos y generan lo que se conoce como humus de lombriz. Tanto el compost como el humus de lombriz tienen valor comercial, debido a su utilización como acondicionadores de suelos pobres en nutrientes.

Además de las técnicas mencionadas, a nivel mundial se ha trabajado en diferentes tecnologías en busca de obtener un mayor provecho de los residuos sólidos urbanos mediante tratamientos termoquímicos: incineración, pirólisis y procesos hidrotérmicos. La incineración, el método más extendido, es un proceso exotérmico donde se realiza la quema de la biomasa a temperaturas aproximadas de 400 a 540 °C para generar calor y, con ello, electricidad (Pham et al., 2015). La cantidad de calor liberada durante la incineración va a depender del contenido de carbono, cenizas y humedad, y de la tasa de conversión de la biomasa. Para la biomasa con un alto contenido de humedad, una gran parte del calor liberado se utiliza para evaporar el agua. Incluso cuando el contenido de humedad es superior al 90 %, la cantidad de energía requerida para evaporar el agua excede el valor de calentamiento de la materia prima (Tekin et al., 2014). Por tanto, para realizar la quema de este tipo de material, es necesario hacer un secamiento previo, lo que implicaría consumir energía para llevar a cabo este proceso.

Durante el proceso de pirólisis, los residuos orgánicos, que también deben ser previamente secados, se exponen al calor bajo una atmósfera libre de oxígeno para producir gases combustibles como metano, bioaceite y biochar, todos estos subproductos con potencial de uso para diferentes propósitos. Dependiendo de las condiciones de temperatura y tiempo en que se opere el reactor, el proceso de pirólisis se puede dividir en tres tipos: pirólisis lenta, pirólisis rápida y pirólisis *flash*. La pirólisis lenta se realiza a una temperatura entre 550 y 950 °C por un tiempo de 450 a 500 segundos (hasta 1 hora). La pirólisis rápida requiere una velocidad de calentamiento superior y maneja temperaturas entre 850 y 1250 °C en un tiempo de residencia de 0,5 a 10 segundos. La pirólisis *flash* maneja temperaturas entre 1050 y 1300 °C en un tiempo de residencia menor a 0,2 segundos (Bajić et al., 2015). Con la realización de la pirólisis rápida y la pirólisis *flash*, se puede conseguir aumentar los productos líquidos (bioaceite) y gases con mayor contenido calórico; mientras que, en la pirólisis lenta, el producto principal obtenido es el char.

Entre los procesos hidrotérmicos se encuentran: la licuefacción hidrotérmica (HTL<sup>1</sup>), la gasificación hidrotérmica y la carbonización hidrotérmica (HTC<sup>2</sup>). La ventaja de estos procesos es que se puede utilizar biomasa con alto contenido de humedad, ya que funcionan bajo la presencia de agua, lo que elimina la necesidad de presecado a diferencia de la pirólisis (Tekin et al., 2014) y la combustión. La licuefacción hidrotérmica ocurre bajo condiciones subcríticas de agua, a una temperatura entre 250 y 370 °C, y

---

<sup>1</sup> HTL es la sigla en inglés de Hydrothermal Liquefaction.

<sup>2</sup> HTC es la sigla en inglés de Hydrothermal Carbonization.

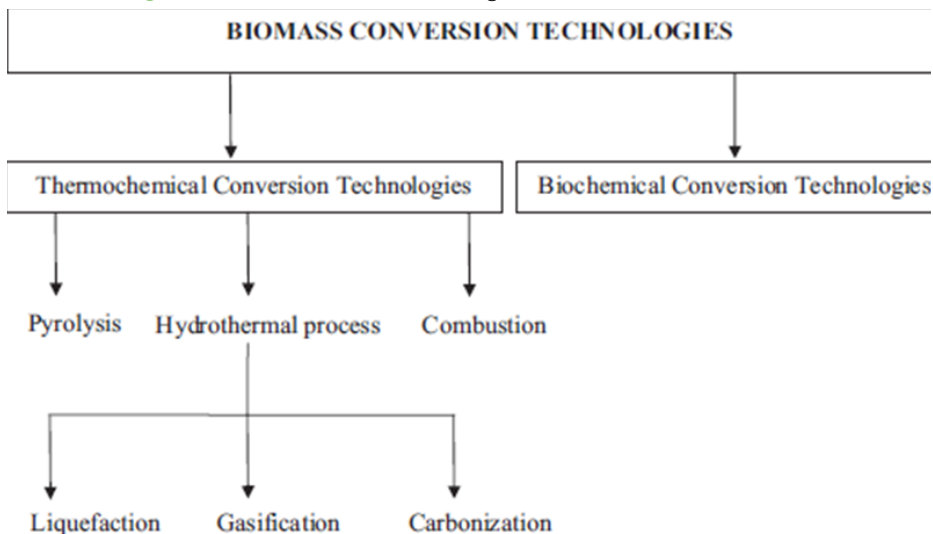
una presión entre 10 y 30 MPa para producir mayoritariamente bioaceite con valores de poder calorífico superiores a 35 y 40 MJ/kg. Adicionalmente, se producen char y un gas rico en  $\text{CO}_2$  (Dénier et al., 2016).

En la gasificación hidrotérmica, la biomasa se descompone termoquímicamente, primero, en componentes líquidos y, luego, en componentes gaseosos como el metano y el hidrógeno (Tekin et al., 2014). Este es el producto final buscado a una temperatura superior a 600 °C, más allá del punto crítico del agua (Dénier et al., 2016) y dentro de un medio de aire, oxígeno o vapor de agua, donde la composición del gas producido va a depender de la composición de la biomasa tratada, el tiempo de retención, las condiciones de operación y las características del reactor y el oxidante utilizado. Esto resulta en valores de calentamiento (poder calorífico) de 4 a 7 MJ/m<sup>3</sup> cuando se utiliza aire como medio de gasificación y de 10 a 18 MJ/m<sup>3</sup> cuando el medio de gasificación es oxígeno puro o vapor (Pham et al., 2015).

En la carbonización hidrotérmica también se utiliza biomasa con contenido de humedad indiferente a temperaturas entre 180 y 260 °C, y una presión entre 2 y 6 MPa en un tiempo de retención entre 5 minutos y 12 horas (Kambo y Dutta, 2015) para generar mayoritariamente un sólido (hydrochar), que puede ser utilizado como combustible para generación de energía o para la agricultura (Dénier et al., 2016). Igualmente, se generan bioaceite y en menor cantidad gas, conformado principalmente por  $\text{CO}_2$ . Por lo general, la presión durante este proceso no es controlada, dado que se autogenera bajo las condiciones subcríticas del agua que se manejan (Kambo y Dutta, 2015).

En la figura 1 se sintetizan las tecnologías en cuestión.

**Figura 1.** Clasificación de tecnologías de conversión de biomasa

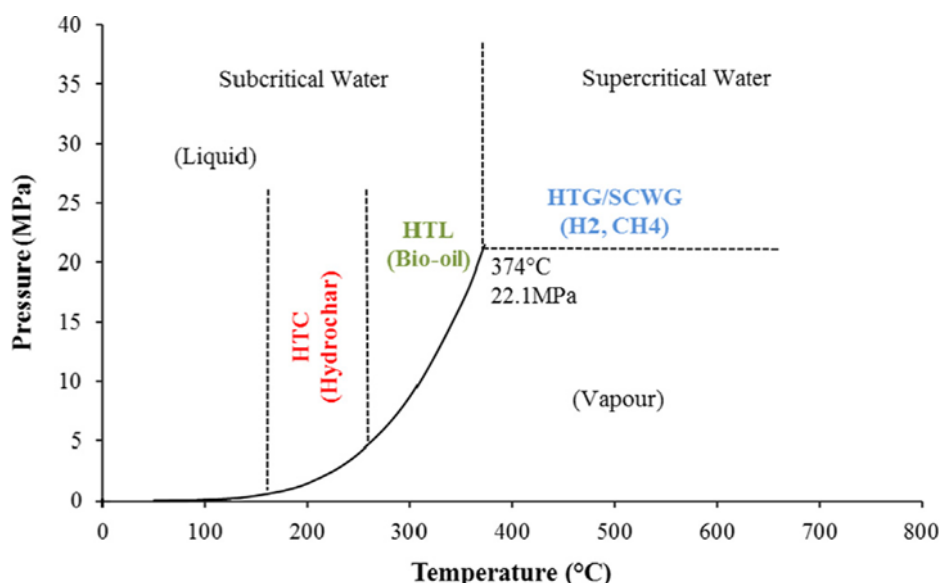


**Fuente:** Tekin et al. (2014).

La carbonización hidrotérmica (HTC), tecnología que procede de los tratamientos de conversión termoquímica del tipo hidrotérmico para la conversión de biomasa, consiste en que la materia orgánica en presencia de agua sea expuesta a temperaturas entre 180 y 260 °C con presión autogenerada entre 2 y 6 MPa, por lo que el proceso se desarrolla herméticamente; de esta manera, el sistema se encuentra bajo presión de saturación. La presencia de agua suficiente es un elemento crítico de la HTC porque, a medida que aumentan las temperaturas, las propiedades físicas y químicas del agua cambian significativamente, llegando a imitar las propiedades de los disolventes orgánicos (Lu et al., 2012). El proceso hidrotérmico se divide en dos condiciones de reacción: subcrítica y supercrítica, las cuales están determinadas por el punto crítico del agua: 374 °C y 22,1 MPa; para cada condición, el agua se comporta diferente (Tekin et al., 2014).

En el proceso de HTC, el rango de operación ocurre por debajo del punto crítico del agua, por lo que se trabaja en condiciones subcríticas; a esta temperatura con la presión generada, el agua aún se mantiene en estado líquido. En esta condición de operación, el agua pierde su polaridad, comportándose de forma similar a un disolvente orgánico, mientras que su producto iónico  $K_w$  aumenta hasta tres órdenes de magnitud. Las propiedades del agua adquiridas durante la condición subcrítica hacen que haya una mejor solubilidad de compuestos orgánicos y aumenten las actividades catalíticas para las reacciones ácido-base, como la hidrólisis de los biopolímeros contenidos en la biomasa (Déniel et al., 2016). En la figura 2 se puede apreciar la clasificación del proceso hidrotérmico de la biomasa con respecto al diagrama de fase presión-temperatura del agua.

**Figura 2.** Clasificación del proceso hidrotérmico de la biomasa con respecto al diagrama de fase presión-temperatura del agua



**Fuente:** Kambo y Dutta (2015).

Durante la carbonización, se producen una serie de reacciones simultáneas que incluyen: hidrólisis, deshidratación, descarboxilación, aromatización y recondensación, dando lugar a la generación de un material rico en carbono de alta densidad de energía y valor añadido que se conoce como hydrochar. En algunas investigaciones (Baccile et al., 2009; Falco et al., 2011) se ha demostrado que este se puede usar en varias aplicaciones respetuosas del medio ambiente como remediación ambiental y mejoramiento del suelo, así como fuente de energía (Lu et al., 2012). En el proceso de HTC, se producen tres productos: hydrochar, siendo el principal producto, seguido por una fase líquida compuesta por bioaceite más agua y pequeñas fracciones de gases, compuestas mayoritariamente por CO<sub>2</sub> (Chan et al., 2016).

El contenido de energía en el hydrochar depende de varios factores, entre los que se encuentran el contenido de carbono y oxígeno de la materia prima usada, el tiempo y la temperatura de reacción, y el volumen del reactor. Estos hallazgos han sido documentados en diferentes estudios, así como la influencia de la materia prima, cambios en la temperatura de reacción y el tiempo de reacción (Danso-Boateng et al., 2013; Hwang et al., 2012, citados en Li et al., 2015). De acuerdo con las diferentes biomásas tratadas con el proceso de HTC, donde el tiempo y la temperatura difieren según se ha reportado en varias investigaciones, se han encontrado valores de energía contenida en el hydrochar, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Diferentes valores de energía obtenida en el hydrochar a partir de residuos de comida

| Biomasa                          | Temperatura (°C) | Tiempo de reacción | Energía contenida (MJ/kg sólido seco) |
|----------------------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Comida de conejo                 | 250              | 20 h               | 29,1                                  |
| Comida de perro                  | 234-295          | 150 min            | 26                                    |
| Maíz dulce                       | 250              | 96 h               | 11                                    |
| Bagazo de cerveza                | 200-240          | 14 h               | 29,9-31,8                             |
| Residuo de comida de restaurante | 225-275          | 96 h               | 33,57                                 |
| Residuo de comida de restaurante | 150-350          | 20 min             | 15-26,9                               |
| Fibra de coco                    | 220-250          | 30 min             | 24,7-26,7                             |
| Hojas de eucalipto               | 220-250          | 30 min             | 25,3-25                               |

**Fuente:** Pham et al. (2015).

Los anteriores valores de energía contenida en el hydrochar se deben a que, durante el tratamiento, la fracción de carbono contenida en los materiales a carbonizar se transfieren en su mayoría al hydrochar producido (entre 45 y 75 % del carbono presente inicialmente) (Lu et al., 2012), mientras que el restante del carbono es transferido a la fase líquida y gaseosa. Con el aumento de la temperatura y el tiempo de reacción, el contenido de carbono en el hydrochar disminuye, disminuyendo así su energía contenida, pero aumenta en la fase líquida y gaseosa, abriendo camino a otros procesos como la licuefacción hidrotérmica y la gasificación hidrotérmica.

La distribución de los productos finales depende principalmente de las condiciones del proceso (Chan et al., 2016). Dependiendo de la biomasa a tratar, pueden variar las condiciones de operación requeridas dentro del rango de la HTC. Sin embargo, se ha encontrado que el periodo de mayor conversión de los residuos sólidos ocurre primero a las 8 horas de carbonización y una completa conversión, a las 16 a 24 horas después de esta (Li et al., 2013)

Además, se ha indagado que el uso de aditivos puede funcionar como catalizadores durante el proceso de HTC, aplicando sustancias como los óxidos a base de metales alcalinos como el CaO y el NaOH, polvos de hierro y minerales como el cuarzo (Chan et al., 2016) para los residuos plásticos. En cambio, a la lignocelulosa se le ha aplicado lactato de calcio (CLC), cloruro de litio (LiCl) y ácido acético (Lynam et al., 2011; Lynam et al., 2012); estas sales y ácidos son recomendados no solo por reducir la temperatura y la presión del proceso, sino también por mejorar las propiedades fisicoquímicas del hydrochar. Sin embargo, la selección del catalizador debe hacerse cuidadosamente debido a que puede producir hoyos en el reactor (Kambo y Dutta, 2015).

## Referentes de las tecnologías emergentes en la gestión de residuos orgánicos

De las tecnologías descritas anteriormente, los líderes tanto en investigación como en implementación ya sea de plantas piloto o de plantas comerciales se encuentran en el Reino Unido (Lincolnshire y Sheffield), la Unión Europea (Francia, Suecia, Finlandia y España) y América (Estados Unidos). En el caso de Colombia, la técnica más extendida y utilizada para el tratamiento de residuos es la de rellenos sanitarios, donde se realiza el enterramiento de residuos sin mayor aprovechamiento. Con la expedición de la Ley 1715 de 2014, el gobierno colombiano propuso promover las energías renovables en el país para integrarlas con el sistema energético nacional; sin embargo, falta mucho por hacer, dado que el mercado nacional es muy dependiente de los combustibles fósiles.

Los estudios sobre carbonización hidrotérmica se han realizado en materias primas que van desde sustancias puras, como la glucosa y la celulosa (Falco et al., 2011; Knezevic

et al., 2009; Sevilla y Fuertes, 2009), hasta materias primas más complejas, como papel, residuos de alimentos y residuos animales (Berge et al., 2011; Lu et al., 2012).

Asimismo, entre las materias primas utilizadas se encuentran los residuos agrícolas y forestales, como la madera y las algas vírgenes, y la biomasa de residuos industriales y municipales para obtener combustible y materiales sólidos. Lo que hace atractivo este tipo de materias primas es que se caracterizan por tener densidades de energía bajas, propiedades heterogéneas, naturaleza hidrófila, contenido de humedad relativamente alto, disponibilidad y bajo costo, y porque no compiten con los requerimientos de tierra para la producción de alimentos (Mäkelä et al., 2016).

El proceso de carbonización en todas estas investigaciones está orientado a la generación de hydrochar para su utilización como combustible, mejorador del suelo y carbón activado para la depuración de aguas, y en captación de gases, nanoestructuras y supercondensadores para almacenamiento de energía en baterías empleadas en paneles solares.

Sin embargo, hasta el momento, estos procesos de HTC con diferentes biomásas se han llevado a cabo a escala de laboratorio. Comparar los resultados experimentales de diferentes estudios resulta difícil debido a los cambios en los parámetros de funcionamiento empleados, como las tasas de calentamiento, las configuraciones del reactor, las concentraciones de masa de la materia prima y los tiempos de reacción. Esto puede influir significativamente en los procesos de carbonización.

En la búsqueda para obtener hydrochar, el cual se utiliza no solo como combustible, sino como acondicionador del suelo empobrecido, no se tiene claro su impacto real en el medio ambiente (ciclo de vida) y en la salud humana. Por otro lado, las aguas de proceso resultantes hasta el momento representan un problema ambiental por su contenido de sustancias nocivas, de modo que dichas aguas deben ser tratadas antes de ser vertidas.

Finalmente, aunque existen varios interrogantes acerca de la carbonización, en particular con respecto al proceso de escalamiento, cabe destacar que es una tecnología importante que vale la pena indagar, ajustar, mejorar y aplicar como una alternativa eficaz en la gestión de los residuos sólidos municipales.

## Referencias

- Baccile, N., Laurent, G., Babonneau, F., Fayon, F., Titirici, M. M., & Antonietti, M. (2009). Structural characterization of hydrothermal carbon spheres by advanced solid-state MAS  $^{13}\text{C}$  NMR investigations. *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(22), 9644-9654. <https://doi.org/10.1021/jp901582x>

- Bajić, B. Ž., Dodić, S. N., Vućurović, D. G., Dodić, J. M., & Grahovac J. A. (2015). Waste-to-energy status in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (50), 1437-1444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.079>
- Berge, N. D., Ro, K. S., Mao, J., Flora, J. R. V., Chappell, M. A., & Bae, S. (2011). Hydrothermal carbonization of municipal waste streams. *Environmental Science & Technology*, 45(13), 5696-5703. <https://doi.org/10.1021/es2004528>
- Chan, Y. H., Tan, R. R., Yusup, S., Lam, H. L., & Quitain, A. T. (2016). Comparative life cycle assessment (LCA) of bio-oil production from fast pyrolysis and hydrothermal liquefaction of oil palm empty fruit bunch (EFB). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18, 1759-1768. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1172-5>
- Cristán Frías, A., Ize Lema, I. y Gavilán García, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 67-82. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>
- Déniel, M., Haarlemmer, G., Roubaud, A., Weiss-Hortala, E., & Fages, J. (2016). Energy valorisation of food processing residues and model compounds by hydrothermal liquefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1632-1652. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.017>
- Empresa de Servicios Públicos de Aseo del Distrito de Santa Marta. (2014). *Plan de gestión integral de los residuos sólidos del Distrito de Santa Marta. Volumen II: diagnóstico integral PGIRS*. <https://es.scribd.com/document/518329047/16-Diagnostico-Pgir-Santa-Marta>
- Falco, C., Perez Caballero, F., Babonneau, F., Gervais, C., Laurent, G., Titirici, M. M., & Baccile, N. (2011). Hydrothermal carbon from biomass: structural differences between hydrothermal and pyrolyzed carbons via  $^{13}\text{C}$  solid state NMR. *Langmuir*, 27(23), 14460-14471. <https://doi.org/10.1021/la202361p>
- Kambo, H. S., & Dutta, A. (2015). A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.050>
- Knezevic, D., Van Swaaij, W. P. M., & Kersten, S. R. A. (2009). Hydrothermal conversion of biomass: I, glucose conversion in hot compressed water. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(10), 4731-4743. <https://doi.org/10.1021/ie801387v>
- Li, L., Diederick, R., Flora, J. R. V., & Berge, N. D. (2013). Hydrothermal carbonization of food waste and associated packaging materials for energy source generation. *Waste Management*, 33(11), 2478-2492. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.025>

- Li, L., Flora, J. R. V., Caicedo, J. M., & Berge, N. D. (2015). Investigating the role of feedstock properties and process conditions on products formed during the hydrothermal carbonization of organics using regression techniques. *Bioresource Technology*, 187, 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.054>
- Lino, F. A. M. e Ismail, K. A. R. (2011). Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. *Energy Policy*, 39(6), 3496-3502. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.048>
- Lu, X., Jordan, B., & Berge, N. D. (2012). Thermal conversion of municipal solid waste via hydrothermal carbonization: comparison of carbonization products to products from current waste management techniques. *Waste Management*, 32(7), 1353-1365. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.012>
- Lynam, J. G., Coronella, C. J., Yan, W., Reza, M. T., & Vasquez, V. R. (2011). Acetic acid and lithium chloride effects on hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 102(10), 6192-6199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.035>
- Lynam, J. G., Reza, M. T., Vasquez, V. R., & Coronella, C. J. (2012). Effect of salt addition on hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. *Fuel*, 99, 271-273. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.035>
- Mäkelä, M., Benavente, V., & Fullana, A. (2016). Hydrothermal carbonization of industrial mixed sludge from a pulp and paper mill. *Bioresource Technology*, 200, 444-450. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.062>
- Pham, T. P., Kaushik, R., Parshetti, G. K., Mahmood, R., & Balasubramanian, R. (2015). Food waste-to-energy conversion technologies: current status and future directions. *Waste Management*, 38, 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.12.004>
- Ponce Ballester, E. (2013). *El proceso de carbonización hidrotermal aplicado a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos* [tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/30137>
- Sevilla, M., & Fuertes, A. B. (2009). Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of saccharides. *Chemistry. A European Journal*, 15(16), 4195-4203. <https://doi.org/10.1002/chem.200802097>
- Tekin, K., Karagöz, S., & Bektaş, S. (2014). A review of hydrothermal biomass processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 673-687. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.216>
- Uyarra, E., & Gee S. (2013). Transforming urban waste into sustainable material and energy usage: the case of Greater Manchester (UK). *Journal of Cleaner Production*, 50, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.046>





## Capítulo 2.

# Crisis civilizatoria del pensamiento: reflexiones sobre los discursos sustentables de Enrique Leff

**Damileth Dearmas Duarte**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3596-2368>

**Alexander Salazar Montoya**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0504-6679>

**Belky Josefina Rodríguez Zuleta**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-7867>

**Jorge Eduardo de Jesús León Alonso**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2056-6306>

## Resumen

¿Estamos ante una crisis ambiental, civilizatoria o de pensamiento? En sus discursos sustentables, Leff señala esta última. El autor afirma que la crisis ambiental es resultado del saber humano sobre las formas de apropiación del mundo y de la naturaleza a través de las relaciones de poder. Por tanto, dicha crisis ya no es ambiental, sino una

crisis del pensamiento y de las formas de conocimiento con las que hemos construido y destruido el mundo y nuestros modos de vida.

El problema de racionalidad del ser humano viene desde sus bases epistemológicas. Leff sostiene que el desastre ecológico que se nos avecina se relaciona con una forma de construir el conocimiento en el mundo occidental y con la incapacidad de asumir adecuadamente los desafíos que plantea el problema ambiental. Además, existe un gran desinterés por conciliar y equilibrar la actividad económica, los tiempos de renovación de los recursos naturales del planeta y los usos indiscriminados de estos.

**Palabras clave:** ambiente, civilización, crisis, ecología, pensamiento

## Abstract

Are we facing an environmental crisis, a crisis of civilisation or a crisis of thought? In his discourses on sustainability, Leff points to the latter. The author affirms that the environmental crisis is the result of human knowledge of the ways in which the world and nature are appropriated through power relations. It is therefore no longer an environmental crisis, but a crisis of thought and of the forms of knowledge with which we have constructed and destroyed the world and our ways of life.

The problem of human rationality lies in its epistemological foundations. Leff argues that the impending ecological disaster is linked to a way of constructing knowledge in the Western world and an inability to adequately address the challenges posed by the environmental problem. There is also a great lack of interest in reconciling and balancing economic activity, the renewal periods of the planet's natural resources and the indiscriminate use of these resources.

**Keywords:** civilisation, crisis, ecology, environment, thought

## Introducción

Enrique Leff nació en México en 1946. En 1968 recibió su grado como ingeniero químico de la Universidad Nacional Autónoma de México. En 1975 inició sus estudios del Doctorado en Economía del Desarrollo, en París, Francia. Sus campos de trabajo son la epistemología, la economía política y la educación ambiental.

Desde sus primeros escritos, Leff planteó una teoría original para la construcción de la sustentabilidad sobre la base de la productividad ecotecnológica y la diversidad cultural de los territorios de los países del sur global. Junto con ello, ha construido una nueva perspectiva epistemológica, filosófica y pedagógica, basada en el saber, la racionalidad y la complejidad ambiental, categorías asociadas a sus aportes teóricos.

Leff recupera categorías y lenguajes del materialismo histórico de Marx<sup>3</sup>, a través de la obra *El capital: crítica de la economía política*. Así, por ejemplo, afirma que la naturaleza dejó de ser naturaleza para ser un objeto científico, objeto de conocimiento, materia prima y medio de producción.

Es así como el autor va construyendo sus propios conceptos y crea una tesis que sería el eje de muchas de sus obras: la crisis ambiental es la crisis del pensamiento y de las formas de conocimiento con las que hemos construido y destruido el mundo y nuestros modos de vida, entonces, el problema de racionalidad del ser humano viene desde sus bases epistemológicas.

El autor muestra un particular interés en la transformación del pensamiento que brinda el saber ambiental. Por tanto, afirma que, para lograr frenar el desarrollo evolutivo de la crisis ambiental, es determinante iniciar con una transformación desde las bases de la educación ambiental, a través de la formación primaria, secundaria y, especialmente, universitaria.

En ese sentido, el presente trabajo se propone analizar y reflexionar sobre el contenido del libro *Discursos sustentables* de Enrique Leff, publicado en el 2008. La obra bajo análisis recoge un conjunto de textos elaborados a partir de conferencias, seminarios y discursos sobre diversos análisis de experiencias interesantes alrededor de la sustentabilidad ambiental en América Latina y México.

---

<sup>3</sup> La concepción materialista de la historia (también conocida como materialismo histórico) es un término acuñado por el marxista ruso Georgi Plejánov, que alude al marco conceptual identificado por Karl Marx y usado originalmente por él y Friedrich Engels para comprender la historia humana.

## Planteamiento de la temática

*Discursos sustentables* nace de la palabra lanzada al público en debates ambientales que, desde el eco del diálogo de saberes, tomaron la forma escrita que ha quedado inscrita en la obra. Su reflexión constituye un aporte útil y profundo para la redefinición de los principios teóricos y metodológicos que guían nuestras interacciones con el ambiente físico. Para definir su objeto de estudio, Leff (2008b) escribe: “El ambiente no es la ecología, sino la complejidad del mundo” (p. 138).

La propuesta plasmada en la obra *Discursos sustentables* de Leff se apoya en la premisa de replantear la forma en que los humanos conviven con el planeta en todos los aspectos para asegurar la permanencia de la vida en la Tierra (Luque, 2009). Enrique Leff propone que el sistema económico debería ser capaz de asegurar la existencia de los recursos naturales y dejar de verlos solo como mercancía. El problema radica en la visión a corto plazo y en la idea del progreso sin límites, imperantes en la concepción de desarrollo económico actual.

En ese sentido, los daños al ambiente no serían jamás un proceso natural o como algunos plantean una condición inevitable de la globalización, del aumento de la población, de la creciente ocupación de territorios antes vírgenes o de la explotación necesaria de los recursos naturales. Por el contrario, el desastre ecológico que se nos avecina se relaciona con una forma de construir el conocimiento en el mundo occidental (conocimiento basado en una racionalidad instrumental); con la incapacidad de asumir adecuadamente los desafíos que plantea el problema ambiental, y con el desinterés por conciliar y equilibrar la actividad económica, los tiempos de renovación de los recursos naturales del planeta y los usos indiscriminados de estos.

El concepto de ambiente planteado por Enrique Leff resignifica las concepciones de crecimiento, progreso y desarrollo sin límites. Con esto, intenta configurar una nueva racionalidad social, que se vería reflejada en los campos de la producción, el conocimiento, la política y las prácticas educativas. Entonces, el saber ambiental surge y se libera del yugo del desconocimiento al que lo han sometido los paradigmas dominantes del conocimiento, y se constituye como una nueva forma de comprender y mirar el mundo.

En *Discursos sustentables*, Leff propone que la interdisciplina debería dejar de ser una simple articulación de las ciencias e intentar ser un verdadero diálogo de saberes, trascender la arrogancia de las ciencias y abrirse al encuentro con otras identidades de los diversos actores sociales. Entre los propósitos del libro, Leff plasma su interés por incluir dentro del desarrollo económico de la modernidad la visión de los pueblos indígenas para la construcción de la sustentabilidad y para reconstruir las relaciones originarias de las culturas y los territorios de América Latina.

El autor se afana en demostrar a través de diversos discursos que la racionalidad económica de la modernidad hace producir a la naturaleza para satisfacer demandas humanas (en algunos casos desmedidas). De esta manera, la economía toma impulso armándose de paradigmas ficticios e ignorando por completo las condiciones ecológicas que sustentan la vida y el mismo proceso económico.

El libro contextualiza la problemática ambiental como una cuestión histórica, matizada en las entrañas del tejido social, que necesita de una resignificación ambiental de la política. Su doctrina fundamental es: “La crisis ambiental es el reflejo y el resultado de la crisis civilizatoria occidental, causada por sus formas de conocer, concebir, y por ende transformar, el mundo” (Eschenhagen, 2008, p. 3).

La obra se inscribe en la crítica inmanente del capitalismo y los modos de producción del mundo, que han generado crisis de escasez de los recursos naturales por los procesos de innovación tecnológica del conocimiento científico. También la evolución económica ha causado efectos negativos en la conservación de las fuentes hídricas, el aire y el suelo, y ha traído consigo el calentamiento global por la propagación de gases de efecto invernadero (GEI), sumado a los cambios meteorológicos que rompen el equilibrio mismo de las tramas de la naturaleza.

Los discursos sustentables de Leff buscan alcanzar la racionalidad ambiental, renovando los modos de pensar y actuar de las ciencias y estructuras científicas de la modernidad. Su tesis se enfoca en la transformación de las formas de producción desde las bases culturales. En la obra se van tejiendo diversos enfoques de saberes y respuestas a problemas ambientales que la misma naturaleza refleja, por lo que resulta conveniente e interesante discutir su estructura, los principales postulados plasmados y sus implicaciones sociopolíticas. El discurso de la obra cuenta con un toque filosófico y una narrativa que se entrelaza en los diversos discursos de la sustentabilidad.

## Transformar la ciencia en busca de nuevos conceptos que guíen el pensamiento

Haciendo un recorrido por los contenidos de la obra, encontramos que, en los capítulos 2, 3 y 4, el autor hace una autocrítica a los términos de sustentabilidad y desarrollo sostenible, afirmando que son conceptos diferentes. Lo sostenible es una falacia y simulación impuesta por los instrumentos de gestión ambiental para sostener a la economía, no al ecosistema.

En ese sentido, el autor manifiesta que los problemas ambientales son el resultado del saber humano sobre las formas de apropiación del mundo y de la naturaleza a través de las relaciones de poder. Esto se ve reflejado en la hegemonía que ejercen el poder

judicial y los gobiernos en América Latina para crear e implementar regulaciones bajo la mirada de una racionalidad económica sin limitaciones, que va en contra de la conservación de la naturaleza y lleva a la crisis ambiental.

Una de las causas de esta crisis ambiental es que los seres humanos heredamos una configuración de evolución y desarrollo de la ciencia, en la que los problemas ambientales son problemas sociales. De esta manera, Leff propone otras formas de comprender el mundo con la misma legitimidad y derecho que la ciencia, la cual siempre ha querido ser (y es) el orden superior supremo del conocimiento humano.

En su libro *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*, Leff (2008b) define que:

La crisis ambiental es una *crisis civilizatoria*, y en un sentido muy fuerte, es decir, que hemos llegado al punto de haber puesto en peligro no solamente la biodiversidad del planeta, sino la vida humana, y junto con ello algo sustantivo de la vida humana, el *sentido* de la vida. (p. 224)

A partir de lo anterior, resulta interesante abrir un debate comparativo sobre el desarrollo sostenible y la sustentabilidad, haciendo una comparación entre lo que representa el vocablo sustentabilidad en inglés, en español y para Enrique Leff como ambientalista de América Latina.

Para abordar esta contradicción marcada por el autor, recurrimos a la siguiente pregunta: ¿existe una diferencia entre *sustentabilidad* y *sostenibilidad*? Si revisamos el significado de estos dos términos, resultan ser traducciones de la misma palabra en inglés: *sustainable*.

En el artículo titulado “¿Qué es sustentabilidad?”, Margarita Barney de Cruz, citada en Wolfensberger Scherz (2005), advierte que la expresión “desarrollo sostenible o sustentable” es un anglicismo<sup>4</sup> que proviene del concepto *sustainable development*, que quiere decir “que se puede sostener en el tiempo por sí sólo” (Wolfensberger Scherz, 2005, p. 2). La traducción al español, por ende, debe ser desarrollo sostenible o sostenibilidad. Sin embargo, el anglicismo vendría a ser sustentabilidad, dado que usa la “u” al igual que en la palabra en inglés. Pero ¿nos referimos a eso cuando hablamos de desarrollo sustentable? La respuesta es simple: claro que no. De hecho, la palabra *sustentabilidad* no está incorporada en la Real Academia Española (RAE), pero *sostenibilidad* sí lo está.

Si nos remitimos a las definiciones de la RAE, nos encontraremos que sustentable está catalogado como un adjetivo y se define como aquello que se puede sustentar o defender con razones. Por otra parte, sostenible también es un adjetivo; la RAE lo define

<sup>4</sup> Los anglicismos son préstamos lingüísticos del idioma inglés hacia otro idioma. Muchas veces son un producto de traducciones deficientes de material impreso o de secuencias habladas, y otras veces se crean forzosamente por la inexistencia de una palabra apropiada que traduzca un término o vocablo en específico (Wikipedia, s. f.).

como aquel proceso que puede mantenerse por sí mismo, como lo hace, por ejemplo, un desarrollo económico sin ayuda exterior ni merma de los recursos existentes. Lo anterior basta para aclarar que son sinónimos, entonces, solo tiene distinción en la lengua castellana y carece de importancia en otros idiomas.

En su libro *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*, Enrique Leff (2004) advierte que:

La ambivalencia del discurso del desarrollo sostenible se expresa ya en la polise-  
mia del término *sustainability*, que integra dos significados: el primero, traducible  
como sustentabilidad, implica la incorporación de las condiciones ecológicas  
—renovabilidad de la naturaleza, dilución de contaminantes, dispersión de dese-  
chos— del proceso económico; el segundo, que se traduce como *sostenibilidad*,  
implica perdurabilidad en el tiempo del proceso económico. (p. 103)

Sin embargo, haciendo énfasis en lo expuesto, podemos señalar que la aplicación del término sustentabilidad o sostenibilidad responde a la ubicación geográfica e interpretación propia del concepto por parte de los autores que la utilizan sin respetar la génesis del término. En Europa, el término preferido es sostenible y, en América Latina, sustentable, aunque se refieren a lo mismo. Es decir que en Europa se hacen memorias de sostenibilidad, mientras que en América Latina se hacen reportes de sustentabilidad, pero son exactamente los mismos documentos.

El concepto de *desarrollo sostenible*, que comprende viabilidad ambiental, económica y social, surgió del informe titulado *Nuestro futuro común* (*Our Common Future*, en inglés), elaborado en 1987 para la Organización de las Naciones Unidas (ONU) por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Siendo persistentes con la crítica, mantenemos la inquietud sobre las diversas visiones para interpretar y comprender la sustentabilidad. En *Discursos sustentables* se reconstruye la significación del término, buscando transformar la realidad ambiental actual (crisis), mientras otras concepciones son usadas como mero instrumento para comprender la gestión ambiental de la economía.

## Cómo empezar a pensar por fuera de los discursos hegemónicos: la otredad y el diálogo de saberes

En su afán por afirmar que la crisis ambiental se encuentra en los modos de pensar el mundo, Leff concentra parte de su tesis en la creación y apropiación de nuevos conceptos que le permiten criticar e identificar los problemas del conocimiento humano. De esta manera, encuentra nuevas formas de conocer y aprender para apropiarse del *saber ambiental*.

Para el autor, el *saber ambiental* no se puede construir desligado de la *epistemología ambiental* y el *diálogo de saberes*, ya que estos se constituyen como pilares hegemónicos de la *racionalidad ambiental*, impulsados por la *otredad*<sup>5</sup> de la *educación ambiental* y la *complejidad*, que le dan la estructura funcional a la *sustentabilidad ambiental*. En efecto, compartimos el planteamiento sobre la necesidad de crear nuevos modos de pensar el mundo desde bases epistemológicas que no respondan a los mismos esquemas impuestos por las ciencias desde muchos siglos atrás.

A cierto tipo de ciencia (de la que habla Leff), se le suma la supremacía de la lógica económica sobre la ecológica y del poder judicial y los gobernantes sobre los pueblos como causantes directas de la crisis ambiental de nuestro tiempo, ejemplificada en el cambio climático, el calentamiento global y la contaminación del suelo, el agua y el aire. Ahora bien, el diálogo de saberes funciona involucrando diversas disciplinas y culturas, pero es vital que la interdisciplina no actúe bajo modelos metodológicos impuestos. Se necesitan construir nuevas ideas y conceptos para lograr dismantelar las estructuras y hegemonías de las diversas corrientes de pensamiento científico, dado que los aparatos jurídicos no han estado a la altura para resolver los conflictos socioambientales actuales.

Para lograr crear estos espacios de participación de voluntades, es clave abrirse sin obstáculos al principio de otredad con los diversos actores sociales, donde se puedan discutir estrategias de cambio en los modos de producción de la naturaleza. Bajo esta perspectiva, no debe existir ningún tipo de jerarquías ni supremacía por parte del conocimiento científico ante el saber cultural.

Según Leff, tal proceso busca la construcción de nuevos objetos de conocimiento, derrotando las estrategias del poder implícito en las ciencias y abriéndose a otras racionalidades no disciplinarias: a las identidades de los pueblos, sus tradiciones y diversas formas de apropiación de la naturaleza. El resultado sería un conocimiento que adquiere historicidad y la capacidad de abrigar “las diversas formas de significación y de asimilación de cada sujeto y de cada cultura, generando un proceso que concreta y arraiga el conocimiento en saberes individuales y colectivos” (Leff, 2006, p. 138).

De acuerdo con Leff:

Esa productividad ecológica se articula con una productividad tecnológica, porque no hay que renunciar a todas las posibilidades de la ciencia y la técnica, sino que hay que reencaminar muchas de ellas hacia la construcción de este nuevo paradigma productivo; pero esta construcción social no puede estar guiada por una planificación centralizada de la tecnología normada por la ecología. *El alma de esta nueva economía humana son los valores culturales*. Cada cultura da significado a sus conocimientos, a sus saberes, a su naturaleza; recreándola y abriendo el

---

<sup>5</sup> Leff se inspira en Lévinas y Derrida para hablar de otredad.

flujo de posibilidades de coevolución, articulando el pensamiento humano con el potencial de la naturaleza. Reabrir este proceso es un reto mayúsculo para la sustentabilidad: significa deconstruir la globalización unitaria guiada por el valor de mercado, para construir una globalización guiada por la interconexión de una diversidad de posibilidades de recreación productiva de los pueblos con sus naturalezas.

## La educación ambiental y los centros universitarios en América Latina

Aunque las universidades y las instituciones de educación superior gocen de autonomía formal (libertad de investigación y de cátedra), sus actividades académicas son afectadas por los valores dominantes de la sociedad en la que están inscritas (Leff, 1998). En ese sentido, Leff afirma que, para lograr frenar el desarrollo evolutivo de la crisis ambiental, es determinante iniciar con una transformación desde las bases de la educación ambiental en América Latina, desde la formación primaria, secundaria y, especialmente, universitaria.

Asimismo, en su ponencia *Educación ambiental: perspectivas desde el conocimiento, la ciencia, la ética, la cultura, la sociedad y la sustentabilidad*, presentada en el I Congreso Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable de la Argentina, Leff (2004a) mencionó que:

los educadores de la región han venido constituyendo espacios de solidaridad en defensa del derecho fundamental de la ciudadanía a la educación, a una educación libre del condicionamiento y las limitaciones de la educación privada; una educación que libere el pensamiento, que genere capacidades para la autosuficiencia de los pueblos, que no sea un mecanismo de adaptación a las razones de fuerza mayor del mercado y de sus *favelas* de supervivencia. *Los educadores de América Latina y el Caribe se han sumado a la propuesta de una Educación para Todos, se han adherido al Pronunciamiento Latinoamericano en favor de la Educación y han conformado una Comunidad Educativa como una red solidaria en defensa de la educación en los países de la región.*

En los *centros universitarios* se torna indispensable incluir, en todas las disciplinas formales y no formales, el concepto de educación ambiental, haciendo énfasis en los modos de repensar el mundo, de manera que se incentive la creación de nuevos seres con la capacidad de romper categorías hegemónicas impuestas por el poder académico. En la actualidad, la mayoría de las autoridades rectorales no están comprometidas con el tema o lo desconocen; de esta forma, es imposible crear nuevos espacios para legitimar el aprendizaje de la educación ambiental.

Según Leff (2004a):

la lucha de la comunidad educativa es la defensa de un compromiso, de una tarea y de un sentido que se han dado al elegir el oficio, la profesión de educadores. Mas esta lucha es la de toda la sociedad por un derecho que no sólo lo es a la alfabetización y a la educación básica, sino a estar al día en el estado del conocimiento, que es patrimonio de la humanidad, así como al desarrollo de habilidades que capaciten a todos los seres humanos del planeta para la vida profesional, para una vida plena en armonía con el ambiente. El derecho a la educación es el derecho de ser y de saber; de aprender a aprender; de pensar, discernir, cuestionar y proponer; es el entrenamiento para llegar a ser autores de nuestra propia existencia, sujetos autónomos, seres humanos libres.

## El saber ambiental de los pueblos indígenas en América Latina

En el libro *Saber ambiental de los pueblos indígenas en América*, Leff (1998b) presenta reiteradamente discursos sobre el saber ambiental, el principio de la otredad y el diálogo de saberes. Estos son los pilares fundamentales para la creación de una sustentabilidad ambiental en la cual se acepten, comprendan e incluyan las voces de las comunidades indígenas, con el fin de lograr nuevas estrategias de desarrollo de la mano con la naturaleza (y no contra ella, como ocurre en la actualidad).

La Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH, 2016) ha desarrollado normas para proteger los derechos de los pueblos indígenas sobre sus territorios. Además de los casos mencionados por el autor en la obra, se destacan los siguientes casos de América Latina, procedentes de países hermanos.

En el departamento del Cauca (Colombia), cansados de los combates entre la guerrilla de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) y el ejército colombiano, los indígenas del departamento decidieron poner orden en su territorio. Grupos organizados de indígenas iniciaron el desalojo tanto de las tropas oficiales como de las insurgentes. Los indígenas, aproximadamente 115 000, mantienen un diálogo con el Gobierno mientras los militares han regresado a sus posiciones en la zona.

En el Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Sécore (TIPNIS), en Bolivia, sus habitantes denunciaron durante años (desde el 2003) la invasión de sus territorios para la construcción de una carretera y se movilaron para exigir la suspensión del proyecto. La presión que desde entonces han ejercido estas comunidades en el Gobierno central ha llevado al Ejecutivo boliviano a suspender la construcción de la autovía. En ese sentido,

El diálogo de saberes se plantea como una condición de la democracia en el campo de la sustentabilidad, lo que desborda el campo de una gestión del desarrollo sustentable basado en el conocimiento de la ciencia o el conocimiento experto, para incluir las visiones, saberes e intereses que entran en juego, fuera de la ciencia, en la reapropiación social de la naturaleza. (Leff, 2004b, p. 21)

Lo anterior será posible cuando, antes de crear las medidas para mitigar, controlar y compensar los impactos ambientales asociados a los procesos industriales, se tengan en cuenta los saberes de las comunidades arraigadas a los territorios donde se pretenden desarrollar actividades productivas.

No podemos controlar los daños ambientales bajo el paradigma de los instrumentos jurídico-técnicos de la gestión ambiental. Si bien estos son una herramienta, no constituyen la solución definitiva para detener la dominación y el progreso de las estructuras del pensamiento globalizado de la economía y el desarrollo productivo que, aunque a veces va acompañado del término “sustentable”, sigue siendo desarrollo.

## Conclusiones

Es importante reconocer que Enrique Leff es un pensador preocupado por el tema ambiental, quien discute constantemente con el desarrollo de la economía, la ciencia, la irracionalidad ambiental del ser y la hegemonía del poder de los gobernantes. A su vez, discute con los conceptos científicos y no científicos (aquellos no admitidos en los ámbitos disciplinarios). También discute con la interdisciplina, afirmando que esta debería dejar de ser una simple articulación de las ciencias e intentar ser un verdadero diálogo de saberes, trascender la arrogancia de las ciencias y abrirse al encuentro con otras identidades de los diversos actores sociales.

Desde una postura crítica del discurso de la globalización y del desarrollo sostenible, Leff desentraña las raíces profundas de la crisis ambiental —crisis de la razón instrumental y de la racionalidad económica dominantes— y elabora los fundamentos de un nuevo paradigma productivo. Además, destaca la importancia del saber ancestral de las comunidades indígenas para cualquier desarrollo económico.

La principal debilidad de sus artículos radica en una constante monotonía alrededor de la categoría central: lo sustentable. De esta, Leff extrae (y seduce con) múltiples teorías a discutir en torno a la crisis ambiental, que van apareciendo alrededor del eje conceptual de la sustentabilidad ambiental.

El uso de muchos contextos es reiterativo, por lo que el lector se puede perder en la búsqueda de su conexión con el pensamiento de Leff. La obra no se puede interpretar de manera aislada, cada concepto se debe unir y entretener por medio de la complejidad

ambiental. Para crear la racionalidad ambiental que preocupa al autor, es imperante determinar la interpretación de esta desde otros enfoques disciplinares, que consideren las relaciones entre el ser humano y la naturaleza.

Durante toda su obra, Enrique Leff se oculta profundamente en su estilo poético para descifrar la realidad de la modernidad, situación que lo lleva a no dar espacio a la crítica externa. No obstante, el hecho de abrirse a otras opiniones lo pudo haber llevado a fortalecer o desarticular la estructura de tan pensada sustentabilidad ambiental.

En ese sentido, es interesante mencionar la conferencia “Las condiciones sociales para la circulación de las ideas”. En esta, Pierre Bourdieu (2002) sostiene que no hay cosa más falsa que creer que la vida intelectual es espontáneamente internacional. Al contrario, la circulación puede entenderse como un mercado regido por múltiples lógicas y actores, donde las obras quedan marcadas por ciertas operaciones<sup>6</sup>.

Por consiguiente, se logra identificar que la solución a los problemas ambientales, desde la mirada de Enrique Leff, es a escala local en América Latina. Posiblemente, al interactuar con experiencias del antiguo continente, se lograría reorganizar y fortalecer el significado y los instrumentos operativos de la complejidad ambiental, de tal manera que las ideas logran una circulación sin límites a escala global y en las diversas disciplinas. La necesidad de producir sus propios conceptos, en ocasiones, llevó al autor a ensimismarse en estos, sin permitir una crítica, necesaria para emprender la deconstrucción del discurso de sustentabilidad.

Finalmente, en este trabajo solamente se han plasmado algunos postulados del pensamiento de Enrique Leff. La obra contiene un compilado de opiniones y modos de pensar de una serie de autores que él relaciona para la creación de un nuevo saber ambiental. El libro es una herramienta útil para aquellos interesados en repensar la crisis ambiental global y, así, poder comprender las posibilidades de una nueva construcción de la relación entre sociedad y ambiente. Leff lleva más de 20 años analizando y construyendo un pensamiento relacionado con el tema ambiental, esta trayectoria representa el rigor del autor en sus investigaciones.

---

<sup>6</sup> Una de estas operaciones es la selección, es decir, las decisiones acerca de lo que se traduce, lo que se publica, quién lo publica, etcétera. Una segunda operación es la marcación; según Bourdieu (2002), uno de los casos más interesantes, en ese sentido, consiste en las marcas de los prologuistas. Finalmente, se encuentran las operaciones de lectura.

## Referencias

- Bourdieu, P. (2002). Les conditions sociales de la circulation internationale des idées. *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, 145, 3-8. [http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/arss\\_0335-5322\\_2002\\_num\\_145\\_1\\_2793](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/arss_0335-5322_2002_num_145_1_2793)
- Comisión Interamericana de Derechos Humanos. (2016).
- Eschenhagen, M. L. (2008). Aproximaciones al pensamiento ambiental de Enrique Leff: un desafío y una aventura que enriquece el sentido de la vida. *ISEE Publicación Ocasional*, (4), 1-7. <https://pensamientoambiental.de/wp-content/uploads/2014/10/aproximacion.pdf>
- Leff, E. (1998). *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2004a, del 6 al 9 de mayo). *Educación ambiental: perspectivas desde el conocimiento, la ciencia, la ética, la cultura, la sociedad y la sustentabilidad* [ponencia]. I Congreso Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable de la Argentina, Córdoba, Argentina.
- Leff, E. (2004b). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2006). *Aventuras de la epistemología ambiental. De la articulación de ciencias al diálogo de saberes*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2008a). *Discursos sustentables*. Siglo XXI Editores.
- Leff, E. (2008b). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.
- Luque, D. (2009). Enrique Leff, *Discursos sustentables*, Editorial Siglo XXI, México, 2008, 273 p. *Polis. Revista Latinoamericana*, 24. <http://journals.openedition.org/polis/1702>
- Wikipedia. (s. f.). *Desarrollo sostenible*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo\\_sostenible](https://es.wikipedia.org/wiki/Desarrollo_sostenible)
- Wolfensberger Scherz, L. (2005). *Sustentabilidad y desarrollo: suficiente siempre*. Universidad Anáhuac México.

## **Lecturas recomendadas**

Duval, G. (2007). Enrique Leff, *Aventuras de la epistemología ambiental. De la articulación de las ciencias al diálogo de saberes*, Siglo XXI Editores, México, 2006, 138 p. *Polis. Revista Latinoamericana*, 16. <https://journals.openedition.org/polis/4786>

Leff, E. (1994). *Ecología y capital: racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable*. Siglo XXI Editores.

Leff, E. (2000). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI Editores.

Red de Ecología Social. (s. f.). *Las próximas luchas son todas ambientales. Entrevista a Carlos Galano*. <http://www.ecologiasocial.com/biblioteca/GalanoLuchasAmbientales.htm>



## Capítulo 3.

# Inventario de avifauna en dos zonas de Santa Marta: zona baja del río Toribio y zona de Minca Pozo Azul

**Fanny Pinzón Candelario**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-2971>

**Cindy Lorena García Pinto**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-8934>

**Gustavo Adolfo Ramos Gélvez**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0264-0864>

**Manuel Pinzón Candelario**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro de Comercio y Servicios, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9594-0905>

## Resumen

Este artículo presenta un inventario de avifauna realizado en dos zonas de Santa Marta, capital del departamento del Magdalena: la zona baja del río Toribio y la zona de Minca Pozo Azul. Utilizando métodos de transectos y puntos de observación, se registraron la riqueza y la abundancia de especies en ambas áreas. Los resultados muestran diferencias significativas en la diversidad de especies y la estructura de la comunidad aviar

en las dos zonas. La zona de Minca Pozo Azul presentó una menor riqueza de especies (12 familias) y un menor número total de individuos (52), en comparación con la zona baja del río Toribio (que registró 23 familias y 67 individuos).

Entre los índices utilizados, se encuentran los de Margalef, Shannon y Simpson. Los resultados mostraron una mayor diversidad en la zona baja del río Toribio en términos del índice de Margalef y Shannon, mientras que la zona de Minca Pozo Azul presentó una menor dominancia de especies según el índice de Simpson. Estos hallazgos sugieren una rica avifauna en la zona baja del río Toribio y una estructura de comunidad más equitativa en la zona de Minca Pozo Azul. Este estudio resalta la importancia de realizar inventarios en diferentes zonas ecológicas para entender mejor la distribución de la avifauna y apoyar la conservación de la biodiversidad en la región.

**Palabras clave:** índices de diversidad, ecoturismo, turismo de naturaleza, vocalizaciones, transectos

## Abstract

This paper presents an avifauna inventory carried out in two areas of Santa Marta, capital of the department of Magdalena: the lower Toribio River zone and the Minca Pozo Azul zone. Transects and observation points were used to record species richness and abundance in both areas. The results show significant differences in species diversity and avian community structure between the two areas. The Minca Pozo Azul zone had a lower species richness (12 families) and total number of individuals (52) compared to the lower Toribio River zone (where 23 families and 67 individuals were recorded).

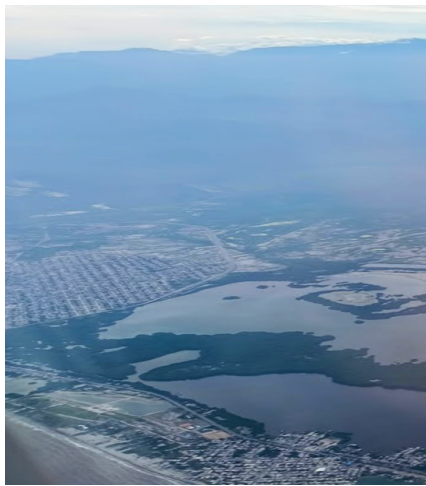
The indices used included the Margalef, Shannon and Simpson indices. The results showed a higher diversity in the lower Toribio River zone according to the Margalef and Shannon indices, while the Minca Pozo Azul zone showed a lower species dominance according to the Simpson index. These results indicate a rich avifauna in the lower Toribio River zone and a more balanced community structure in the Minca Pozo Azul zone. This study highlights the importance of conducting inventories in different ecological zones to better understand the distribution of avifauna and to support the conservation of biodiversity in the region.

**Keywords:** diversity indices, ecotourism, nature-based tourism, vocalisations, transects

## Introducción

La Sierra Nevada de Santa Marta, una de las zonas más biodiversas de Colombia, está ubicada en el departamento del Magdalena. Es un macizo montañoso aislado de la cordillera de los Andes que, gracias a su variación altitudinal, concentra los ecosistemas más representativos de la América tropical, con cientos de especies de fauna y flora, ya que va desde los 0 msnm hasta más de 5000 msnm (figura 1), donde encontramos nieves perpetuas. Por tanto, alberga una gran variedad de hábitats que soportan una rica avifauna (Fundación ProSierra Nevada de Santa Marta [ProSierra], 2018).

**Figura 1.** Sierra Nevada de Santa Marta



**Fuente:** elaboración propia.

Para determinar si una zona es apta para el aviturismo, es esencial realizar un diagnóstico e inventario de aves, identificando la riqueza y la abundancia de especies, y su relación con los biomas locales (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MINCIT], 2017). En ese sentido, este proyecto se desarrolló en dos cuencas hidrográficas que forman parte de la estrella hidrográfica de San Lorenzo, ubicada en la Sierra Nevada de Santa Marta, una región con un alto grado de endemismo en aves, específicamente en la cuenca del río Toribio de Ciénaga, Magdalena. Esta área fue reconocida como la primera Área Importante para la Conservación de Aves (AICA) en la región Caribe colombiana por el Instituto Humboldt y BirdLife International (ProSierra, 2018).

El inventario de aves es una herramienta esencial para la conservación, ya que proporciona información confiable y replicable de la composición y estructura de las comunidades aviares, permitiendo evaluar el estado de conservación de los ecosistemas; además, permite realizar comparaciones (Álvarez et al., 2004). Este estudio se enfoca en comparar la avifauna de dos zonas con diferentes características ecológicas: la zona baja del río

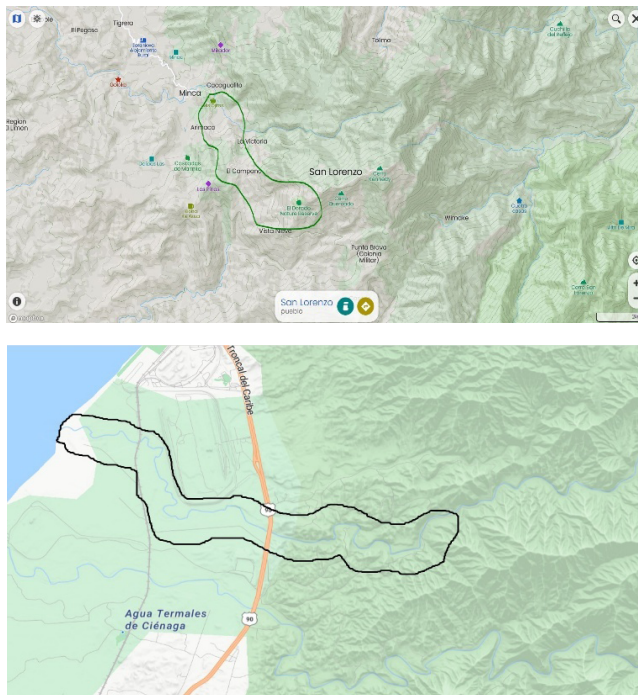
Toribio y la zona de Minca Pozo Azul, evaluar tanto la diversidad como la abundancia de especies en ambas zonas y determinar cómo las diferencias en el hábitat pueden influir en la estructura de la comunidad aviar. Si bien ambas áreas representan hábitats clave dentro de la Sierra Nevada de Santa Marta, difieren en altitud, cobertura vegetal y grado de intervención humana. Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento de la biodiversidad en la región y ofrecen insumos para futuras estrategias de conservación.

## Metodología

### Áreas de estudio

El estudio se desarrolló hacia el flanco norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, en dos zonas de la vertiente de la estrella hídrica de San Lorenzo, donde nacen 6 ríos importantes de la región Caribe: río Mendihuaca, río Piedras, río Manzanares, río Gaira, río Toribio y río Córdoba. El trabajo se realizó en dos de sus cuencas: la cuenca del río Gaira, a la altura de Minca Pozo Azul en el Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta, y la cuenca baja del río Toribio, en el municipio de Ciénaga (figura 2).

**Figura 2.** Áreas de estudio



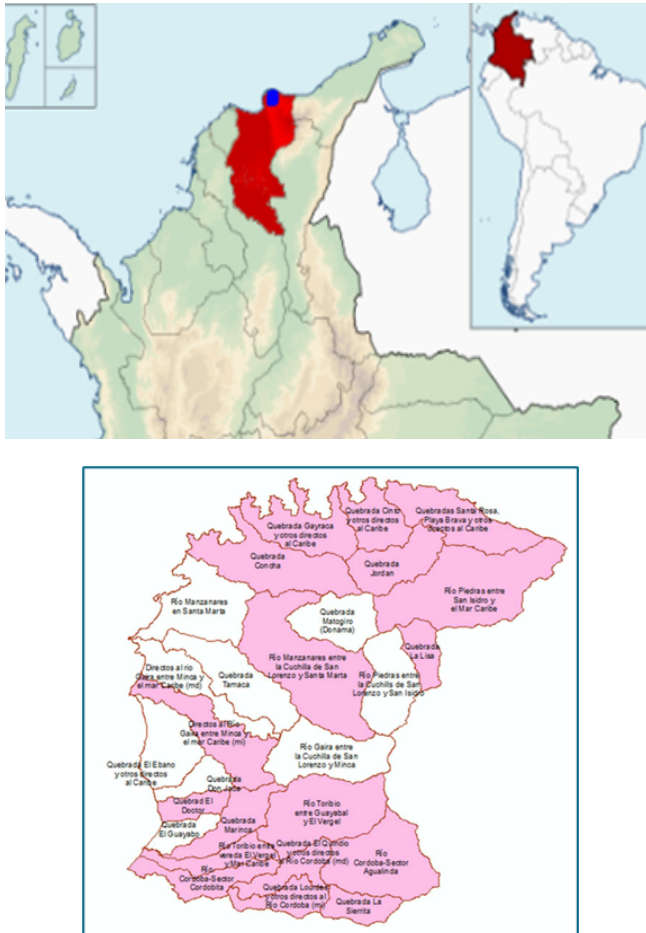
**Nota:** la imagen superior corresponde a la zona de Minca y la inferior, a la zona del río Toribio.

**Fuente:** elaboración propia por medio de la plataforma Microsoft Bing Maps.

La zona baja del río Toribio se caracteriza por estar ubicada a menor altitud, con una vegetación predominante de bosque seco tropical y una mayor intervención humana. En cambio, la zona de Minca Pozo Azul está ubicada a mayor altitud y presenta un bosque seco tropical más conservado y con menor presión antrópica.

En la figura 3 se pueden observar las áreas de las cuencas que se encuentran priorizadas para Planes de Manejo del Recurso Hídrico (PMRH) en el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA). Estas áreas incluyen el río Piedras, el río Manzanares y otros ríos que desembocan en el mar Caribe. Según la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (Corpamag, 2023), existe un conflicto por el uso del agua, que viene afectando drásticamente estas cuencas y la fauna y la flora que habitan en ellas, debido a la presión antrópica que se viene ejerciendo desde la agricultura, el turismo y la minería, entre otros.

**Figura 3.** Áreas priorizadas en el POMCA (río Piedras, río Manzanares y otros)



**Fuente:** Corpamag (2023).

## Método de inventario de avifauna

Los registros de aves se realizaron mediante observación directa en periodos de muestreo que comprendieron entre febrero y abril del 2023, y julio y septiembre del 2023. Para esto, se aplicó la metodología establecida por Wunderle (1994) y Ralph et al. (1996), la cual busca abarcar la mayor cantidad de áreas entre varios investigadores.

Para llevar a cabo el inventario de avifauna, se emplearon dos métodos principales: transectos y puntos de observación. Estos métodos son ampliamente utilizados en estudios ornitológicos y permiten obtener una muestra representativa de la avifauna presente en cada zona.

El avistamiento de individuos fue llevado a cabo mediante recorridos libres por transectos. En total, se acumularon 60 horas de observación por zona, en jornadas alternadas entre la mañana (6:00-10:00) y la tarde (15:00-18:00), de acuerdo con lo establecido por Ralph et al. (1996) y teniendo en cuenta que son las franjas horarias en que las aves son más activas.

### Transectos

En cada sitio de muestreo se ubicaron tres líneas de transectos de 350 metros de largo cada una. Para evitar el doble conteo, los transectos fueron separados entre sí una distancia de al menos 150 a 200 metros (González García, 2011). Tanto el inicio como el final de cada línea de transecto (LT) se distinguieron con una marca de color rojo, lo cual facilitó identificarla. Posteriormente, se recorrió lentamente cada una de las distancias de las LT a una velocidad aproximada de 1 km/hora, con el fin de registrar las especies que se encontraban en cada hábitat (González García, 2011).

De igual manera, se tuvo en cuenta si el ave fue registrada en la copa de un árbol o un arbusto, un tronco, el suelo o el agua. A lo largo de cada transecto, se registraron todas las aves observadas y escuchadas, anotando la especie, el número de individuos y su comportamiento.

### Puntos de observación y conteo

En cada zona de muestreo se ubicaron 6 puntos de observación y conteo (PC) fijos en cada transecto, que fueron identificados con tapas de color amarillo, con el fin de realizar los censos en los mismos sitios a lo largo de todos los periodos de muestreo. La distancia mínima entre los puntos fue de 250 m (Ralph et al., 1996) y, con el objeto de evitar el efecto borde, la distancia mínima entre un PC y el límite de un ambiente dife-

rente fue de 100 metros (Bibby et al., 2000; Ralph et al., 1996). En estos PC se realizó una observación continua durante 15 minutos. En estos puntos se registraron todas las aves observadas y escuchadas, complementando así los datos obtenidos en los transectos.

Adicionalmente, para complementar el listado de familias, se incluyeron registros sonoros de vocalizaciones obtenidos durante los recorridos. Para esto, se utilizó la metodología establecida en el capítulo 5, titulado “Aves”, del *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Allí se plantea realizar las observaciones y las grabaciones de forma simultánea, y utilizar las técnicas de Brutney y Grotke (2000) planteadas en el artículo “Técnicas para la grabación de aves tropicales” (Álvarez et al., 2006).

Es importante señalar que las vocalizaciones grabadas fueron, en primer lugar, etiquetadas y procesadas con ayuda del *software* Pro Tools y la aplicación AudioLab, con el fin de eliminar sonidos ambientales y ruidos que pudieran intervenir en el contraste e identificación de las vocalizaciones de las aves. Estas grabaciones fueron contrastadas con 3 aplicaciones para identificación de aves: Merlin Bird ID, eBird y Picture Bird, donde se introdujeron fragmentos sonoros para identificar el ave y contrastar con lo observado.

## Análisis de datos

Se calcularon la riqueza y la abundancia tanto de órdenes como de familias, además de índices de diversidad, como el índice de Shannon ( $H'$ ) y el índice de Simpson ( $\lambda$ ), para comparar la diversidad de especies entre las dos zonas. Además, se empleó el índice de Margalef para evaluar la riqueza de especies. Los datos se analizaron utilizando el *software* de análisis estadístico especializado en biodiversidad PAST 4.03.

## Resultados

### *Diversidad y abundancia*

Los resultados mostraron diferencias significativas en la riqueza de especies y la abundancia de individuos entre las dos zonas estudiadas. En la zona de Minca Pozo Azul se registraron un total de 52 individuos pertenecientes a 12 familias, mientras que en la zona baja del río Toribio se registraron 67 individuos pertenecientes a 23 familias. En la tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para cada orden y familia en ambas zonas.

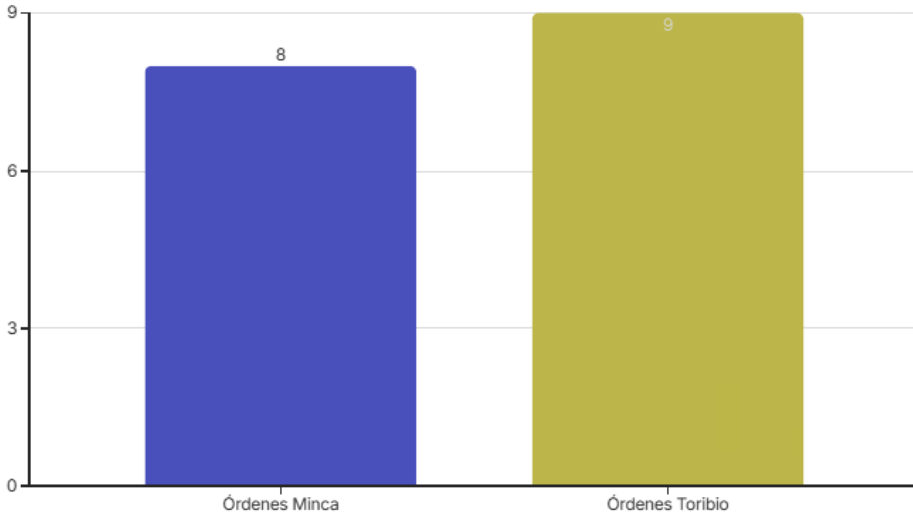
Tabla 1. Riqueza y abundancia de avifauna en las dos zonas de estudio

| Orden            | Familia            | Individuos en la zona de Minca | Individuos en la zona del río Toribio |
|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Paseriformes     | Passeridae         | 1                              | 0                                     |
| Paseriformes     | Eurylaimidae       | 1                              | 0                                     |
| Paseriformes     | Corvidae           | 2                              | 1                                     |
| Paseriformes     | Troglodyidae       | 2                              | 1                                     |
| Paseriformes     | Icteridae          | 1                              | 5                                     |
| Paseriformes     | Cisticolidae       | 0                              | 7                                     |
| Paseriformes     | Parulidae          | 0                              | 2                                     |
| Paseriformes     | Thraupidae         | 0                              | 2                                     |
| Paseriformes     | Cardinalidae       | 0                              | 1                                     |
| Paseriformes     | Icteridae          | 0                              | 1                                     |
| Paseriformes     | Pirangas           | 0                              | 5                                     |
| Paseriformes     | Coerebidae         | 0                              | 3                                     |
| Paseriformes     | Turdidae           | 0                              | 1                                     |
| Apodiformes      | Trochilidae        | 12                             | 1                                     |
| Caprimulgiformes | Steatornithidae    | 1                              | 7                                     |
| Columbiformes    | Columbidae         | 1                              | 0                                     |
| Psittacidae      | Psittaciformes     | 6                              | 6                                     |
| Trogoniformes    | Trogonidae-quetzal | 23                             | 13                                    |
| Strigiformes     | Strigidae          | 1                              | 0                                     |
| Accipitriformes  | Tytonidae          | 1                              | 1                                     |
| Pelecaniformes   | Accipitridae       | 1                              | 2                                     |
| Pelecaniformes   | Threskiornithidae  | 0                              | 2                                     |
| Pelecaniformes   | Ardeidae           | 0                              | 1                                     |
| Pelecaniformes   | Ardeidae           | 0                              | 1                                     |
| Pelecaniformes   | Pelecanidae        | 0                              | 1                                     |
| Tinaniformes     | Tinamididae        | 0                              | 1                                     |
| Piciformes       | Ramphastidae       | 0                              | 1                                     |
| Total            |                    | 52                             | 67                                    |

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se observa una mayor riqueza de órdenes en el río Toribio que en la zona de Minca. Entre los órdenes, se destaca el *Psittacidae* en ambas zonas, que incluye loros, pericos, cotorras y guacamayos, que tienen como característica un pico con una forma curva particular.

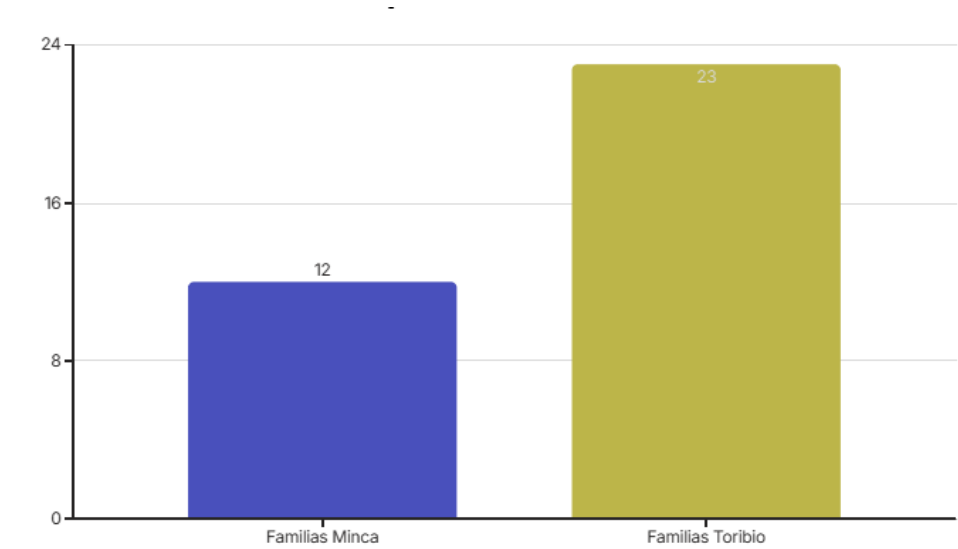
**Figura 4.** Riqueza de órdenes en las zonas de Minca y del río Toribio



**Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a la riqueza de familias, en la figura 5 se observa que esta también fue mayor en la zona del río Toribio, superando a la de la zona de Minca en un 216 %. Esto podría estar asociado a las diversas condiciones de los hábitats que se encuentran en la zona baja del río Toribio, donde está la desembocadura del río en el mar Caribe. De esta manera, se lograron evidenciar algunos especímenes de aves costeras de la familia de los *Pelecaniformes*, que incluyen garzas y pelícanos, entre otros.

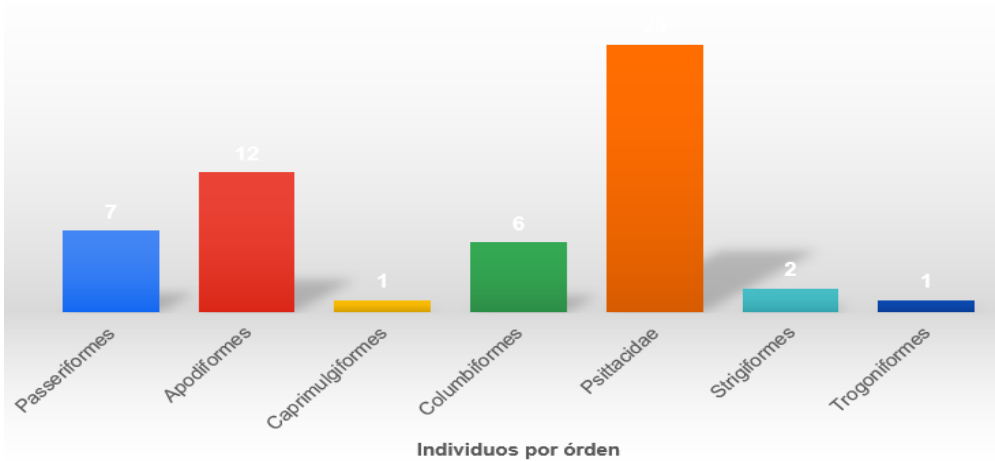
Figura 5. Riqueza de familias en las zonas de Minca y del río Toribio



Fuente: elaboración propia.

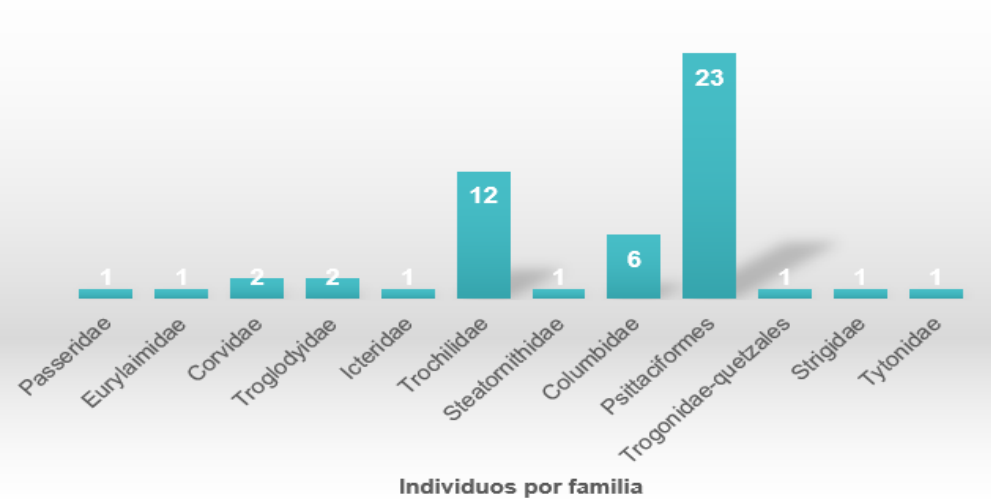
Por otro lado, se estableció la abundancia de individuos por órdenes y familias encontradas en cada zona. En las figuras 6 y 7 se observan la abundancia de órdenes y familias para la zona de Minca, respectivamente. Se encontró que la más abundante fue la familia *Psittaciformes* del orden *Psittacidae*, con 23 individuos identificados.

Figura 6. Abundancia de órdenes en la zona de Minca



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Abundancia de familias en la zona de Minca



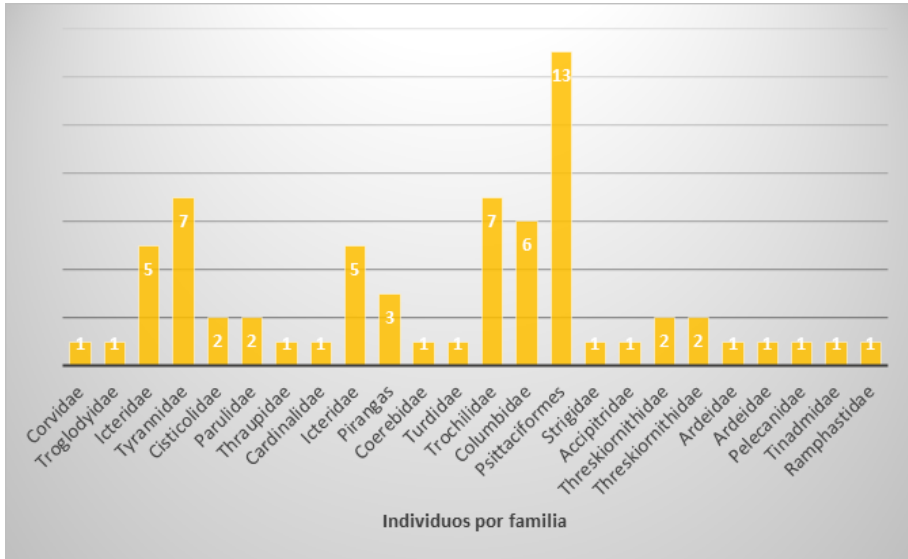
Fuente: elaboración propia.

En la zona baja del río Toribio se encontró que el orden más abundante fue los *Passeri-formes* (comúnmente llamados pájaros o aves cantoras), con 30 individuos. Por su parte, la familia más abundante fue la *Psittaciformes* (loros y cotorras), con 13 individuos. Lo anterior se observa en las figuras 8 y 9, respectivamente.

Figura 8. Abundancia de órdenes en la zona del río Toribio

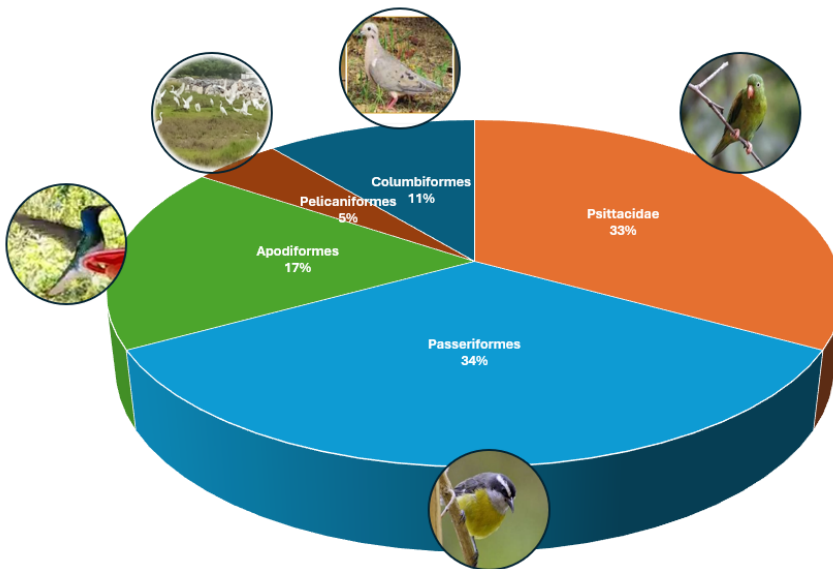


Fuente: elaboración propia.

**Figura 9.** Abundancia de familias en la zona del río Toribio

**Fuente:** elaboración propia.

Considerando los individuos de ambas zonas, en la figura 10 se observa que los 5 órdenes más abundantes fueron: en primer lugar, los *Passeriformes* con un 45 %; en segundo lugar, los *Psittacidae* con un 20 %; en tercer lugar, los *Apodiformes* con un 11 %; en cuarto lugar, los *Columbiformes* con un 9 %, y, por último, los *Pelicaniformes* con un 9 %.

**Figura 10.** Órdenes más abundantes en las zonas de estudio

**Fuente:** elaboración propia.

Los índices de diversidad reflejaron una mayor diversidad en la zona baja del río Toribio, con un índice de Shannon de 2,182 y un índice de Simpson de 0,913, en comparación con la zona de Minca Pozo Azul, que presentó un índice de Shannon de 1,731 y un índice de Simpson de 0,732, como se observa en la tabla 2. Estos resultados sugieren una mayor heterogeneidad en la comunidad aviar de la zona baja del río Toribio.

**Tabla 2.** Índices de diversidad

| Índices de diversidad alfa       | Zona de Minca | Zona del río Toribio |
|----------------------------------|---------------|----------------------|
| Índice de diversidad de Margalef | 2,78          | 5,23                 |
| Diversidad alfa Shannon          | 1,73          | 2,18                 |
| Dominancia de Simpson            | 0,268         | 0,087                |
| Diversidad de Simpson            | 0,732         | 0,913                |

**Fuente:** elaboración propia.

## Discusión y análisis de resultados

Las diferencias en la riqueza de especies y la diversidad entre las dos zonas estudiadas pueden estar relacionadas con las diferencias en la estructura del hábitat y el grado de intervención humana. La mayor riqueza de especies en la zona baja del río Toribio puede estar asociada con la diversidad de hábitats presentes en esta zona, que incluyen tanto áreas boscosas como áreas abiertas, ofreciendo una variedad de recursos para las aves.

Por otro lado, la menor diversidad observada en la zona de Minca Pozo Azul puede estar influenciada por su mayor altitud y menor grado de intervención humana, lo que puede limitar la presencia de especies generalistas y favorecer a aquellas adaptadas a condiciones más específicas.

La importancia de la diversidad alfa, medida a través del índice de Shannon, radica en su capacidad para reflejar la equitatividad y riqueza de especies en una comunidad. En ese sentido, la zona baja del río Toribio no solo presentó una mayor riqueza de especies, sino también una mayor equitatividad, lo que sugiere una comunidad aviar más equilibrada.

## Conclusiones

El presente estudio revela diferencias significativas en la avifauna de dos zonas ecológicas de Santa Marta, capital del departamento del Magdalena. La zona baja del río

Toribio, con una mayor riqueza de especies y diversidad, se destaca como un área de alta importancia para la conservación de la avifauna en la región. Por otro lado, la zona de Minca Pozo Azul, aunque con menor diversidad, también presenta un valor ecológico significativo, especialmente por la presencia de especies adaptadas a mayores altitudes.

Estos resultados señalan la necesidad de continuar realizando inventarios de biodiversidad en diferentes zonas de la Sierra Nevada de Santa Marta, a fin de mejorar nuestra comprensión de la distribución y el estado de conservación de las especies en esta región. Además, estos estudios son fundamentales para el diseño de estrategias de conservación que consideren las particularidades de cada zona ecológica.

## Referencias

- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A. M. y Villarreal H. (2006). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (2.<sup>a</sup> ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A. & Mustoe, S. (2000). *Bird Census Techniques* (2nd ed.). Academic Press.
- Corporación Autónoma Regional del Magdalena. (2023, 6 de noviembre). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica – POMCA de los ríos Piedras, Manzanares y otros directos al Caribe SZH 1501* [geodatabase]. <https://www.corpamag.gov.co/index.php/po-mcas>
- Fundación ProSierra Nevada de Santa Marta. (2018). *Biomás*. <https://www.prosierra.org/index.php/la-sierra-nevada/la-sierra-parte-2/biomas>
- González García, F. (2011). Métodos para contar aves terrestres. En S. Gallina Tessaro y C. A. López González (Eds.), *Manual de técnicas para el estudio de la fauna Vol. 1* (pp. 86-123). Universidad Autónoma de Querétaro e Instituto de Ecología, A. C.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2017). *Guía de buenas prácticas para la actividad de aviturismo en Colombia*. <http://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=2aaff59c-e5b5-45c7-b0e7-e78304e362f5>
- Ralph, C. J., Geupel, G. R., Pyle, P., Martin, T. E., De Sante, D. F. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Forest Service. [https://www.birdpop.org/docs/pubs/Ralph\\_et\\_al\\_1996\\_Manual\\_de\\_Metodos\\_Para\\_El\\_Monitoreo\\_De\\_Aves.pdf](https://www.birdpop.org/docs/pubs/Ralph_et_al_1996_Manual_de_Metodos_Para_El_Monitoreo_De_Aves.pdf)
- Wunderle, J. M. (1994). *Métodos para contar aves terrestres del Caribe*. Forest Service. [https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/gtr\\_iitf\\_1994\\_wunderle.pdf](https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/gtr_iitf_1994_wunderle.pdf)



## Capítulo 4.

# **Análisis económico y nutricional del ensilaje de maíz (*Zea mays*), con y sin mazorca, utilizando diferentes inclusiones de melaza, en el Caribe colombiano**

**Gustavo Adolfo Ramos Gélvez**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0264-0864>

**Juan Carlos Quiroz Díaz**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6768-0819>

**Claudia María Vitola Otálora**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro Acuícola y Agroindustrial de Gaira, Regional Magdalena  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7122-8808>

## **Resumen**

Esta investigación está orientada a identificar la viabilidad tanto económica como nutricional del ensilaje de maíz, con y sin mazorca, como una herramienta para la toma de decisiones de los productores. En Colombia, como alternativa a bajar los costos de producción del mismo, es una práctica común estimar los costos de producción del cultivo con los dos tratamientos: con y sin mazorca, determinando el valor por metro cuadrado.

En el estudio se determinó el aforo del lote para sacar los distintos porcentajes de la planta, tanto del tallo como de las hojas y la mazorca. Además, se utilizaron diferentes inclusiones de melaza en los siguientes porcentajes: 2 %, 4 % y 6 %. Como resultado, se obtuvieron 6 tratamientos, a los que se les realizaron pruebas bromatológicas para evaluar la calidad nutricional (MS, PC, FDN y FDA) según el método de Van Soest adaptado en el laboratorio.

Con un enfoque cualitativo y empleando un arreglo factorial de 2x3 para los 6 tratamientos, cada tratamiento se realizó en una bolsa individual y tuvo 3 repeticiones en bolsas independientes. Los datos se analizaron mediante pruebas de comparación en el *software* de análisis estadístico SAS, teniendo en cuenta estadísticas descriptivas: promedios y desviaciones. De allí, se obtuvieron datos relevantes que permiten concluir que se debería explorar la posibilidad de vender la mazorca en el ensilaje de maíz para obtener un costo de oportunidad y bajar los gastos de producción de ensilaje para bovinos.

**Palabras clave:** ensilaje, producción animal, zootecnia, mazorca, maíz

## Abstract

This research is aimed at identifying the economic and nutritional viability of corn silage, with and without cob, as a decision-making tool for producers. In Colombia, as an alternative to lowering production costs, it is common practice to estimate the production costs of the crop with the two treatments: with and without cob, determining the value per square metre.

In the study, the batch size was determined to extract different percentages of the plant, both stem, leaves and cob. In addition, different molasses inclusions were used in the following percentages 2%, 4% and 6%. As a result, 6 treatments were obtained, which were subjected to bromatological tests to evaluate the nutritional quality (DM, CP, NDF and ADF) according to the Van Soest method adapted in the laboratory.

With a qualitative approach and using a 2x3 factorial arrangement for the 6 treatments, each treatment was carried out in an individual bag and had 3 replications in independent bags. The data were analysed using comparison tests in the SAS statistical analysis software, taking into account descriptive statistics: means and deviations. Relevant data were obtained that allow us to conclude that the possibility of selling the cob in the corn silage should be explored to obtain an opportunity cost and lower the production costs of silage for cattle.

**Keywords:** silage, animal production, zootechnics, cob, corn

## Introducción

El cultivo de maíz es muy utilizado desde tiempo atrás a nivel mundial, tanto en la industria de alimentos como en alimentación animal, debido a su versatilidad y almacenaje, el cual es una de sus grandes ventajas durante su producción. Además, el maíz es uno de los granos más requeridos en el mundo. En el contexto alimentario, su alto contenido nutricional y sus cualidades alimenticias lo hacen favorable para la producción de proteína animal. Asimismo, debido a su bajo precio con respecto a otras materias primas agrícolas, tiene demanda tanto para personas como para animales (Govaerts et al., 2019).

En Colombia, el maíz se produce tanto de forma tradicional como en cultivos industrializados con alta tecnología, debido a la diversidad biológica, geográfica y en tipos de ganado (figura 1). No obstante, la forma de cultivo predominante es la tradicional y se practica en granjas, haciendas o pequeñas extensiones de tierra. Además, se emplean semillas no certificadas, cuyo rendimiento promedio a nivel nacional pasó de 1,6 ton/ha en el 2000 a 1,5 ton/ha en el 2010 (Grande Tovar y Orozco Colonia, 2013).

**Figura 1.** Diversidad del ganado colombiano



**Fuente:** elaboración propia.

Existe una variedad de conocimientos acerca de los diferentes sistemas de producción de este cultivo y sus usos, pues no solo se consume como harina, sino también como mazorca y, a nivel industrial, como grano y ensilaje. En la industria de la harina predomina el maíz blanco tanto para alimentación humana como animal. En cambio, en la industria de concentrados, se utiliza el maíz blanco o amarillo por igual, y el limitante es el precio.

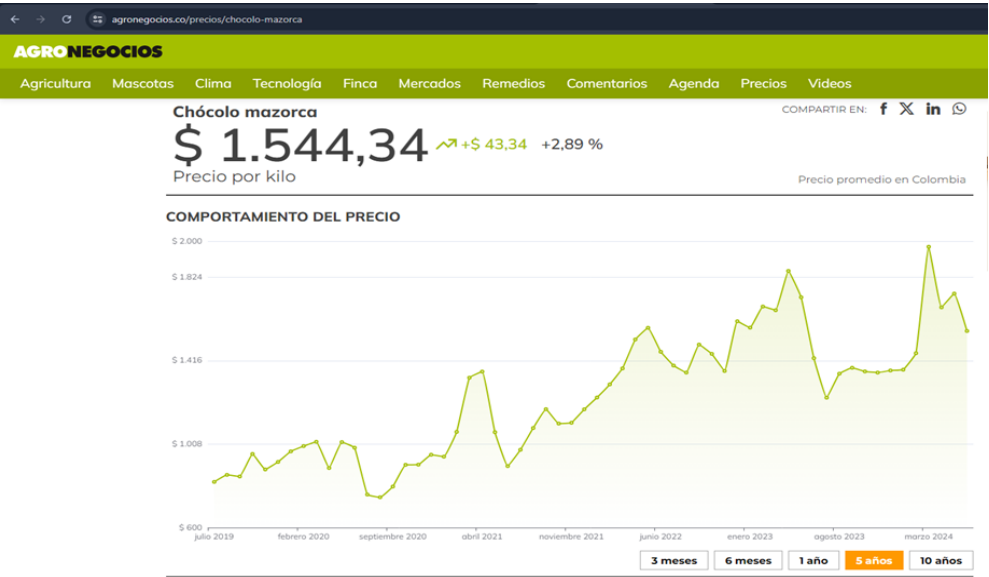
A nivel nacional, el maíz es uno de los alimentos más consumidos. Del total del maíz que se consume en Colombia, solo el 37 % se destina a usos industriales; fabricación de pegantes, almidones y cosméticos, entre otros. El 63 % restante se destina para consumo humano, especialmente para la fabricación de productos como arepas y

tamales, entre otros, que son la base de la cultura alimentaria de diferentes regiones y departamentos del país.

El maíz es considerado como el principal cultivo de ciclo corto. Este ocupa un 15 % del área agrícola, genera el 4 % de los empleos agrícolas y aporta aproximadamente un 3 % al Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario (Govaerts et al., 2019).

En la figura 2 se observa el precio comercial de la mazorca por kilo en Colombia durante los últimos 5 años. Se evidencian las distintas fluctuaciones del producto en el mercado y la estacionalidad del mismo según la época: invierno o verano.

Figura 2. Precio de la mazorca en los últimos 5 años



Fuente: Ministerio de Agricultura Agronet, 2017.

Según información de Agronet, para el 2017, en el departamento del Atlántico de la región Caribe se cultivaron alrededor de 2956 hectáreas, con una producción anual de 35 059 toneladas. Esto lo posicionó como el tercer departamento del país proveedor de maíz, representando el 13% de la producción nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Se propone un método como el ensilaje, debido a la necesidad de producción animal en épocas críticas y a la necesidad de venta de un producto de consumo animal, pues se busca la posibilidad de obtener un valor adicional del producto, ensilando y vendiendo la mazorca. Este conocimiento se viene desarrollando en la región Caribe, buscando un valor de oportunidad sumado a las condiciones para su elaboración y aprovechando las ventajas que se brindan para realizar este tipo de prácticas.

La principal necesidad de conservar forrajes es el hecho de poder suministrar alimento en aquellos meses en los que el crecimiento de los pastos es limitado debido a las estaciones del año. De esta manera, se puede proveer la misma cantidad de alimento durante todo el año y, a la vez, mantener los nutrientes en el forraje conservado (Torres, 2020).

La planta de maíz presenta diferencias en su composición, dependiendo de su estado de desarrollo y de las partes que componen la ración que se ofrece al animal. En la tabla 1 se observan las diferencias en proteína, fibras (FDN y FDA), lignina y porcentajes de composición de la planta. Para este estudio, se utilizó la misma materia prima con variación en la mazorca, lo que puede afectar la digestibilidad.

**Tabla 1.** Composición bromatológica de la planta de maíz

| Como porcentaje de materia seca |       |       |       |       |                         |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|
|                                 | PC    | DIVMS | FDN   | FDA   | Porcentaje de la planta |
| Ensilaje Caquetá                | 6,8   | 68,15 | 61,58 | 32,94 | 100                     |
| Tallos, 100 días                | 4,64  | 49,04 | 64,10 | 44,20 | 31,99                   |
| Hojas, 100 días                 | 12,34 | 63,29 | 62,06 | 40,42 | 43,52                   |
| Planta completa, 100 días       | 8,75  | 64,55 | 60,72 | 38,08 | 100                     |

**Fuente:** elaboración propia a partir de Bernal (1991).

En ese sentido, se plantea la hipótesis de que, al ensilar forraje de maíz sin mazorca y suplementarlo con una mayor adición de melaza, se podría suplir la pérdida de vender la mazorca. Por consiguiente, se busca conocer cuál es la calidad nutricional del ensilaje de maíz cuando se procesa con diferentes porcentajes de melaza. Asimismo, al cuantificar el rendimiento de biomasa (kg MS/ha) con y sin mazorca del cultivo evaluado, se busca determinar las características organolépticas en términos de color, olor, sabor y presencia de hongos del forraje ensilado. Por último, se busca valorar la calidad nutricional (MS, PC, FDN, FDA y DIVMS), antes y después de ensilar la planta, para evaluar con un análisis económico la viabilidad de venderla y su costo de oportunidad.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la región Caribe de Colombia, en el departamento del Atlántico, municipio de Galapa, vereda La 300. Allí se ubica la finca Miraflores, a una altitud de 83 msnm, con una temperatura promedio de 28 °C, una humedad de 88 %,

suelos franco arcillosos y una pluviosidad de 800 a 1000 ml/año, según la información del cuaderno de campo de la finca.

El proceso de siembra en el lote se realizó el 23 de abril del 2023. La densidad de siembra utilizada fue de 0,9 m entre surcos y se utilizó el método de siembra a chorrillo con semillas de maíz ICAV-508, esperando obtener por lo menos 10 plantas por metro lineal. La edad del cultivo en el momento de la cosecha fue de 166 días. El cultivo se cosechó por medio de una cosechadora de maíz de 1 surco.

Para el ensilaje, se utilizaron bolsas de calibre 6 de 60 cm de ancho por 80 cm de largo, donde se almacenaron dosis de 40 kg de forraje picado, como se observa en la figura 3. Además, se apisonó cada 20 cm y se retiró el aire mediante una aspiradora casera.

**Figura 3.** Ensilaje en bolsa



**Fuente:** elaboración propia.

El tamaño del picado fue de máximo 3 cm de largo, en pica pasto, como se observa en la figura 4. Adicionalmente, cada 10 a 15 cm se aplicó cada tratamiento de melaza para que quedara homogéneo dentro del silo.

**Figura 4.** Picado y llenado del silo de maíz



**Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a los costos asociados al cultivo, los costos de preparación del terreno, siembra y mantenimiento del cultivo de maíz en el lote se resumen en la tabla 2. Estos gastos corresponden a la totalidad del lote, que tiene un área de 3,2 ha.

**Tabla 2.** Costos del cultivo de maíz por hectárea

|                            | Cantidad | Valor unitario | Valor total  |
|----------------------------|----------|----------------|--------------|
| Cinzel vibratorio (horas)  | 17       | \$48 000       | \$816 000    |
| Gallinaza (ton)            | 1        | \$600 000      | \$600 000    |
| Rastrillo (horas)          | 20       | \$48 000       | \$960 000    |
| Arado vertedera (horas)    | 17       | \$48 000       | \$816 000    |
| Cal dolomita (bulto)       | 10       | \$29 500       | \$295 000    |
| Surcadora (horas)          | 4        | \$48 000       | \$192 000    |
| Semilla (kilos)            | 200      | \$3500         | \$700 000    |
| Urea (bulto)               | 5        | \$108 000      | \$540 000    |
| 0-46-0 (bulto)             | 8        | \$137 800      | \$1 102 400  |
| Jornales siembra           | 5        | \$36 000       | \$180 000    |
| Dual (litros)              | 4,5      | \$76 942       | \$346 239    |
| Matababosa (litros)        | 7        | \$23 443       | \$164 101    |
| Riego (horas)              | 2        | \$112 000      | \$224 000    |
| Surcadora aporque (horas)  | 7,5      | \$48 000       | \$360 000    |
| Urea (bulto)               | 5        | \$108 000      | \$540 000    |
| Nitrato de potasio (bulto) | 5        | \$158 000      | \$790 000    |
| Curacron (litros)          | 3        | \$168 723      | \$506 169    |
| Jornales aporque           | 28       | \$36 000       | \$1 008 000  |
| Costo total (3,2 ha)       |          |                | \$10 139 909 |
| Costo por metro cuadrado   |          |                | \$316,87     |

**Fuente:** elaboración propia.

Para determinar los costos de la cosecha, se tiene en cuenta la cantidad que se puede cosechar en un jornal de trabajo y los materiales, como bolsas y melaza. En la tabla 3 se observan los costos correspondientes al estudio.

Tabla 3. Costos de la cosecha de maíz

|                      | Cantidad | Valor unitario | Producido por kilo | Valor total por kilo |
|----------------------|----------|----------------|--------------------|----------------------|
| Jornal               | 1        | \$40 000       | 1000               | \$40                 |
| Bolsa                | 1        | \$600          | 40                 | \$15                 |
| Melaza               | 1        | \$30 000       | 500                | \$60                 |
| Sacos                | 1        | \$1000         | 50                 | \$20                 |
| Costo total por kilo |          |                |                    | \$135                |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 se observan los costos totales tanto de la siembra como de la cosecha del cultivo. Para poder determinar el mejor tratamiento, se determinó el costo por kilogramo, a fin de poder unificar las distintas variables a medir en el estudio, unificar criterios y mostrar los resultados de una manera más clara a los campesinos de la región.

Tabla 4. Costos totales de siembra y de cosecha del cultivo

|                  | Aforo kg/m² | Producción por m² | Producción por kg | Precio por kg |
|------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Costo de siembra | 6           | \$316             |                   | \$52,66       |
| Costo de cosecha |             |                   | \$135             | \$135         |
| Costo total      |             |                   |                   | \$187,66      |

Fuente: elaboración propia.

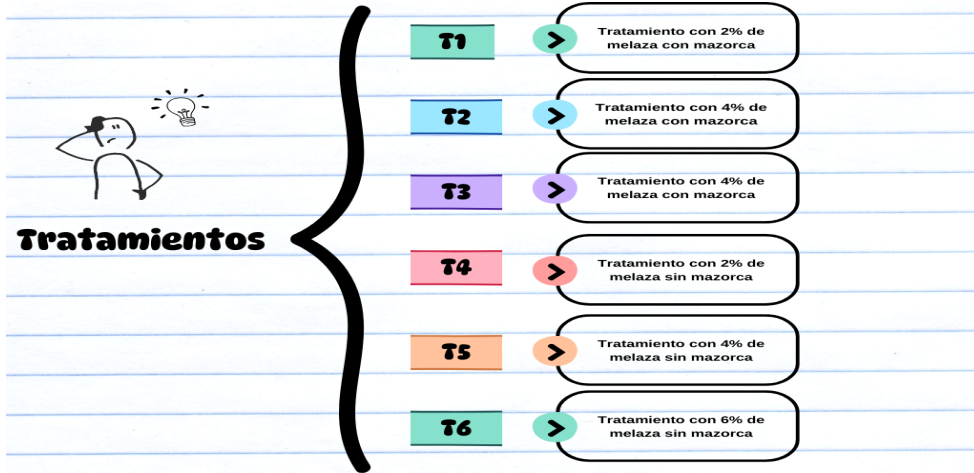
## Medición de variables nutricionales

Se realizó un estudio bromatológico para evaluar la calidad nutricional (MS, PC, FDN y FDA) según el método de Van Soest adaptado por el Laboratorio de Nutrición Animal de Corpoica Tibaitatá. Esto se hizo en busca de una estandarización del método analítico de Van Soest para el análisis bromatológico de concentrados para consumo bovino bajo las condiciones del laboratorio (Gutiérrez y Rodríguez, 2017).

## Enfoque y diseño experimental

El enfoque de la investigación es cuantitativo. Se empleó un arreglo factorial de 2x3 para los 6 tratamientos, como se observa en la figura 5. Cada tratamiento se realizó en una bolsa individual y tuvo 3 repeticiones en bolsas independientes.

Figura 5. Tratamientos empleados en el estudio



Fuente: elaboración propia.

Las variables cuantitativas se analizaron mediante estadísticas descriptivas: promedios y desviaciones. Para esto, se usaron pruebas de comparación en el *software* de análisis estadístico SAS, desarrollado por SAS Institute en la Universidad Estatal de Carolina del Norte. El modelo empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_j + B_k + C_l + (AB)_{jk} + (AC)_{jl} + (BC)_{kl} + (ABC)_{jkl} + E_{ijkl}$$

$Y_{ijkl}$ : valor observado de la variable dependiente (respuesta) para la combinación de niveles  $i, j, k, l$  de los factores

$\mu$ : media general

$A_j$ : efecto del nivel  $J$ -ésimo de  $A$

$B_k$ : efecto del nivel  $K$ -ésimo de  $B$

$C_l$ : efecto del nivel  $L$ -ésimo de  $C$

$E_{ijkl}$ : error aleatorio

Resultados

Según Mónaco et al. (2015), para aplicar esta metodología al inicio del muestreo, se recorre el área completa a estudiar, definiendo condiciones dentro de la totalidad del sitio de muestreo. Se determinaron zonas con volúmenes máximos, mínimos e intermedios de forrajimasa mediante aforos, usando marcos de 1 metro cuadrado. Se hizo un transepto en x, adentrándose 10 metros al interior del cultivo en cada esquina para, así, tomar muestras que se consideraron representativas (de 8 a 10 marcos/ha). Estas se colectaron a una altura de 10 cm del suelo y se obtuvo un rendimiento promedio de 6000 g de forraje verde/m<sup>2</sup> (60 ton/ha). Se estimó una densidad de siembra de 8 plantas/m<sup>2</sup> a partir de una distancia de 25 cm entre plantas y de 90 cm entre surcos, en los que se cosecharon 6100,15 ton.

El momento indicado para ensilar es cuando está en etapa de grano a 2/3 de masa y 1/3 de leche, o cuando el contenido de humedad de la planta es del 70 %, lo cual se presenta entre 110 y 130 días después de la siembra según el ciclo vegetativo de la variedad utilizada (precoz, intermedia o tardía). La realización del corte para ensilar antes o después de esta etapa genera problemas durante el ensilado, ya que disminuye la calidad del silo. De hecho, actualmente, existe maíz molido al que se le adicionan nutrientes para la alimentación integral del ganado (Izquierdo Bonilla, 2012).

En la tabla 5 se presentan los resultados del aforo para el lote de 3,2 ha, donde su producción promedio es de 7650 gramos. El tallo tiene la mayor proporción con el 57 %, seguido por la mazorca con el 25 % y las hojas con el 17 %.

| Tabla 5. Resultados del aforo |                      |                 |               |              |               |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| Número de marcos              | Número de plantas/m2 | PV mazorca g/m2 | PV tallo g/m2 | PV hoja g/m2 | PV total g/m2 |
| 1                             | 6                    | 2900            | 7400          | 1400         | 11 700        |
| 2                             | 3                    | 4000            | 7250          | 800          | 12 050        |
| 3                             | 9                    | 1200            | 1200          | 1350         | 3750          |
| 4                             | 5                    | 3500            | 7200          | 1400         | 12 100        |
| 5                             | 7                    | 1400            | 1450          | 1100         | 3950          |
| 6                             | 13                   | 950             | 1800          | 1750         | 4500          |
| 7                             | 11                   | 1000            | 6550          | 1450         | 9000          |
| 8                             | 12                   | 850             | 1500          | 1000         | 3350          |
| 9                             | 5                    | 2600            | 8500          | 1150         | 12 250        |
| 10                            | 10                   | 1000            | 950           | 1900         | 3850          |
| Promedio                      | 8                    | 1940            | 4380          | 1330         | 7650          |
| Porcentaje                    |                      | 25,4            | 57,3          | 17,4         | 100           |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 6 se presentan los resultados bromatológicos del estudio. Al correr las variables, el sistema muestra los siguientes resultados significativos. Para la materia seca (MS), se observa una tendencia al aumento cuando disminuyen los porcentajes de melaza, lo que indica una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de inclusión de melaza y la materia seca; en cambio, no se observa alguna variación o influencia con o sin mazorca dentro del cultivo. Para la proteína cruda (PC), se observa una diferencia entre los ensilajes con y sin mazorca: con mazorca, los valores son mayores y, entre más melaza hay en el silo, menor cantidad de proteína hay dentro de este. Para la fibra detergente neutra (FDN), se encuentran valores mayores en los tratamientos sin mazorca y estos valores tienden a aumentar cuando aumentan los porcentajes de inclusión de melaza. Para la fibra detergente ácida (FDA), se encuentran valores mayores en los tratamientos sin mazorca y estos valores tienden a aumentar cuando aumentan los porcentajes de inclusión de melaza. Para la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), se encuentran valores mayores en los tratamientos con mazorca y estos valores tienden a disminuir cuando aumentan los porcentajes de inclusión de melaza.

Tabla 6. Resultados de análisis bromatológico

| Tratamientos |         | Como porcentaje de materia seca |      |       |       |       |
|--------------|---------|---------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Concepto     | Melaza  | MS                              | PC   | FDN   | FDA   | DIVMS |
| Con mazorca  | T1: 2 % | 22,51                           | 9,61 | 50,33 | 27,92 | 74,62 |
|              | T2: 4 % | 20,27                           | 8,43 | 52,66 | 28,34 | 73,24 |
|              | T3: 6 % | 19,24                           | 7,42 | 54,06 | 29,55 | 71,35 |
| Sin mazorca  | T4: 2 % | 22,26                           | 6,27 | 57,66 | 31,92 | 69,53 |
|              | T5: 4 % | 21,02                           | 5,17 | 58,12 | 32,44 | 67,75 |
|              | T6: 6 % | 19,34                           | 4,64 | 60,03 | 35,43 | 62,55 |

Fuente: elaboración propia.

Los costos se clasifican en directos e indirectos. Se analizaron los costos de producción, entendidos como aquellos que representan todos los gastos incurridos o pendientes hasta que el producto esté listo para la finalidad a la que se destina. En este caso, los costos de producción del cultivo engloban los precios que se deben pagar por los insumos y la mano de obra. Para el presente diagnóstico, no se consideraron los costos de inversión, ya que las actividades estaban en operación y los activos requeridos ya formaban parte de las acciones. Cabe mencionar que fue preciso analizar los costos unitarios de los productos, dado que es común que, en las ferias agrícolas, los precios se establezcan en unidades para su venta como se observa en la tabla 7 (Arce Quesada, 2020).

Tabla 7. Utilidades de los tratamientos (miles por m²)

|                           | PV mazorca | PV tallo + hoja | PV total |
|---------------------------|------------|-----------------|----------|
| Porcentaje                | 25,40 %    | 74,60 %         | 100 %    |
| Producción por kg/m²      | 1,94       | 5,71            | 7,65     |
| Gasto por metro cuadrado  | \$316,87   | \$317           | \$317    |
| Precio de venta por kilo  | \$1544     | \$1000          | \$1000   |
| Precio de venta por kg/m² | \$2996     | \$5,710         | \$7650   |
| Precio por tratamiento    |            | \$8,706         | \$7650   |
| Utilidad                  |            | \$8,389         | \$7,333  |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con Celi Carrión et al. (2023), el costo total de la producción está constituido por la suma de los costos de siembra y las labores culturales y de cosecha; mientras que el ingreso total está dado por el precio del mercado del cultivo y el rendimiento del cultivo.

Costo total:  $CT = Px \cdot x$

Ingreso total:  $IT = Py \cdot y$

Beneficio o utilidad:  $IT - CT$

Margen de utilidad:  $\text{beneficio o utilidad} \cdot 100$

Ingreso total

## Conclusiones

En conclusión, se puede afirmar que las diferencias entre materia seca (MS) son de 3 % aproximadamente y que se obtuvo un mayor porcentaje en los tratamientos con menor inclusión de melaza. Esto confirma que, a mayor porcentaje de inclusión de melaza, se obtiene un menor valor de MS. Sin embargo, se podría explorar la posibilidad de reducir la concentración de melaza.

En cuanto a la proteína, se observa una mayor cantidad de esta en los tratamientos con mazorca que sin esta, aunque la diferencia entre tratamientos no es tan grande, pues no supera el 3 %, como era de esperarse. Los tratamientos con mayor inclusión de melaza tienen un menor porcentaje de proteína. Esto demuestra que, al no tener mazorca, no implica que no contenga un nivel de proteína aceptable para el consumo bovino.

En las fibras, los tratamientos con mazorca tienen una mejor calidad que aquellos sin esta, aunque la diferencia no es tan grande para que pueda afectar sustancialmente una decisión. Se observa un aumento de fibra en los tratamientos con mayor inclusión

de melaza y en los tratamientos sin mazorca, aunque no es tan significativo como para pensar en vender la mazorca y obtener un mejor resultado económico para los productores, una práctica cultural desarrollada en Colombia.

## Recomendaciones

En el estudio se identificó que es más rentable vender la mazorca y con el costo de oportunidad del cultivo pensar en comprar otra fuente que suplemente la dieta animal, o simplemente tener un ensilaje a más bajo costo para el ganado, sobre todo en épocas críticas del clima, la mayor limitante del campo asociada al cambio climático.

En ese sentido, se debería explorar la posibilidad de vender la mazorca en el ensilaje de maíz para obtener un costo de oportunidad y reducir los gastos de producción de ensilaje para consumo bovino, así como considerar suplementar la proteína de la dieta animal con las ganancias de la venta de mazorca. En países como Colombia, el consumo de mazorca verde es abundante y el mercado para este tipo de producto es amplio, lo que ayudaría a reducir los costos de producción, siendo una alternativa viable para implementar en la región Caribe.

## Referencias

- Arce Quesada, S. E. (2020). Análisis comparativo de precios y costos de producción de hortalizas cultivadas de manera orgánica y convencional. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 81-108. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43091>
- Bernal, J. (1991). *Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo* (2.<sup>a</sup> ed.). Banco Ganadero.
- Celi Carrión, F., Pineda Arévalo, D. y Cobos Suárez, C. N. (2023). Relación costo – beneficio de la producción de maíz duro de los cantones Celica, Pindal y Zapotillo, provincia de Loja. *Opuntia Brava*, 15(4), 231-241. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1983>
- Govaerts, B., Vega, D., Chávez, X., Narro, L., San Vicente, F. M., Palacios, N., Pérez, M., González, G., Ortega, P., Carvajal, A., Arcos, A. L., Bolaños, J., Romero, N., Bolaños, J., Vanegas, Y. F., Echeverría, R., Jarvis, A., Jiménez, D., Ramírez-Villegas, J., ... Aguilar, D. (2019). *Maíz para Colombia. Visión 2030*. CIAT / CIMMYT. <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2021/10/Maiz-para-Colombia.pdf>
- Grande Tovar, C. D. y Orozco Colonia, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110. <https://doi.org/10.21500/22563202.604>

- Gutiérrez Cruz, D. L. y Rodríguez Walteros, Y. A. (2017). *Estandarización de análisis bromatológico de concentrado para bovinos por el método de Van Soest* [trabajo de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/2679>
- Izquierdo Bonilla, R. A. (2012). *Evaluación del cultivo de maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe-Ecuador* [tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1832/15/UPS-YT00102.pdf>
- Ministerio de Agricultura, (2017), Agronet, <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Boletín Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2019-2021*. [https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva\\_2019.aspx](https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2019.aspx)
- Mónaco, N., Rosa, M. J., Santa, V., Autrán, V. y Heguiabehere, A. (2015). Utilización de estimadores para determinación de biomasa a campo. *European Scientific Journal*, 11(33), 296-310. <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6653>
- Torres Posadas, J. H. (2020). *Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura* [trabajo de grado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5940d5b8-7722-4a5e-af12-c9930785df3d/content>



## Capítulo 5.

# Huertas escolares para la sostenibilidad: integración de prácticas agroecológicas en la educación

**María Fernanda Domínguez Amoroch**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8216-6025>

## Resumen

El manejo de huertas escolares ofrece una oportunidad única para integrar la educación ambiental con la práctica agrícola sostenible. Este enfoque no solo enriquece el currículo escolar, sino que también promueve valores de sostenibilidad, responsabilidad y conexión con la naturaleza en los estudiantes. Por tanto, se abordará cómo las huertas escolares pueden ser una herramienta eficaz para la enseñanza interdisciplinaria y servir como un modelo de producción sostenible en las comunidades. En ese sentido, se tienen como objetivos demostrar la importancia educativa de las huertas escolares para el fomento de las vocaciones científicas, promover prácticas agrícolas sostenibles que respeten el medio ambiente y fomenten la biodiversidad, y fomentar la participación comunitaria.

Con base en lo anterior, se desarrollaron 5 etapas de trabajo, que contemplan la definición del área más recomendable para establecer la huerta, las actividades para el seguimiento de las huertas, el manejo de plagas, la siembra de las especies vegetales y la socialización de resultados. Se logró la aprehensión de conocimientos en los estudiantes participantes en un 92 % en la siembra y trabajo colaborativo de 8 especies vegetales de hortalizas y aromáticas. El desarrollo de huertas urbanas escolares en la comunidad trabajada contribuyó a aumentar el conocimiento y la conciencia sobre la importancia de las huertas escolares en la educación y la sostenibilidad; además, se ge-

neraron espacios de capacitación de los participantes en prácticas agrícolas sostenibles y gestión de huertas escolares, y se fortaleció el trabajo colaborativo en la comunidad educativa para su mantenimiento.

**Palabras clave:** sostenibilidad, manejo agrícola, gestión ambiental, impacto social comunitario

## Abstract

School vegetable garden management offers a unique opportunity to integrate environmental education with sustainable agricultural practice. This approach not only enriches the school curriculum, but also promotes values of sustainability, responsibility and connection with nature in students. Therefore, the project will address how school vegetable gardens can be an effective tool for interdisciplinary teaching and serve as a model for sustainable production in communities. In this sense, the objectives are to demonstrate the educational importance of school vegetable gardens for the promotion of scientific vocations, to promote sustainable agricultural practices that respect the environment and promote biodiversity, and to encourage community participation.

Based on the above, 5 work stages were developed, including the definition of the most suitable area to establish the vegetable garden, activities for monitoring the gardens, pest control, planting the species and socialisation of results. 92% of the participating students' knowledge was acquired through sowing and collaborative work of 8 vegetable and aromatic plant species. The development of urban school vegetable gardens in the community contributed to increase knowledge and awareness of the importance of school vegetable gardens for education and sustainability; in addition, training spaces were created for participants in sustainable agricultural practices and school vegetable gardens management, and collaborative work was strengthened in the educational community for their maintenance.

**Keywords:** sustainability, agricultural management, environmental management, community social impact

## Introducción

El manejo de huertas escolares se presenta como una herramienta educativa innovadora y un modelo práctico de producción sostenible. A través de la creación y mantenimiento de huertas en las escuelas, se promueve un aprendizaje interdisciplinario que integra conocimientos de ciencias naturales, matemáticas, estudios sociales y salud. Además, las huertas escolares ofrecen un enfoque práctico para enseñar principios de sostenibilidad, fortaleciendo la conexión de los estudiantes con la naturaleza y fomentando una cultura de responsabilidad ambiental (Armienta Moreno et al., 2019).

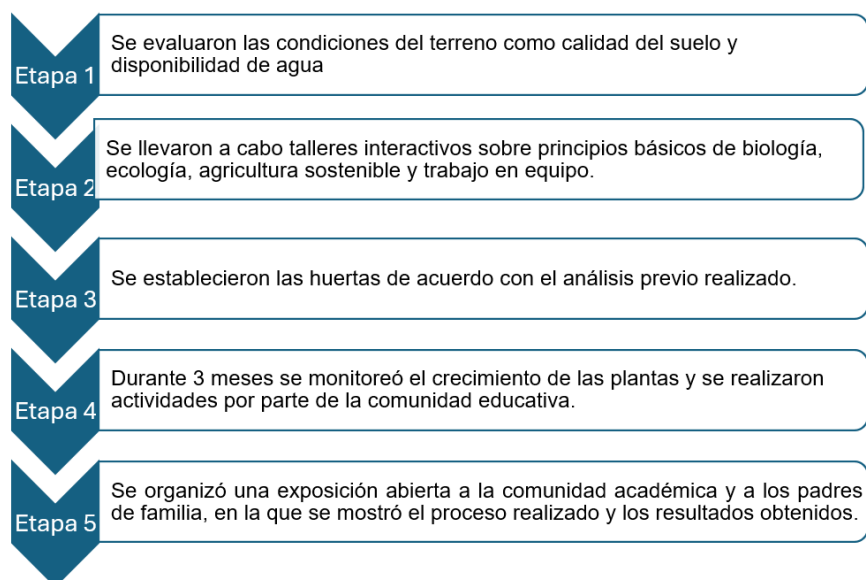
Las huertas escolares permiten una integración efectiva de diversas materias del currículo escolar. En ciencias naturales, los estudiantes pueden aprender sobre botánica, ecología, biología del suelo y ciclo de nutrientes. En matemáticas, pueden aplicar conceptos de medición, geometría y estadística al diseñar la huerta y analizar los resultados de sus cultivos. En estudios sociales, pueden explorar temas de agricultura local, economía y cultura alimentaria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009).

Asimismo, las huertas escolares son un excelente modelo para enseñar y practicar la agricultura sostenible. En estas se promueve el uso de técnicas como el compostaje, la rotación de cultivos y el control biológico de plagas, que son fundamentales para mantener la salud del suelo y reducir el impacto ambiental de la producción agrícola.

## Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se definieron 5 etapas de trabajo como se observa en la figura 1, en las cuales se tuvieron en cuenta aspectos como definición del área a sembrar, especies vegetales óptimas para el espacio, capacitaciones didácticas, manejo y monitoreo del área intervenida, y socialización de resultados y experiencias resultantes del proceso.

Figura 1. Metodología utilizada en el proyecto



**Fuente:** elaboración propia.

## Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto en cada una de las etapas presentadas en la figura anterior.

En la etapa 1 se identificaron los lugares óptimos para el establecimiento de la huerta escolar, teniendo en cuenta que la institución educativa en la que se desarrolló el proyecto cuenta con una variedad de espacios posibles. Se identificaron dos lugares: uno para la siembra de hortalizas y otro para plantas aromáticas. Ambos son cercanos a las aulas de clase de los estudiantes participantes y cuentan con buenas condiciones de radiación solar para su crecimiento y con estructuras para la mitigación de plagas y enfermedades durante su crecimiento. En estas áreas se sembraron 5 especies de hortalizas: brócoli, espinaca, lechuga, tomate y cebolla, y 3 especies de plantas aromáticas: menta, albahaca y yerbabuena.

Después de definir el espacio en el que se crearía la huerta, en la etapa 2 se llevaron a cabo talleres interactivos para 120 estudiantes. El 90 % de los participantes manifestó haber comprendido las temáticas abordadas. Cabe resaltar que la implementación de estrategias didácticas era un factor muy importante debido a la población con la

que se trabajó, de modo que se pudieran adaptar conceptos clave de cuidado para los estudiantes de preescolar y el desarrollo de la huerta se llevara de la mejor manera.

A partir de los talleres de apropiación de las temáticas por parte de los estudiantes participantes, en la etapa 3, durante una jornada de trabajo entre los capacitadores y los participantes, se plantaron las 8 especies de hortalizas y aromáticas, explicando la manera de sembrar, los cuidados postsiembra y el mantenimiento adecuado. En esta etapa, cada especie vegetal se asignó a uno de los grupos de trabajo de 15 estudiantes para que cada grupo revisara las generalidades de la especie y la evolución de su crecimiento.

En la etapa 4 se realizó seguimiento durante 3 meses por medio de visitas de inspección independientes, cada 8 días y cada 15 días con los capacitadores. Esto se realizó con el fin de corroborar los procesos de seguimiento, así como el óptimo proceso de desarrollo y manejo y control de plagas.

Finalmente, en la etapa 5, correspondiente a la socialización de resultados, se organizó una feria educativa, en la que se mostró de manera interactiva una exposición con los productos obtenidos y su aporte a la soberanía alimentaria y los procesos de desarrollo sostenible. En esta etapa se dio a conocer que el 85 % de las especies cultivadas terminó el proceso exitosamente y que se logró una participación activa de la comunidad académica en un 95 %, teniendo en cuenta las actividades de manejo de la huerta y las capacitaciones realizadas; además, se demostró un aprendizaje en los procesos de siembra y manejo de las especies del 92 %.

## Análisis y conclusiones

A partir de lo anterior, es importante reconocer que el compostaje es una práctica esencial en las huertas escolares, donde los residuos orgánicos, como restos de vegetales y hojas, se transforman en abono natural. Este proceso no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que también reduce la cantidad de residuos sólidos que terminan en los vertederos, contribuyendo a un manejo más sostenible de los recursos (Román et al., 2013).

El uso de métodos naturales para controlar plagas, como la introducción de insectos beneficiosos o la plantación de especies repelentes, es otra práctica sostenible que se puede implementar en las huertas escolares. Esto reduce la necesidad de pesticidas químicos, protegiendo tanto la salud de los estudiantes como la del medio ambiente.

La rotación de cultivos es una técnica que previene el agotamiento de nutrientes del suelo y reduce la incidencia de enfermedades y plagas específicas. Enseñar a los estudiantes sobre la importancia de la rotación de cultivos y cómo planificarla puede tener un impacto duradero en su comprensión de la agricultura sostenible.

Las huertas escolares pueden extender su impacto más allá del ámbito educativo, involucrando a la comunidad en general. Padres, maestros y vecinos pueden participar en el mantenimiento de la huerta y en actividades comunitarias relacionadas con la agricultura sostenible. Esto fortalece los lazos comunitarios y fomenta una cultura de sostenibilidad en la región (Armienta Moreno et al., 2019).

En muchas comunidades, las huertas escolares pueden contribuir a mejorar la seguridad alimentaria al proporcionar acceso a alimentos frescos y nutritivos. La producción local de alimentos reduce la dependencia de fuentes externas y puede ofrecer un suplemento importante a las dietas de los estudiantes y sus familias (Maza-Ávila et al., 2022).

Asimismo, como un resultado parcial, se afianzó la educación ambiental. Por medio de esta, los estudiantes adquirieron conocimientos prácticos sobre agricultura sostenible, desarrollaron una mayor conciencia ambiental e identificaron cómo se producen alimentos frescos y saludables para el consumo en la comunidad escolar.

Como resultado adicional, se espera que la participación en el proyecto refuerce los lazos comunitarios y fomente una cultura de sostenibilidad en el entorno rural. De igual manera, se espera que el proyecto se convierta en un modelo replicable en otras instituciones educativas interesadas en la producción sostenible.

La creación de huertas escolares puede inspirar proyectos similares en otras instituciones y comunidades. Al demostrar los beneficios educativos y ambientales de la agricultura sostenible, las escuelas pueden convertirse en modelos a seguir, promoviendo prácticas sostenibles en toda la comunidad.

El manejo de huertas escolares como método de enseñanza y modelo de producción sostenible ofrece numerosos beneficios educativos, ambientales y comunitarios. Al integrar la educación ambiental y la agricultura sostenible en el currículo escolar, se prepara a las futuras generaciones para enfrentar los desafíos ambientales y nutricionales de manera responsable y creativa. Además, al involucrar a la comunidad, las huertas escolares pueden convertirse en un motor de cambio hacia prácticas más sostenibles y saludables (Moncada Arias, 2017).

## Referencias

- Armienta Moreno, D. E., Keck, C., Ferguson, B. G. y Saldívar Moreno, A. (2019). Huertos escolares como espacios para el cultivo de relaciones. *Innovación Educativa*, 19(80), 161-178. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-26732019000200161&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732019000200161&lng=es&tlng=es)
- Maza-Ávila, F. J., Caneda-Bermejo, M. C. y Vivas-Castillo, A. C. (2022). Hábitos alimenticios y sus efectos en la salud de los estudiantes universitarios. Una revisión sistemática de la literatura. *Psicogente*, 25(47), 1-31. <https://doi.org/10.17081/psico.25.47.4861>
- Moncada Arias, S. (2017). *La huerta escolar agroecológica como ambiente de aprendizaje colaborativo en el Colegio Monseñor Ramón Arcila del Carmen de Viboral* [trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/23229/1/MoncadaSantiago\\_2017\\_HuertaAprendizajeColegio.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/23229/1/MoncadaSantiago_2017_HuertaAprendizajeColegio.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *El huerto escolar como recurso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas del currículo de educación básica*. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/21877-061e61334701c700e-0f53684791ad06ed.pdf>
- Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/86a00877-877d-4fa7-8608-32071e1464d8/content>





## Capítulo 6.

# Diseño de un sistema hidropónico de precisión automatizado orientado a la seguridad alimentaria de las familias

**Alberto Roldán Niño**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro de Atención al Sector Agropecuario, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4714-8957>

**Binsen Esteban Ríos Restrepo**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Tecnoacademia, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4866-0169>

**César Osorio Betancurt**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro de Comercio y Servicios, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0965-2033>

**Eroel Arcángel Correa Marín**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Tecnoacademia, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7104-1622>

**Manuel Pinzón Candelario**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro de Comercio y Servicios, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9594-0905>

**Samuel López Gómez**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Centro de Comercio y Servicios, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0442-5320>

**Sebastián Hoyos**

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)  
Tecnoacademia, Regional Risaralda  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4875-2991>

**Fanny Pinzón Candelario**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-2971>

## Resumen

El presente proyecto se centra en el diseño e implementación de un sistema hidropónico automatizado para la producción de hortalizas en entornos urbanos. Su propósito es mejorar la seguridad alimentaria y generar ingresos adicionales para las familias. Se realizaron simulaciones en SolidWorks que muestran deformaciones unitarias en la estructura, indicando cambios físicos en sus dimensiones. Estas deformaciones pueden ser elásticas o plásticas, dependiendo de la carga aplicada. Se espera que el sistema diseñado tenga una capacidad de producción estimada de 132 kg de hortalizas al mes. Esta cantidad es suficiente para cubrir las necesidades de una familia de 3 personas y generar excedentes para la venta, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al ingreso familiar.

La implementación de tecnologías IoT y automatización promete un uso más eficiente del agua y los nutrientes, lo cual se alinea con los objetivos de sostenibilidad del proyecto. Además, este representa un avance significativo en la aplicación de agricultura de precisión en entornos urbanos, ofreciendo un modelo potencialmente replicable en otros contextos. Por otro lado, se recomienda reforzar las áreas de alta tensión en la estructura, considerando posiblemente materiales alternativos o diseños modificados. Al finalizar, el módulo hidropónico contará con 4 pisos, una altura de 2,8 metros, un largo de 2,2 metros y un ancho de 1 metro.

**Palabras clave:** hidroponía, agricultura de precisión, seguridad alimentaria, internet de las cosas (IoT), inclusión social

## Abstract

This project focuses on the design and implementation of an automated hydroponic system for vegetable production in urban environments. The aim is to improve food security and generate additional income for families. Simulations were carried out in SolidWorks showing unit deformations in the structure, indicating physical changes in its dimensions. These deformations can be either elastic or plastic, depending on the applied load. The designed system is expected to have an estimated production capacity of 132 kg of vegetables per month. This quantity is sufficient to cover the needs of a family of 3 people and generate a surplus for sale, thereby contributing to food security and family income.

The implementation of IoT technologies and automation promises more efficient use of water and nutrients, which aligns with the project's sustainability objectives. Furthermore, this represents a significant advance in the application of precision agriculture in urban environments, offering a potentially replicable model in other contexts. On the other hand, it is recommended to reinforce high stress areas in the structure, possibly considering alternative materials or modified designs. Upon completion, the hydroponic module will have 4 floors, a height of 2.8 metres, a length of 2.2 metres and a width of 1 metre.

**Keywords:** hydroponics, precision agriculture, food security, Internet of Things (IoT), social inclusion

## Introducción

En pleno siglo XXI, la agricultura se encuentra en una encrucijada, enfrentando desafíos como el cambio climático y la urbanización acelerada. Estos factores amenazan la seguridad alimentaria y exigen soluciones tanto innovadoras como sostenibles. Según información relacionada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), cerca de 690 millones de personas en el mundo padecen hambre (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2020).

En Colombia, la Encuesta Nacional de Situación Nutricional (ENSIN) indica que la mayoría de los hogares sufre de desnutrición y algunos de obesidad, con una prevalencia significativa de inseguridad alimentaria moderada o grave (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF] et al., 2015). Al respecto, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 hace énfasis en la producción para la vida como eje fundamental para asegurar la nutrición de la población, así como en el impulso a la economía popular de las familias vulnerables (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2023).

En este contexto, la hidroponía surge como una respuesta prometedora a estos desafíos, con un método de cultivo eficiente que reduce significativamente la necesidad de tierra y agua en comparación con la agricultura tradicional. Su adaptabilidad a entornos controlados la hace ideal para zonas urbanas y regiones con suelos menos fértiles.

En particular, este proyecto busca diseñar un prototipo de un sistema hidropónico que automatice el uso de agua y luz en un cultivo. Para esto, se adoptará un enfoque metodológico que incluye el diseño ingenieril del sistema hidropónico y pruebas experimentales. Posteriormente, se plantea como otra fase del proyecto evaluar la viabilidad económica de la implementación de sistemas hidropónicos en zonas urbanas.

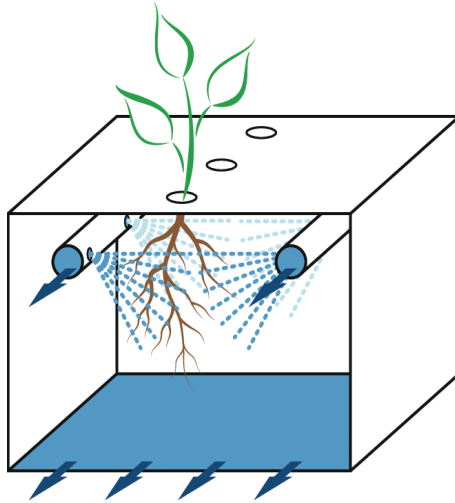
## Diseño del sistema hidropónico

Un cultivo hidropónico es un modelo de cultivo sin suelo, donde se producen plantas herbáceas, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. Los nutrientes son aportados por una solución acuosa para que las plantas puedan desarrollarse. La tecnología permitió la introducción de los avances de la informática para el control y ejecución de actividades, lo cual ha permitido que la automatización del cultivo hidropónico sea una realidad.

## ¿Qué sistema es el más adecuado?

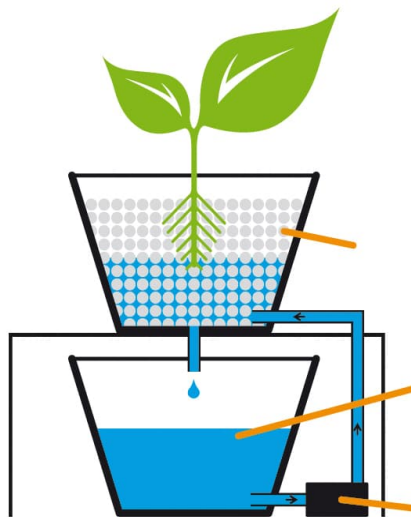
Existen diferentes sistemas de cultivos sin utilizar suelo. Estos se pueden clasificar según el medio en el que crecen las raíces de las plantas. Entre los más comunes, se encuentran la aeroponía y la hidroponía: cultivos en aire (figura 1) y cultivos en agua (figura 2, figura 3 y figura 4), respectivamente.

**Figura 1.** Cultivos en aire



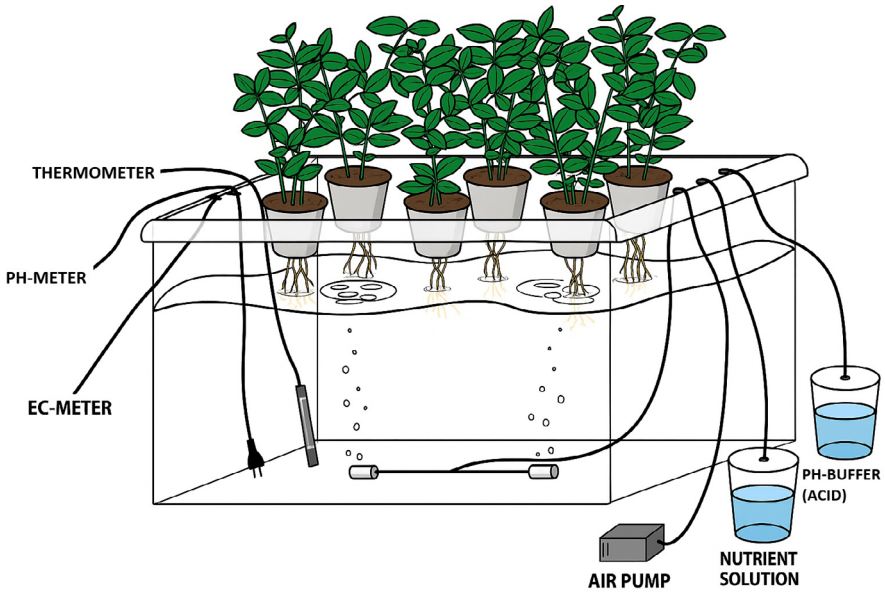
**Fuente:** Rajendran et al. (2024).

**Figura 2.** Cultivos en sustratos



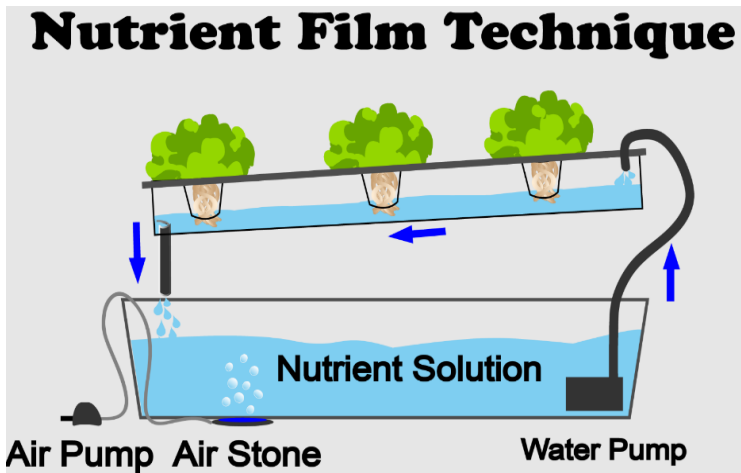
**Fuente:** Mecha et al. (2024).

Figura 3. Balsa flotante



Fuente: Ortner y Ågren (2019).

Figura 4. Cultivos en agua con Nutrient Film Technique (NFT)



Fuente: Rajendran et al. (2024).

Para este proyecto, se utilizará el sistema de balsa flotante debido a “las ventajas en densidad de producción, facilidad de técnica y control” (Mishra y Jain, 2015, p. 6936). Antes de continuar, es importante definir qué es la horticultura y qué es una hortaliza. Según la Real Academia Española (RAE, s. f.), la horticultura es un conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de los huertos y de las huertas; una hortaliza es una

planta comestible que se cultiva en las huertas. Las hortalizas poseen diferentes vitaminas y minerales, y se pueden clasificar en distintos tipos de acuerdo a su parte comestible.

## Automatización

En la actualidad, la automatización de los cultivos hidropónicos es importante para maximizar su producción. La automatización consiste en el diseño e implementación de sistemas, como sensores, actuadores y elementos con capacidad de proceso, para lograr el funcionamiento desatendido o semidesatendido de un proceso industrial de producción. De igual manera, es importante medir y controlar los procesos para la toma de decisiones y la interactividad con el usuario. En esta última, se aplica el internet de las cosas (IoT), que es una herramienta de gran utilidad.

Para este proyecto, se propone automatizar la medición de la temperatura, la humedad, la luz complementaria de crecimiento, las válvulas solenoides, los sensores de nivel de agua y una bomba sumergible. Estos componentes permiten controlar y monitorear condiciones ambientales óptimas para el cultivo de plantas sin suelo, maximizando su eficiencia y facilitando la gestión agrícola.

## Descripción del hardware

### 1. Bomba de agua sumergible JQP-3500 (3500 l/h):

- Capacidad: 3500 litros por hora
- Altura máxima de elevación: 3,6 metros

### 2. Sensores de temperatura y humedad SHT20:

- Funcionan a 3,3 V o 5 V y se comunican mediante I2C.

### 3. Medidores de luz ambiente:

- Miden la intensidad lumínica en luxes.
- Son impermeables y se integran al sistema a través de I2C.

### 4. Válvulas solenoides:

- Operan a 12 V y 1 A, y se utilizan para controlar el flujo de agua en el sistema.

### 5. Sensores de nivel de agua:

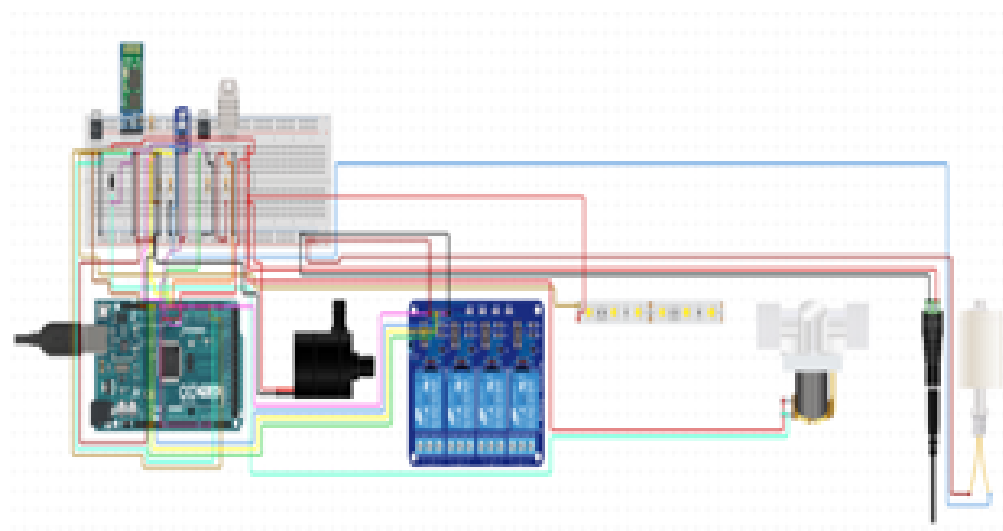
- Detectan el nivel de agua en los cajones con las bandejas.
- Tienen una capacidad máxima de conmutación de 10 W.
- Pueden manejar hasta 100 V DC y 0,5 A.

### 6. Complementos y accesorios:

- Relés o módulos de relé para controlar las válvulas solenoides.
- Fuente de alimentación de 12 V para la bomba y las válvulas.
- Cables y conectores para las conexiones eléctricas.
- *Protoboard*

En la figura 5 se ilustra la configuración para un solo piso del módulo, el cual está diseñado para alcanzar 4 niveles en total. Cada uno de estos estará equipado con sistemas de control y monitoreo, garantizando la integración eficiente de todos los componentes y la operación armoniosa del sistema completo. Este esquema sirve como base para la expansión del sistema, proporcionando una visión clara de cómo contribuye cada piso al funcionamiento integral del módulo, permitiendo una implementación escalable y adaptable a diversas necesidades del cultivo.

**Figura 5.** Esquema del sistema electrónico



**Fuente:** elaboración propia.

Los elementos que se observan en el anterior esquema son esenciales para asegurar tanto la estabilidad como la escalabilidad del sistema, el cual está diseñado para expandirse a un módulo de 4 pisos.

## **Lógica de programación**

### **Inicialización**

- Configura los sensores y los actuadores (temperatura, humedad, luz, nivel de agua, bomba y válvulas solenoides).
- Establece los valores de referencia para las condiciones óptimas (por ejemplo, pH y CE ideales para el cultivo).

### **Bucle principal**

- Lee los valores de los sensores (pH, CE, luz y nivel de agua).
- Compara los valores con los umbrales predefinidos para alguna acción.
- Controla la bomba y las válvulas solenoides:
  - Si el nivel del sustrato es bajo:
    - Activa la bomba para inyectar nutrientes o agua al sistema.
  - Abre las válvulas solenoides para permitir el flujo de nutrientes al sustrato.
  - Si el nivel del sustrato es adecuado o alto:
- Desactiva la bomba y cierra las válvulas solenoides.

### **Monitoreo y ajuste**

- Si la luz es insuficiente, activa una fuente de luz artificial.

### **Ciclo diario**

- Ejecuta el ciclo de activación de la bomba y las válvulas solenoides una vez al día (se puede establecer un tiempo específico).
- Hay que asegurarse de que el sistema funcione correctamente y que los valores estén dentro de los rangos deseados.

## Producción

### *Criterios de preselección*

La selección adecuada de plantas para el cultivo hidropónico depende de una serie de criterios fundamentales que aseguran la eficiencia y la sostenibilidad del sistema. Los criterios descritos a continuación proporcionan un marco detallado para evaluar y determinar qué especies vegetales son las más apropiadas.

### *Alimentación*

- Elegir cultivos que satisfagan las necesidades alimenticias. Al seleccionar plantas que produzcan alimentos, estamos contribuyendo a la seguridad alimentaria y al bienestar de las personas.
- Cultivar alimentos frescos en casa o en sistemas hidropónicos urbanos puede reducir la dependencia de la agricultura tradicional y minimizar la huella de transporte.

### *Tiempo de cosecha*

- El tiempo de cosecha afecta la rotación de cultivos y la disponibilidad continua de alimentos.
- Optar por cultivos de crecimiento rápido permite cosechar con mayor frecuencia, lo que aumenta la producción y la sostenibilidad del sistema.

### *Espacio ocupado*

- La eficiencia espacial es esencial, especialmente en sistemas hidropónicos en interiores o con espacio limitado.
- Al elegir cultivos compactos, maximizamos la producción en un área reducida, lo que es crucial para la agricultura urbana y doméstica.

### *Separación*

- La distancia entre plantas afecta el acceso a la luz, los nutrientes y el aire.
- Una separación adecuada previene la competencia entre plantas y promueve un crecimiento saludable. Por ejemplo, la lechuga necesita menos espacio que los tomates.

## Consideraciones

- Los factores ambientales y de manejo influyen en el éxito del cultivo.
- Elegir entre luz natural o artificial (luz LED) influye en la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas.
- La temperatura y la humedad afectan la salud de las plantas y la eficiencia del sistema.
- En cuanto a la calidad del agua, garantizar agua limpia y bien oxigenada es esencial.
- Para el manejo de nutrientes y plagas, se debe contar con nutrientes específicos y estrategias de control de plagas.

Al finalizar el análisis de las posibles hortalizas a utilizar, se hizo un recuento de la cantidad de criterios que cumplían y se ponderaron de 1 a 5 las que mejor cumplían con los requerimientos a nivel cualitativo. En la tabla 1 se presenta la lista de plantas evaluadas. Las plantas más viables para este proceso son: la acelga, el cebollino, la espinaca, la lechuga romana y la rúcula.

**Tabla 1.** Criterios de selección de cultivos

| Cultivo y especie | N.º de criterios cumplidos | Ponderado |
|-------------------|----------------------------|-----------|
| Acelga            | 4                          | 5         |
| Albahaca          | 4                          | 3         |
| Apio              | 4                          | 3         |
| Arúgula           | 4                          | 4         |
| Bok choy          | 4                          | 3         |
| Cebollino         | 4                          | 5         |
| Cilantro          | 4                          | 4         |
| Eneldo            | 4                          | 3         |
| Escarola          | 4                          | 4         |
| Espinaca          | 4                          | 5         |
| Fresa             | 3                          | 2         |
| Lechuga romana    | 4                          | 5         |
| Menta             | 4                          | 3         |
| Pepino            | 2                          | 1         |
| Perejil           | 4                          | 4         |
| Pimiento          | 2                          | 2         |

| Cultivo y especie | N.º de criterios cumplidos | Ponderado |
|-------------------|----------------------------|-----------|
| Rúcula            | 4                          | 5         |
| Salvia            | 4                          | 2         |
| Tomate cherry     | 2                          | 3         |
| Tomillo           | 4                          | 3         |

**Fuente:** elaboración propia a partir de López y Osorio (2024).

Condiciones de cultivo

Para lograr un crecimiento óptimo de los siguientes cultivos: lechuga Lollo Rossa, lechuga Parris Island Romana verde, espinaca Corona Superior F1 oriental y acelga Charlotte Vena Roja, es crucial mantener ciertas condiciones ambientales. Estos cultivos prefieren altitudes bajas a medias, típicamente entre 0 y 1500 msnm, donde las temperaturas son moderadas. La iluminación debe ser abundante, con un rango de 12 000 a 15 000 lúmenes por metro cuadrado al día, lo que asegura un desarrollo vigoroso de las hojas. Las temperaturas ideales oscilan entre 15 °C y 22 °C, y se deben evitar extremos que puedan estresar a las plantas. La humedad debe mantenerse en niveles entre 50 % y 70 % para evitar problemas de enfermedades y promover un crecimiento saludable. Finalmente, el pH del agua debe estar entre 6,0 y 7,0, ya que un equilibrio adecuado en la acidez es crucial para la absorción eficiente de nutrientes y la salud general de las plantas.

Cabe aclarar que cada una de las hortalizas mencionadas tiene necesidades nutricionales específicas para su óptimo desarrollo, como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de cultivos

| Etapa                          |             |             |                 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-----------------|
|                                | Germinación | Vegetativa  | Madurez/Cosecha |
| Hortaliza: lechuga Lollo Rossa |             |             |                 |
| Nitrógeno (N)                  | 50-70 ppm   | 100-150 ppm | 80-120 ppm      |
| Fósforo (P)                    | 20-30 ppm   | 40-60 ppm   | 30-40 ppm       |
| Potasio (K)                    | 60-80 ppm   | 150-200 ppm | 120-150 ppm     |
| Calcio (Ca)                    | 20-30 ppm   | 100-150 ppm | 150-200 ppm     |
| Magnesio (Mg)                  | 10-15 ppm   | 40-60 ppm   | 30-50 ppm       |
| Azufre (S)                     | 10-15 ppm   | 20-30 ppm   | 20-30 ppm       |

| Etapa                                           |             |             |                 |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------------|
|                                                 | Germinación | Vegetativa  | Madurez/Cosecha |
| Hortaliza: lechuga Parris Island Romana verde   |             |             |                 |
| Nitrógeno (N)                                   | 60-80 ppm   | 120-160 ppm | 90-130 ppm      |
| Fósforo (P)                                     | 20-25 ppm   | 40-50 ppm   | 30-40 ppm       |
| Potasio (K)                                     | 70-90 ppm   | 70-90 ppm   | 70-90 ppm       |
| Calcio (Ca)                                     | 25-35 ppm   | 120-150 ppm | 150-200 ppm     |
| Magnesio (Mg)                                   | 15-20 ppm   | 40-50 ppm   | 30-50 ppm       |
| Azufre (S)                                      | 15-20 ppm   | 20-30 ppm   | 20-30 ppm       |
| Hortaliza: espinaca Corona Superior F1 oriental |             |             |                 |
| Nitrógeno (N)                                   | 50-70 ppm   | 100-120 ppm | 70-90 ppm       |
| Fósforo (P)                                     | 20-30 ppm   | 40-60 ppm   | 30-40 ppm       |
| Potasio (K)                                     | 60-80 ppm   | 150-200 ppm | 120-150 ppm     |
| Calcio (Ca)                                     | 20-30 ppm   | 100-150 ppm | 150-200 ppm     |
| Magnesio (Mg)                                   | 10-15 ppm   | 30-50 ppm   | 30-50 ppm       |
| Azufre (S)                                      | 10-15 ppm   | 10-15 ppm   | 10-15 ppm       |
| Hortaliza: acelga Charlotte Vena Roja           |             |             |                 |
| Nitrógeno (N)                                   | 60-80 ppm   | 100-130 ppm | 80-100 ppm      |
| Fósforo (P)                                     | 20-30 ppm   | 40-50 ppm   | 30-40 ppm       |
| Potasio (K)                                     | 70-90 ppm   | 150-200 ppm | 120-150 ppm     |
| Calcio (Ca)                                     | 25-35 ppm   | 120-150 ppm | 150-200 ppm     |
| Magnesio (Mg)                                   | 15-20 ppm   | 40-50 ppm   | 30-50 ppm       |
| Azufre (S)                                      | 15-20 ppm   | 20-30 ppm   | 20-30 ppm       |

**Fuente:** elaboración propia.

En un sistema hidropónico, es fundamental mantener una solución nutritiva uniforme para garantizar un crecimiento saludable de las plantas, ya que no es posible ofrecer diferentes concentraciones de nutrientes a cada tipo de cultivo en el mismo sistema. Por tanto, se estandariza la mezcla de nutrientes para satisfacer las necesidades generales de las hortalizas cultivadas. Para esto, se utiliza una solución nutritiva equilibrada

con las concentraciones estandarizadas de nutrientes y micronutrientes esenciales, las cuales se presentan en la tabla 3. Esta estandarización asegura que los nutrientes estén disponibles en cantidades adecuadas para las diferentes hortalizas, promoviendo un crecimiento uniforme y saludable en el sistema hidropónico.

Tabla 3. Composición de la solución equilibrada

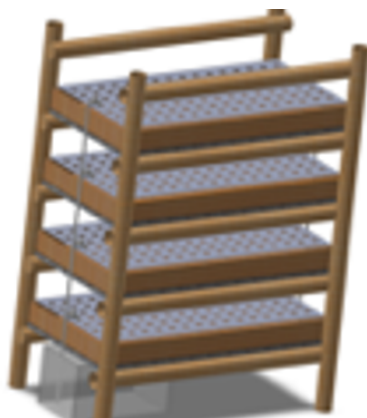
| Nutriente          | Cantidad | Unidad |
|--------------------|----------|--------|
| Nutrientes mayores |          |        |
| Nitrógeno (N)      | 120      | ppm    |
| Fósforo (P)        | 50       | ppm    |
| Potasio (K)        | 180      | ppm    |
| Calcio (Ca)        | 120      | ppm    |
| Magnesio (Mg)      | 50       | ppm    |
| Azufre (S)         | 30       | ppm    |
| Micronutrientes    |          |        |
| Hierro (Fe)        | 3        | ppm    |
| Manganeso (Mn)     | 2        | ppm    |
| Zinc (Zn)          | 1        | Ppm    |
| Cobre (Cu)         | 0,2      | Ppm    |
| Molibdeno (Mo)     | 0,1      | Ppm    |
| Boro (B)           | 1        | Ppm    |

Fuente: elaboración propia.

## Estructura de la unidad hidropónica

El módulo hidropónico cuenta con 4 pisos, una altura de 2,8 metros, un largo de 2,2 metros y un ancho de 1 metro. En la figura 6 se muestra el diseño de la estructura, modelado en el *software* SolidWorks.

**Figura 6.** Sistema hidropónico en SolidWorks



**Fuente:** elaboración propia.

Las medidas que se definieron se basaron en estimaciones para garantizar la seguridad alimentaria en una familia de 3 personas, con un consumo de hortalizas de 4,16 kg/mes. Para ello, se revisaron los siguientes criterios de preselección de las hortalizas. Con base en la búsqueda de especies, se tomó el tiempo de cultivo y cosecha de las variedades seleccionadas (lechuga Lollo Rossa, lechuga Parris Island Romana verde, espinaca Corona Superior F1 oriental y acelga Charlotte Vena Roja), el cual fue de 30 a 60 días. El módulo hidropónico cuenta con una capacidad de producción mensual de 132 kg de hortalizas, dividida en 12,48 kg para la familia y 119,52 kg para la venta, garantizando el consumo propio de la familia y un ingreso económico adicional.

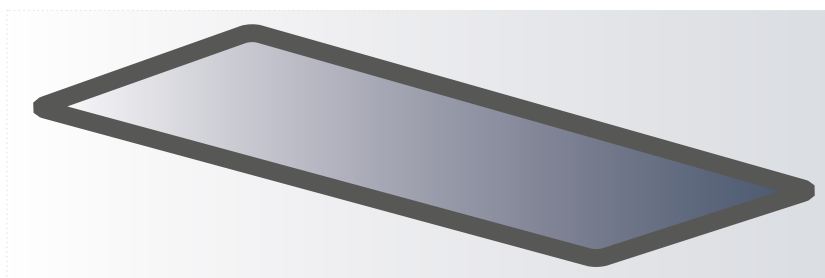
El área total de cultivo es de  $1\text{ m} \times 2,2\text{ m} = 2,2\text{ m}^2$ . Esta permite el adecuado desarrollo individual de las hortalizas, las cuales requieren un espacio de  $12\text{ cm} \times 12\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  para su óptimo crecimiento. En el módulo, hay 112 hortalizas por bandeja y 4 bandejas, de modo que se tienen 448 hortalizas en total, lo cual maximiza la producción en un espacio compacto. Estas dimensiones proporcionan suficiente espacio para acomodar las bandejas de cultivo y permiten un fácil acceso para el mantenimiento y la cosecha.

### ***Simulación y análisis estático en SolidWorks***

Para garantizar la estabilidad y la durabilidad del sistema hidropónico automatizado, se realizaron una simulación y un análisis estático utilizando el software SolidWorks. Este análisis fue crucial para determinar la viabilidad estructural del sistema, especialmente al considerar el uso de vigas de guadua como material de soporte. El objetivo principal fue evaluar las tensiones, los desplazamientos y las deformaciones unitarias presentes en la estructura, bajo condiciones de carga específicas.

El modelo simulado consiste en una estructura compuesta por 4 ángulos de acero galvanizado: dos ángulos de 1/8 pulg x 1-1/2 pulg x 1 m y dos ángulos de 1/8 pulg x 1-1/2 pulg x 2 m (figura 7). La estructura está diseñada para soportar cargas estáticas ocasionadas por un cajón de madera de dimensiones 1 m x 2 m x 0,15 m, una lámina de policarbonato y el agua necesaria para llenar el cajón.

**Figura 7.** Estructura de ángulos

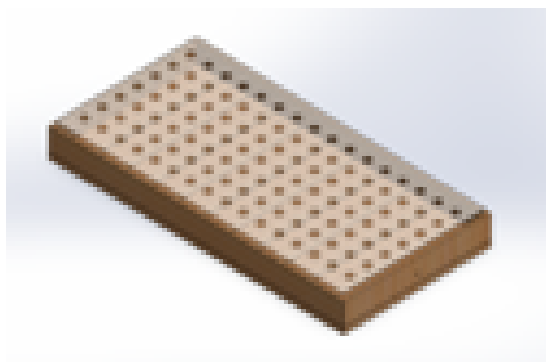


**Fuente:** elaboración propia.

## Condiciones de carga

Se simularon cargas distribuidas sobre la estructura, que fueran representativas de las condiciones reales de funcionamiento. Para esto, se calculó el peso total que soportará la estructura, correspondiente al peso del cajón de madera, una lámina de policarbonato y el agua que llenará el cajón, como se muestra en la figura 8.

**Figura 8.** Bandejas de cultivo en SolidWorks

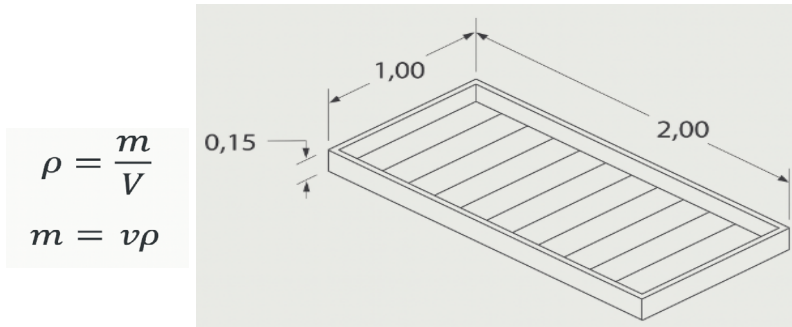


**Fuente:** elaboración propia.

## Cálculo del peso de las bandejas

En la figura 9 se muestran las dimensiones de cada bandeja.

**Figura 9.** Dimensiones de la bandeja de cultivo



**Fuente:** elaboración propia.

Densidad del agua:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  aproximadamente

$$V_{\text{agua}} = 0,15 * 2 * 1 = 0,3 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 0,3 \text{ m}^3 * 1000 \text{ kg/m}^3 = 300 \text{ kg}$$

La masa del cajón junto con la lámina se calculó en SolidWorks. El material que se usó para el cajón fue cedro y para la lámina, policarbonato.

$$m_{\text{cajón y lámina}} = 36,45 \text{ kg}$$

lámina

$$m_{\text{total}} = 300 + 36,45 = 336,45 \text{ kg}$$

$$F = m * g$$

$$F = 336,45 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 3300,6 \text{ N}$$

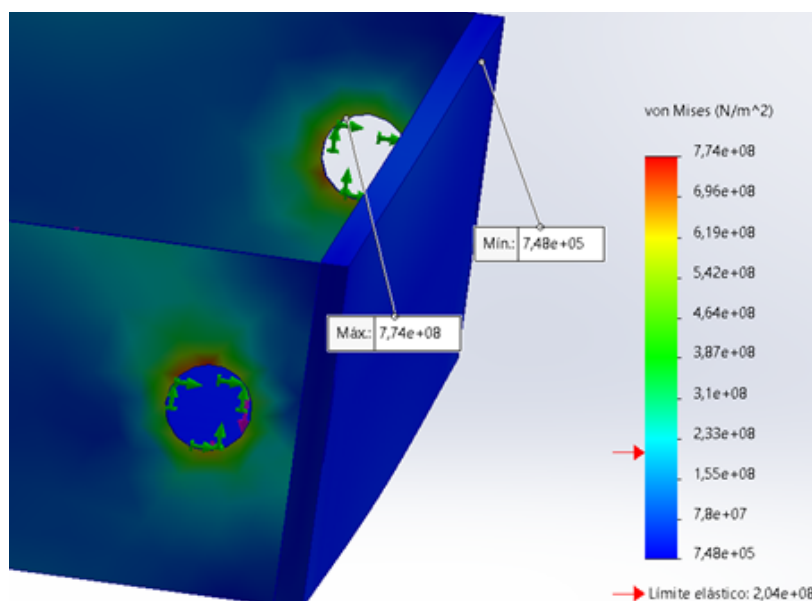
Por último, se aplicaron las restricciones adecuadas en los puntos de apoyo de la estructura para simular el comportamiento del sistema de sujeción.

## Resultados de la simulación

### Tensiones principales

Las tensiones máximas encontradas en la estructura se localizan principalmente en las zonas cercanas a los puntos de apoyo, sobrepasando el límite elástico del material (figura 10). Esos valores muestran que esas áreas específicas están experimentando tensiones que podrían llevar al material a deformarse permanentemente o incluso a fracturarse si estas siguen aumentando. Esto indica un punto crítico que requiere atención, a fin de evitar problemas futuros de deformación permanente o un fallo estructural en la realidad física del sistema diseñado.

**Figura 10.** Áreas de tensión en ángulos en SolidWorks

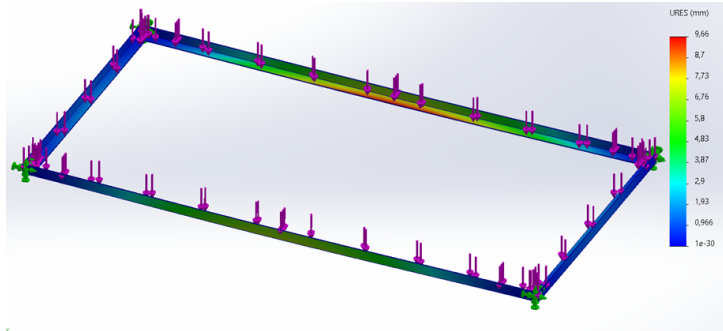


**Fuente:** elaboración propia.

### Desplazamientos

Los desplazamientos máximos registrados se concentran en la mitad de los ángulos más largos, donde se encuentra distribuida la carga, es decir, las zonas de menor rigidez estructural. El medio de los ángulos largos en la estructura se muestra en color rojo, amarillo y verde (figura 11). Lo anterior sugiere que una zona específica está experimentando desplazamientos significativos y moderados, respectivamente.

**Figura 11.** Zonas de desplazamientos por peso en SolidWorks

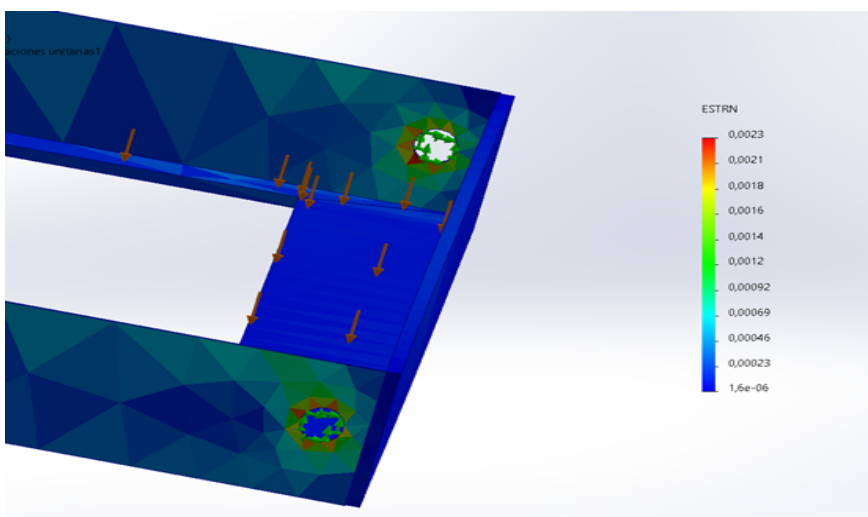


**Fuente:** elaboración propia.

## Deformaciones unitarias

Las deformaciones unitarias, que indican la magnitud de la deformación relativa en diferentes partes de la estructura, muestran valores proporcionales a las cargas aplicadas y son consistentes con las expectativas de diseño. Las deformaciones unitarias en la estructura durante la simulación indican que la estructura está experimentando cambios físicos en sus dimensiones (figura 12). Estas deformaciones pueden ser elásticas (temporales, donde el material puede recuperar su forma original después de retirar la carga) o plásticas (permanentes, donde el material queda deformado incluso después de retirar la carga).

**Figura 12.** Deformaciones unitarias en SolidWorks



**Fuente:** elaboración propia.

## Resultados esperados

Se espera que el módulo hidropónico, con sus dimensiones y diseño optimizados, produzca resultados significativos tanto en términos de producción de alimentos como de beneficios económicos. Por otra parte, dado que el módulo cuenta con 4 pisos y se espera producir 112 hortalizas por piso, se tendrían en total 448 hortalizas por ciclo de cosecha.

En función de la tabla 1 de criterios de selección de cultivos, se decidió implementar 4 hortalizas: lechuga Lollo Rossa, lechuga Parris Island Romana verde, espinaca Corona Superior F1 oriental y acelga Charlotte Vena Roja. Lo anterior se debe a que estas cumplieron adecuadamente con los prerequisites, como un tiempo de cosecha de 30 a 60 días y un espacio ocupado en el módulo menor a 30 cm x 30 cm.

A continuación, se abordan con mayor detalle los resultados esperados de este proyecto. En primer lugar, se estima que el módulo hidropónico proporcionará una producción mensual de 132 kg de hortalizas. De esta cantidad, 12,48 kg estarán destinados al consumo de una familia de 3 personas, garantizando así su seguridad alimentaria con un suministro constante de hortalizas frescas y nutritivas. Este aspecto es crucial, ya que garantiza que la familia tenga acceso a alimentos saludables, mejorando su calidad de vida y bienestar general.

En segundo lugar, se espera que el excedente de producción, que asciende a 119,52 kg mensuales, se destine a la venta. Este excedente no solo generará un ingreso económico adicional para la familia, sino que también contribuirá a la economía local al ofrecer productos frescos y de alta calidad a la comunidad. La venta de estas hortalizas puede establecer una fuente de ingresos sostenible y constante, lo que puede ser particularmente beneficioso en áreas urbanas con espacio limitado para la agricultura tradicional.

## Conclusiones

La implementación de tecnologías IoT y automatización promete un uso más eficiente del agua y los nutrientes, lo cual se alinea con los objetivos de sostenibilidad del proyecto.

El proyecto representa un avance significativo en la aplicación de agricultura de precisión en entornos urbanos, ofreciendo un modelo potencialmente replicable en otros contextos. Ahora bien, se identificaron puntos de tensión críticos que requieren atención en la implementación física.

El sistema diseñado tiene una capacidad de producción estimada de 132 kg de hortalizas mensuales. Esta producción es suficiente para cubrir las necesidades de una familia

de 3 personas y generar excedentes para la venta, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al ingreso familiar.

## Recomendaciones

Con base en los resultados de la simulación, se recomienda reforzar las áreas de alta tensión en la estructura, considerando posiblemente materiales alternativos o diseños modificados para mejorar tanto la estabilidad como la durabilidad. Asimismo, se recomienda implementar el sistema a escala reducida antes de la implementación completa, a fin de validar los cálculos teóricos y realizar los ajustes necesarios en condiciones reales.

Para asegurar la viabilidad y el éxito del proyecto a largo plazo, se recomienda realizar un estudio económico y comercial en futuras fases del proyecto. Este estudio debe incluir un análisis detallado de los costos de implementación, operación y mantenimiento, así como una evaluación de las oportunidades de mercado y la rentabilidad potencial. La información obtenida permitirá tomar decisiones informadas y optimizar los recursos, garantizando así la sostenibilidad y el crecimiento del proyecto.

## Referencias

- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, potencia mundial de la vida*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Ministerio de Salud y Protección Social, Instituto Nacional de Salud y Profamilia. (2015). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia – ENSIN 2015*.
- López, S. y Osorio, C. (2024). *Criterios de selección de cultivo*.
- Mishra, R. I., & Jain, P. (2015). Design and Implementation of Automatic Hydroponics System using ARM Processor. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(8), 6935- 6940. <https://doi.org/10.15662/ijareeie.2015.0408016>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020*. [https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020\\_Spanish.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf)

- Ortner, J., & Ågren, E. (2019). *Automated hydroponic system* [Bachelor's Thesis, KTH Royal Institute of Technology]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1373530/FULLTEXT01.pdf>
- Rajendran, S., Domalachenpa, T., Arora, H., Li, P., Sharma, A., & Rajauria, G. (2024). Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with emphasis on potato mini-tuber cultivation. *Heliyon*, 10(5), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26823>
- Real Academia Española. (s. f.). *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/>



## Capítulo 7.

# Emprendimiento e innovación en el sector agropecuario

**Vladimir Jhosmell Baquero Márquez**

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2122-3305>

**Alfonso Corte López**

Universidad Estatal de Sonora  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3857-7855>

**Carmenza María Caraballo Castro**

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0398-3773>

## Resumen

Este capítulo tiene como objetivo explorar el rol del emprendimiento y la innovación en la transformación del sector agropecuario. Se abordarán las tendencias actuales, incluyendo la incorporación de tecnologías emergentes, la creación de modelos de negocio sostenibles y la relevancia de la colaboración entre sectores. A través del análisis de casos de éxito y las lecciones derivadas de ellos, se resaltarán cómo los emprendedores están impulsando el cambio hacia una agricultura más eficiente, sostenible y resiliente. Además, se examinarán los retos y oportunidades que enfrenta el sector agropecuario, con el propósito de proponer estrategias que fomenten la innovación y la sostenibilidad.

**Palabras clave:** emprendimiento agropecuario, impacto ambiental, innovación agropecuaria, negocios sostenibles, sostenibilidad

## ***Abstract***

This chapter aims to explore the role of entrepreneurship and innovation in the transformation of the agricultural sector. It will address current trends, including the incorporation of emerging technologies, the creation of sustainable business models and the relevance of cross-sector collaboration. Through the analysis of success stories and lessons learned, it will highlight how entrepreneurs are driving change towards more efficient, sustainable and resilient agriculture. It will also examine the challenges and opportunities facing the agricultural sector, with the aim of proposing strategies to promote innovation and sustainability.

**Keywords:** agricultural entrepreneurship, environmental impact, agricultural innovation, sustainable business, sustainability

## Introducción

El sector agropecuario ocupa un lugar central en la economía global al ser el principal proveedor de alimentos, materias primas y productos básicos esenciales para las sociedades y las economías del mundo. Su importancia trasciende lo económico, pues constituye la fuente de sustento para millones de personas, especialmente en áreas rurales y países en desarrollo, donde gran parte de la población depende directamente de esta actividad para su subsistencia (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). Al mismo tiempo, la agricultura se posiciona como un pilar clave para el desarrollo sostenible, por cuanto está vinculada de manera intrínseca a la seguridad alimentaria, el manejo responsable de los recursos naturales y la adaptación al cambio climático.

Sin embargo, el sector enfrenta desafíos críticos en un contexto de crecimiento poblacional, cambio climático y degradación ambiental. La sostenibilidad, la necesidad de aumentar la productividad de manera eficiente y la preservación de los ecosistemas exigen la implementación de soluciones innovadoras. En ese sentido, la innovación y el emprendimiento se presentan como herramientas fundamentales para transformar el sector agropecuario, orientándolo hacia prácticas más sostenibles, resilientes y equitativas, capaces de responder a las demandas de una población mundial en constante aumento.

Por otra parte, el emprendimiento y la innovación en el sector agropecuario están transformando radicalmente la manera en que se produce, gestiona y comercializa la agricultura y la ganadería. Estos cambios son impulsados por la necesidad de responder a desafíos globales como el cambio climático, el crecimiento poblacional y la creciente demanda de alimentos sostenibles. Al mismo tiempo, la modernización del sector ha abierto nuevas oportunidades para crear modelos de negocio centrados en el uso eficiente de los recursos.

Por consiguiente, el emprendimiento agropecuario, caracterizado por su adaptabilidad y enfoque en la sostenibilidad, se ha convertido en un motor de cambio. Los emprendedores modernos no solo buscan innovar en procesos y productos, sino también generar impactos positivos en el ámbito social, económico y ambiental, promoviendo la inclusión social y la equidad en las cadenas de valor.

Este capítulo examinará los principales retos que enfrenta el sector agropecuario, incluyendo la sostenibilidad, el cambio climático y la seguridad alimentaria, con el fin de resaltar la importancia de adoptar nuevas tecnologías, modelos de negocio regenerativos y políticas públicas que impulsen el emprendimiento y la innovación en este campo.

## Contexto y relevancia del sector agropecuario

El sector agropecuario juega un papel fundamental en la economía mundial, dado que es el principal proveedor de alimentos, materias primas y productos básicos que sostienen a las sociedades y las economías. La producción agrícola y ganadera proporciona medios de vida a millones de personas, especialmente en zonas rurales y países en desarrollo, donde una gran parte de la población depende directamente de este sector para su subsistencia (FAO, 2020). Además, la agricultura es un motor clave para el desarrollo sostenible, ya que está intrínsecamente vinculada a la seguridad alimentaria, el uso eficiente de los recursos naturales y la adaptación al cambio climático.

Por otra parte, el Banco Mundial (2022) afirma que el 70 % del agua a nivel mundial es utilizada en el sector de la agricultura. De manera que, para reducir este alto consumo, los países y los agricultores deben innovar los procesos y mejorar la eficiencia en el uso y abastecimiento del recurso.

La innovación y el emprendimiento en el sector agropecuario se han convertido en elementos esenciales para enfrentar los desafíos actuales. Estos desafíos incluyen la necesidad de aumentar la producción de alimentos para una población mundial en crecimiento, abordar los problemas ambientales —como el cambio climático y la degradación de los suelos— y garantizar la equidad y la sostenibilidad en las cadenas de valor agrícolas (García-Martínez et al., 2022). Para lograr estos objetivos, es vital adoptar nuevas tecnologías, desarrollar modelos de negocio más sostenibles y formular políticas públicas que apoyen la innovación y el emprendimiento en el campo.

## Desafíos actuales: sostenibilidad, cambio climático y seguridad alimentaria

La sostenibilidad es uno de los mayores retos del sector agropecuario. Los métodos tradicionales de producción agrícola a menudo implican un uso intensivo de recursos naturales, como el agua y la tierra, lo que puede conducir a la degradación ambiental. Además, la dependencia de productos químicos y fertilizantes sintéticos tiene impactos negativos en los ecosistemas, la biodiversidad y la salud humana (Rostami y Menhas, 2022). Frente a estos problemas, la innovación en prácticas agrícolas sostenibles y modelos de negocio regenerativos resulta crucial para asegurar un futuro en el que la producción de alimentos sea suficiente, saludable y equitativa.

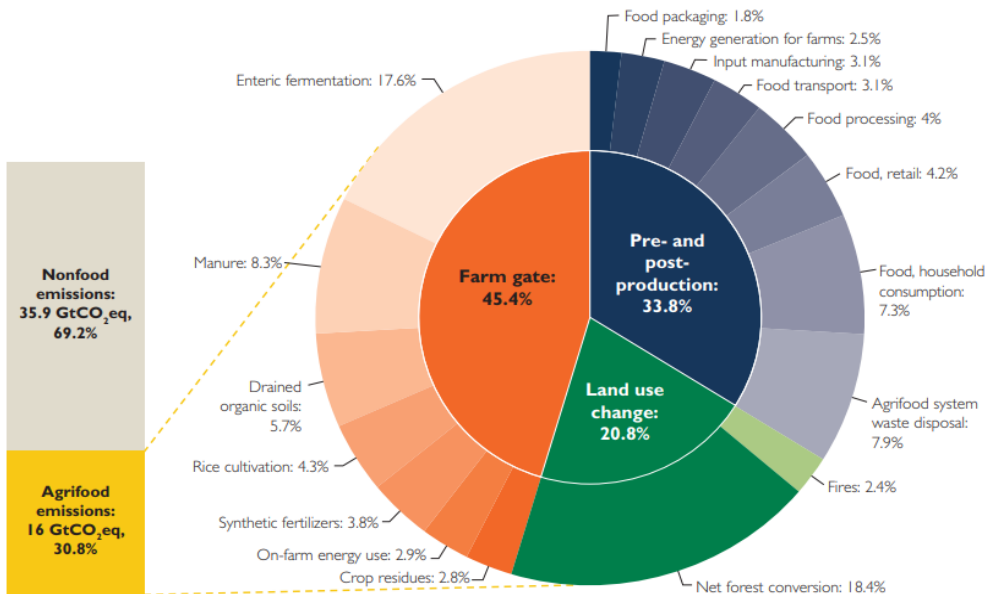
El cambio climático también ha impuesto desafíos adicionales al sector agropecuario. Las condiciones meteorológicas extremas, la variabilidad climática y el aumento de plagas y enfermedades están afectando la producción y la estabilidad de los sistemas

agrícolas en todo el mundo. Para abordar estas problemáticas, el emprendimiento en el sector agropecuario debe orientarse hacia soluciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), promuevan la resiliencia de los cultivos y optimicen el uso de los recursos (Mollahoseini et al., 2021).

En cuanto a la seguridad alimentaria, se estima que, para el 2050, la población mundial alcanzará los 9,7 mil millones, lo que requerirá un aumento significativo en la producción de alimentos (FAO, 2020). Sin embargo, la producción agropecuaria debe crecer de manera sostenible, evitando el agotamiento de los recursos naturales y garantizando el acceso equitativo a los alimentos. Por tanto, los emprendimientos agrícolas deben desarrollar nuevas estrategias para mejorar la productividad, reducir las pérdidas poscosecha y crear cadenas de suministro más eficientes.

En la figura 1 se muestra que el sistema agroalimentario mundial es responsable del 30,8 % del total de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), lo que equivale a 16 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (GtCO<sub>2</sub>-eq). Esto evidencia que la mayoría de las emisiones no provienen únicamente de las actividades agrícolas directas, sino que una parte significativa se origina en procesos como la fabricación de insumos y actividades como el transporte, el consumo y el desperdicio. Por tanto, es necesario enfocar las políticas climáticas en toda la cadena agroalimentaria.

**Figura 1.** Emisiones de GEI en los sistemas agroalimentarios



**Nota:** promedio anual de emisiones globales de GEI del sistema agroalimentario como proporción de las emisiones totales de GEI durante el período 2018-2020.

**Fuente:** Banco Mundial (2024, p.28).

## Emprendimiento en el sector agropecuario

El emprendimiento en el sector agropecuario se caracteriza por la creación de soluciones innovadoras que abordan los retos de la producción agrícola y ganadera, enfocándose en mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad (Martínez Santos, 2024). Los emprendedores agropecuarios buscan impulsar modelos de negocio que aprovechen las nuevas tecnologías, adapten las prácticas tradicionales a las demandas actuales y generen valor agregado dentro de las cadenas de suministro agrícolas (Otero Tapia et al., 2024).

### Definición y características del emprendimiento agropecuario

El emprendimiento agropecuario se define como la creación de iniciativas y proyectos que se enfocan en innovar dentro del sector agrícola, ganadero y agroalimentario. Esto incluye desde el desarrollo de nuevas técnicas de cultivo hasta la creación de productos derivados de la agricultura, pasando por la implementación de tecnologías para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos (García-Martínez et al., 2022).

Una de las características distintivas del emprendimiento en el sector agropecuario es la adaptabilidad. Los emprendedores agropecuarios deben ser capaces de responder a los cambios en el mercado, el clima y las regulaciones. Además, es común que estos emprendimientos se basen en la utilización óptima de los recursos disponibles, como el suelo, el agua y la biodiversidad, lo que implica un enfoque de negocio centrado en la sostenibilidad (Rostami y Menhas, 2022).

Otro rasgo clave del emprendimiento agropecuario es la inclusión social. Muchos emprendimientos buscan involucrar a pequeños productores y comunidades rurales, generando oportunidades económicas y promoviendo prácticas más equitativas dentro de las cadenas de valor. De esta manera, los emprendimientos en este sector suelen tener un impacto positivo tanto en lo económico como en lo social y ambiental.

El sector agropecuario es el principal sector de la economía. De acuerdo con Agricultura de las Américas (s. f.):

La agricultura es un sector importante para la economía mundial. De hecho, el valor agregado global generado por la agricultura, la silvicultura y la pesca creció un 73 % en términos reales entre 2000 y 2019, alcanzando los \$ 3,5 billones en 2019. No solo eso, sino que la agricultura proporcionó empleo a 874 millones de personas en 2020, un total del 27 % de la fuerza laboral mundial.

## Perfil del emprendedor agropecuario

El perfil del emprendedor agropecuario ha evolucionado con el tiempo. Mientras que antes se limitaba a productores locales con conocimientos tradicionales, hoy en día se observa una diversificación que incluye a profesionales con formación en áreas como agronomía, biotecnología, economía y administración. Además, los emprendedores actuales están más dispuestos a utilizar tecnologías emergentes y a adoptar enfoques de negocio basados en datos, lo que les permite tomar decisiones informadas y estratégicas (Kim et al., 2020).

El emprendedor agropecuario moderno también tiende a ser un agente de cambio, que no solo busca el lucro, sino que se preocupa por la sostenibilidad y la resiliencia del sistema agrícola. Estas características incluyen la capacidad de innovar, la orientación hacia la resolución de problemas y la disposición para colaborar con diversos actores, como investigadores, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales (Yaseen et al., 2021).

## Modelos de negocio en el sector: desde la agricultura orgánica hasta la economía circular

Los modelos de negocio en el sector agropecuario han ido más allá de la simple producción de cultivos y productos ganaderos. Actualmente, se desarrollan modelos que buscan agregar valor, reducir el impacto ambiental y generar ingresos diversificados. Entre estos modelos, se destacan los siguientes:

- *Agricultura orgánica*: se centra en producir alimentos sin recurrir a pesticidas, fertilizantes sintéticos u organismos genéticamente modificados, utilizando técnicas que preservan la biodiversidad y la salud del suelo. Este modelo ha ganado popularidad debido al creciente interés de los consumidores por productos más saludables y respetuosos con el medio ambiente (FAO, 2020).
- *Agricultura regenerativa*: busca restaurar y mejorar la salud de los ecosistemas agrícolas, enfocándose en la gestión del suelo, la rotación de cultivos y la integración de la biodiversidad. Este modelo no solo promueve la productividad sostenible, sino que también contribuye a mitigar el cambio climático al aumentar la captura de carbono en los suelos (Mollahoseini et al., 2021).
- *Economía circular*: implica la reutilización y el reciclaje de los residuos agrícolas para generar productos de valor agregado, como fertilizantes orgánicos, bio-combustibles o bioplásticos. Este modelo reduce el desperdicio y diversifica

las fuentes de ingresos, contribuyendo al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y eficientes (Rostami y Menhas, 2022).

- *Agricultura de precisión*: utiliza tecnologías como el internet de las cosas (IoT), sensores y sistemas de información geográfica (SIG) para optimizar el uso de insumos, como el agua y los fertilizantes. Este modelo mejora la eficiencia productiva, reduce costos y minimiza el impacto ambiental, lo que lo convierte en un enfoque altamente atractivo para los emprendedores agropecuarios (Kim et al., 2020).

## Retos y oportunidades para los emprendedores agropecuarios

Aunque el emprendimiento en el sector agropecuario presenta numerosas oportunidades, los emprendedores también enfrentan una serie de desafíos. Entre los principales retos, se encuentran los siguientes:

- *Acceso a financiación*: los pequeños y medianos agricultores a menudo tienen dificultades para acceder a créditos y financiamiento que les permitan implementar tecnologías avanzadas o expandir sus operaciones. La falta de mecanismos financieros adaptados al contexto agrícola limita las posibilidades de crecimiento y adopción de prácticas innovadoras (Rostami y Menhas, 2022).
- *Formación y transferencia de conocimientos*: la innovación en el sector agropecuario requiere que los emprendedores estén capacitados en el uso de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas. La falta de programas de formación específicos y servicios de extensión limita la capacidad de los productores para adoptar soluciones innovadoras (Yaseen et al., 2021).
- *Cambio climático y variabilidad de los mercados*: las condiciones climáticas adversas y la fluctuación de los precios en los mercados internacionales pueden afectar la viabilidad de los emprendimientos agropecuarios. Los emprendedores deben desarrollar estrategias de gestión de riesgos y diversificación para enfrentar estos desafíos.

No obstante, también existen oportunidades significativas, como la creciente demanda de alimentos orgánicos y productos de valor agregado, el avance de tecnologías como la inteligencia artificial y la economía circular, y el apoyo de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad en la agricultura (FAO, 2020).

## Innovación en el sector agropecuario

La innovación es un motor clave en el sector agropecuario, por cuanto impulsa mejoras en la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad. A medida que la demanda global de alimentos aumenta y los recursos naturales se vuelven más escasos, la capacidad para innovar se convierte en un factor determinante para enfrentar los retos del sector y aprovechar las oportunidades emergentes.

### Definición de innovación agropecuaria

La innovación agropecuaria se refiere a la introducción y aplicación de nuevas ideas, tecnologías y prácticas que mejoran los procesos, productos y modelos de negocio en el sector agrícola y ganadero. Estas innovaciones pueden manifestarse en diversas formas, como nuevas técnicas de cultivo, el desarrollo de nuevos productos alimenticios, la implementación de tecnologías avanzadas o la mejora de las prácticas de gestión de recursos (García-Martínez et al., 2022).

La innovación en el sector agropecuario no solo se limita a avances tecnológicos, sino que también abarca innovaciones en el modelo de negocio, prácticas de gestión y estrategias de mercado. La capacidad para innovar es esencial para adaptar las operaciones agrícolas a las demandas cambiantes del mercado, mejorar la sostenibilidad y aumentar la resiliencia frente a desafíos como el cambio climático y la escasez de recursos (Mollahoseini et al., 2021).

### Tipos de innovación

La innovación en el sector agropecuario puede clasificarse en diferentes tipos: tecnológica, de procesos, de productos y organizativa. Cada uno de estos tiene un impacto específico en el sistema agroalimentario.

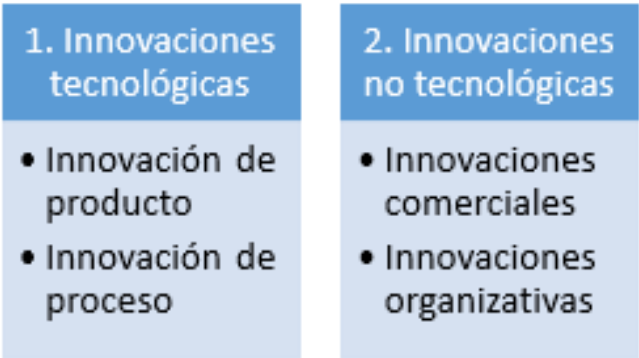
- *Innovación tecnológica:* incluye el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías que mejoran la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos agrícolas. Algunos ejemplos incluyen la agricultura de precisión, el uso de sensores y drones, y la implementación de sistemas de información geográfica (SIG). Estas tecnologías permiten una gestión más precisa de los recursos, reduciendo el impacto ambiental y aumentando la productividad (Kim et al., 2020).
- *Innovación de procesos:* se refiere a la mejora de los métodos y las técnicas utilizados en la producción agrícola. Esto puede incluir la optimización de prácticas de cultivo, la mejora en la gestión del agua y los nutrientes, y la implementación

de sistemas integrados de producción. La innovación de procesos busca aumentar la eficiencia operativa y reducir costos mientras se minimiza el impacto ambiental (Rostami y Menhas, 2022).

- *Innovación de productos:* implica el desarrollo de nuevos productos alimenticios o la mejora de los existentes. Esto puede abarcar desde la creación de alimentos funcionales y enriquecidos hasta el desarrollo de productos agrícolas con características diferenciadas que responden a las demandas del mercado. La innovación de productos ayuda a diversificar la oferta y a responder a las preferencias cambiantes de los consumidores (FAO, 2020).
- *Innovación organizativa:* se refiere a la mejora en la estructura y la gestión de las organizaciones agrícolas. Esto puede incluir la implementación de nuevos modelos de negocio, la creación de redes de colaboración entre productores y el establecimiento de sistemas de gestión más eficientes. La innovación organizativa facilita la integración de nuevas prácticas y tecnologías en las operaciones agrícolas (Yaseen et al., 2021).

En la figura 2 se presentan los tipos de innovación que toda empresa puede abordar, los cuales contribuyen a la generación de adaptabilidad, crecimiento, diferenciación, competitividad y sostenibilidad en un entorno dinámico y globalizado.

Figura 2. Modelos de innovación



**Nota:** tipos de innovación de acuerdo con el Manual de Oslo.

**Fuente:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OECD] y Eurostat (2018).

## Impacto de la innovación en la productividad y la sostenibilidad

La innovación en el sector agropecuario tiene un impacto significativo tanto en la productividad como en la sostenibilidad. A nivel de productividad, las nuevas tecnologías y prácticas innovadoras permiten a los agricultores mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir pérdidas y aumentar el rendimiento de los cultivos y la producción ganadera (Mollahoseini et al., 2021). La agricultura de precisión y el uso de tecnologías avanzadas han demostrado ser efectivos en la optimización del uso de insumos y la maximización de los rendimientos.

En términos de sostenibilidad, la innovación juega un papel crucial en la reducción del impacto ambiental de la producción agropecuaria. Las prácticas agrícolas sostenibles, como la agroforestería, la rotación de cultivos y el uso de fertilizantes orgánicos, contribuyen a la conservación del suelo, la mejora de la biodiversidad y la reducción de la huella de carbono (FAO, 2020). La implementación de tecnologías limpias y la adopción de modelos de economía circular también ayudan a disminuir el desperdicio de recursos y a promover un enfoque más responsable en la gestión de residuos (Rostami y Menhas, 2022).

## Ejemplos de innovaciones exitosas en el sector agropecuario

**Figura 3.** Modelo de agricultura vertical



**Nota:** estructuras piramidales en una operación de agricultura vertical hidropónica.

**Fuente:** Wallace-Springer (2021).

- *Agricultura vertical*: la agricultura vertical es una técnica innovadora que permite cultivar alimentos en estructuras verticales dentro de entornos controlados, como invernaderos o edificios urbanos (figura 3). Este enfoque reduce la necesidad de tierra, minimiza el uso de agua y permite una producción más eficiente en áreas urbanas (García-Martínez et al., 2022).
- *Sistemas de riego inteligente*: la tecnología de riego inteligente utiliza sensores y sistemas de monitoreo para ajustar automáticamente las aplicaciones de agua en función de las necesidades específicas de los cultivos. Esto optimiza el uso del agua y reduce el desperdicio, contribuyendo a una agricultura más sostenible (Kim et al., 2020).
- *Biotecnología en semillas*: la biotecnología ha permitido el desarrollo de semillas genéticamente modificadas, que son más resistentes a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas. Estas semillas mejoradas aumentan el rendimiento de los cultivos y reducen la necesidad de productos químicos (Mollahoseini et al., 2021).

## Políticas públicas y regulación en el sector agropecuario

Las políticas públicas y la regulación juegan un papel crucial en la configuración del entorno en el que operan los emprendedores agropecuarios. Estas políticas pueden fomentar o inhibir la innovación y el desarrollo dentro del sector agrícola, impactando tanto en la sostenibilidad como en la competitividad del sector.

## Importancia de las políticas públicas en el sector agropecuario

Las políticas públicas en el sector agropecuario abarcan una variedad de áreas, desde la regulación de prácticas agrícolas hasta el apoyo financiero y la promoción de investigaciones. Estas políticas son fundamentales para crear un entorno favorable que impulse la innovación, asegure la sostenibilidad y mejore la productividad en la agricultura y la ganadería (FAO, 2020).

Las políticas bien diseñadas pueden proporcionar incentivos para la adopción de tecnologías avanzadas, como la agricultura de precisión y las prácticas de cultivo sostenible. También pueden facilitar el acceso a financiamiento para los emprendedores agropecuarios, fomentar la investigación y el desarrollo, y establecer normas que promuevan prácticas agrícolas responsables y respetuosas con el medio ambiente (Kim et al., 2020).

## Ejemplos de políticas públicas que fomentan la innovación y la sostenibilidad

Diversos países han implementado políticas públicas que han demostrado ser efectivas en la promoción de la innovación y la sostenibilidad en el sector agropecuario. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

- *Subsidios y financiamiento*: muchos gobiernos ofrecen subsidios y programas de financiamiento para apoyar a los agricultores que adoptan nuevas tecnologías y prácticas sostenibles. Estos programas pueden cubrir costos de investigación, adquisición de equipos y capacitación. Por ejemplo, el programa de subvenciones a la agricultura sostenible de la Unión Europea proporciona apoyo financiero a proyectos que promuevan la agricultura ecológica y la gestión eficiente de recursos (Rostami y Menhas, 2022).
- *Regulación ambiental*: las leyes y regulaciones ambientales, como las normativas sobre emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de pesticidas, tienen un impacto significativo en las prácticas agrícolas. Políticas que promuevan el uso de fertilizantes orgánicos y técnicas de cultivo que conserven el suelo pueden contribuir a una agricultura más sostenible y resiliente al cambio climático (Mollahoseini et al., 2021).
- *Investigación y desarrollo*: las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) son esenciales para fomentar la innovación en el sector agropecuario. Programas gubernamentales que financian proyectos de investigación sobre nuevas variedades de cultivos, técnicas de cultivo avanzadas y biotecnología pueden acelerar el desarrollo de soluciones innovadoras y eficaces (Yaseen et al., 2021).
- *Educación y formación*: las políticas que promueven la educación y la formación en tecnologías agrícolas y prácticas sostenibles pueden mejorar las capacidades de los emprendedores agropecuarios y aumentar la adopción de innovaciones. Los programas de extensión agrícola y los cursos de capacitación técnica son ejemplos de cómo las políticas pueden apoyar la transferencia de conocimientos y habilidades (FAO, 2020).

## Desafíos en la implementación de políticas públicas

A pesar de la importancia de las políticas públicas, su implementación puede enfrentar varios desafíos. A continuación, se abordan algunos de ellos.

- *Coordinación y alineación:* la coordinación entre diferentes niveles de gobierno y entre las agencias responsables de la agricultura y el medio ambiente puede ser un desafío. La falta de alineación en las políticas y regulaciones puede llevar a conflictos y a una implementación ineficaz de las iniciativas (Kim et al., 2020).
- *Acceso y equidad:* los programas de apoyo y subsidios pueden no estar igualmente disponibles para todos los agricultores, especialmente para los pequeños y medianos productores en áreas rurales. Las barreras de acceso al financiamiento y a los recursos pueden limitar la capacidad de los emprendedores para aprovechar las oportunidades ofrecidas por las políticas (Rostami y Menhas, 2022).
- *Cambio y adaptación:* las políticas deben ser flexibles y adaptarse a los cambios en el entorno agrícola y a los avances tecnológicos. Las políticas que no evolucionan con el tiempo pueden volverse obsoletas y no ser efectivas para abordar los nuevos desafíos y oportunidades en el sector agropecuario (Mollahoseini et al., 2021).

## Orientaciones a futuro en políticas públicas para el sector agropecuario

Para fortalecer el impacto de las políticas públicas en el sector agropecuario, se pueden considerar las siguientes orientaciones a futuro:

- *Enfoque integrado:* desarrollar políticas integradas que aborden tanto la producción agrícola como la sostenibilidad ambiental. Esto incluye la creación de marcos regulatorios que promuevan la agricultura sostenible y la protección de los recursos naturales.
- *Participación de múltiples actores:* involucrar a una amplia gama de actores, incluyendo agricultores, investigadores y representantes del sector privado, en la formulación y evaluación de políticas. La colaboración entre sectores puede mejorar la eficacia y la aceptación de las políticas públicas.
- *Innovación en financiamiento:* explorar nuevas formas de financiamiento para apoyar la innovación en el sector agropecuario, como fondos de inversión verde, seguros agrícolas innovadores y mecanismos de pago por servicios ambientales.

## Tendencias emergentes en el sector agropecuario

El sector agropecuario está experimentando un cambio significativo impulsado por las tendencias emergentes que afectan tanto a la producción como a la gestión y comer-

cialización de productos agrícolas. Estas tendencias reflejan el dinamismo del sector y la necesidad de adaptación para enfrentar los desafíos del futuro.

## Digitalización y agricultura de precisión

La digitalización en el sector agropecuario se refiere a la incorporación de tecnologías digitales para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la producción agrícola. Un ejemplo destacado de esta tendencia es la agricultura de precisión, la cual utiliza herramientas como sensores, drones y tecnología de imágenes satelitales para monitorear y gestionar los cultivos de manera más eficiente (Kim et al., 2020).

La agricultura de precisión permite a los agricultores recolectar datos detallados sobre las condiciones del suelo, el estado de los cultivos y el uso de insumos. Con esta información, se pueden realizar aplicaciones más precisas de agua, fertilizantes y pesticidas, lo que reduce el desperdicio, mejora el rendimiento de los cultivos y minimiza el impacto ambiental (Mollahoseini et al., 2021).

Además, la integración de sistemas de información geográfica (SIG) y el uso de algoritmos de aprendizaje automático están permitiendo a los agricultores predecir tendencias y ajustar sus estrategias en tiempo real. Esta digitalización está transformando la manera en que se gestionan los recursos y se toman decisiones en el campo (García-Martínez et al., 2022).

## Sostenibilidad y agricultura regenerativa

La sostenibilidad es una tendencia clave en el sector agropecuario, enfocada en la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental y promuevan la conservación de recursos. La agricultura regenerativa se ha convertido en un enfoque prominente que busca no solo mantener, sino mejorar la salud del suelo, la biodiversidad y los ecosistemas agrícolas (FAO, 2020).

La agricultura regenerativa incluye prácticas como la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura y la integración de ganado en los sistemas agrícolas. Estas técnicas ayudan a mejorar la calidad del suelo, aumentar la captura de carbono y reducir la erosión. Además, la agricultura regenerativa contribuye a la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático y a la degradación ambiental (Mollahoseini et al., 2021).

En la figura 4 se presenta un esquema sobre el proceso de la agricultura regenerativa en cinco pasos. Esta agricultura se enfoca en restaurar y mejorar la salud del suelo, la biodiversidad y los ecosistemas. Adoptar estas prácticas contribuye a la seguridad alimentaria a largo plazo y al desarrollo sostenible en el sector agrícola.

**Figura 4.** Proceso de la agricultura regenerativa

**Nota:** pasos a tener en cuenta en los procesos de agricultura regenerativa de producción natural.

**Fuente:** Vega Ortiz (2014).

El interés creciente en la sostenibilidad también ha llevado a la adopción de certificaciones y estándares que garantizan prácticas agrícolas responsables. Tal es el caso de las certificaciones orgánicas y de comercio justo, que responden a una demanda de

los consumidores por productos más sostenibles y éticamente producidos (Yaseen et al., 2021).

## Innovación en la cadena de valor agroalimentaria

La innovación en la cadena de valor agroalimentaria se refiere a la mejora de los procesos que van desde la producción hasta el consumo de productos agrícolas. Esta tendencia incluye la optimización de la logística, el desarrollo de nuevos productos y la mejora en la trazabilidad de los alimentos (Rostami y Menhas, 2022).

La tecnología *blockchain* se está utilizando para mejorar la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministro agroalimentaria. Mediante el uso de *blockchain*, es posible registrar cada paso en la cadena de valor de manera segura y accesible, lo que ayuda a asegurar la calidad y el origen de los productos, reducir el fraude y aumentar la confianza del consumidor (Kim et al., 2020).

La innovación en envases y embalajes también está ganando relevancia, con el desarrollo de soluciones más sostenibles y funcionales. Esto incluye envases biodegradables y técnicas de conservación que prolongan la vida útil de los productos sin recurrir a aditivos químicos (García-Martínez et al., 2022).

## Integración de la ciencia de datos y la inteligencia artificial

La ciencia de datos y la inteligencia artificial (IA) están revolucionando el sector agropecuario al proporcionar herramientas avanzadas para el análisis y la interpretación de grandes volúmenes de datos. La aplicación de IA en la agricultura permite a los agricultores predecir patrones climáticos, optimizar el uso de insumos y gestionar los cultivos de manera más efectiva (Mollahoseini et al., 2021).

Las plataformas de análisis de datos utilizan algoritmos de aprendizaje automático para procesar datos de sensores, imágenes satelitales y otras fuentes. Estos análisis proporcionan *insights* valiosos que ayudan en la toma de decisiones, la planificación de cultivos y la gestión de riesgos. Por ejemplo, los modelos predictivos pueden anticipar la aparición de plagas o enfermedades, permitiendo a los agricultores tomar medidas preventivas antes de que se conviertan en problemas significativos (FAO, 2020). Además, la robotización y los drones equipados con cámaras y sensores están transformando el monitoreo y la gestión de los cultivos, haciendo que estas tareas sean más precisas y menos laboriosas (Yaseen et al., 2021).

## Innovación y emprendimiento en el sector agropecuario

El sector agropecuario está experimentando una transformación significativa impulsada por la innovación y el emprendimiento. Estos elementos son cruciales para abordar los desafíos actuales y futuros del sector, que incluyen aumentar la producción alimentaria, mejorar la sostenibilidad y adaptarse a los cambios climáticos.

### Emprendimiento en el sector agropecuario

El emprendimiento agropecuario está surgiendo como un motor clave para la innovación y el desarrollo en el sector agrícola. Los emprendedores en este campo están introduciendo nuevas tecnologías, modelos de negocio y prácticas que buscan mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia de la agricultura (Rostami y Menhas, 2022).

Los emprendedores agropecuarios a menudo se centran en áreas como la agricultura de precisión, la biotecnología y los sistemas de gestión de recursos. Estos innovadores están aplicando tecnologías emergentes para resolver problemas específicos, desde la optimización del uso de agua hasta la mejora de la calidad de los cultivos. Por ejemplo, las *start-ups* en agricultura de precisión están utilizando sensores y plataformas de análisis de datos para proporcionar a los agricultores recomendaciones personalizadas y en tiempo real sobre el manejo de los cultivos (Kim et al., 2020).

Además, los emprendedores están explorando modelos de negocio sostenibles que integran principios de economía circular y gestión de recursos eficientes. Esto incluye la reutilización de residuos agrícolas, el desarrollo de productos derivados de subproductos y la adopción de prácticas agrícolas regenerativas que buscan mejorar la salud del suelo y la biodiversidad (Mollahoseini et al., 2021).

### Innovaciones tecnológicas y nuevas soluciones

Las innovaciones tecnológicas están desempeñando un papel fundamental en el avance del sector agropecuario. Las tecnologías emergentes están permitiendo a los emprendedores desarrollar nuevas soluciones que abordan desafíos complejos y mejoran la eficiencia en la producción agrícola. Entre estas innovaciones, se destacan las siguientes:

- *Biotechnología*: la biotecnología está transformando el sector agropecuario mediante el desarrollo de cultivos genéticamente modificados que son más resistentes a plagas, enfermedades y condiciones climáticas extremas. Esta

tecnología también está permitiendo la creación de soluciones para mejorar la calidad nutricional de los alimentos (FAO, 2020).

- *Tecnología de drones y sensores*: los drones y los sensores están revolucionando la forma en que se monitorean y gestionan los cultivos. Los drones equipados con cámaras de alta resolución pueden capturar imágenes detalladas que ayudan a los agricultores a identificar problemas en los cultivos, mientras que los sensores proporcionan datos en tiempo real sobre el estado del suelo y las condiciones ambientales (García-Martínez et al., 2022).
- *Plataformas de análisis de datos*: las plataformas de análisis de datos están permitiendo a los emprendedores realizar análisis complejos y obtener *insights* valiosos para la toma de decisiones. Estos sistemas utilizan algoritmos avanzados para procesar grandes volúmenes de datos y ofrecer recomendaciones basadas en el análisis predictivo (Yaseen et al., 2021).

## Modelos de negocio innovadores

Los modelos de negocio innovadores en el sector agropecuario están surgiendo como respuesta a las demandas cambiantes de los consumidores y las presiones ambientales. Estos modelos buscan no solo mejorar la eficiencia y la rentabilidad, sino también contribuir a la sostenibilidad del sector.

- *Economía circular*: el modelo de economía circular está siendo adoptado para maximizar el valor de los recursos y minimizar los residuos. En la agricultura, esto se traduce en prácticas como el compostaje de residuos orgánicos, la reutilización de subproductos agrícolas y la integración de sistemas de producción que cierran el ciclo de los nutrientes (Rostami y Menhas, 2022).
- *Agri-tech y plataformas digitales*: las plataformas digitales están facilitando el acceso a recursos y servicios para los agricultores, desde asesoramiento técnico hasta oportunidades de mercado. Las *startups* en *agri-tech* están desarrollando aplicaciones móviles y plataformas en línea que conectan a los agricultores con proveedores de insumos, compradores y expertos en el sector (Kim et al., 2020).
- *Agricultura vertical y urbana*: la agricultura vertical y urbana está ganando popularidad como una solución para la producción de alimentos en áreas urbanas y periurbanas. Estos modelos de cultivo utilizan espacios reducidos y tecnologías avanzadas para producir alimentos frescos y sostenibles cerca de los consumidores, reduciendo la necesidad de transporte y mejorando la seguridad alimentaria (Mollahoseini et al., 2021).

## Desafíos y oportunidades para el emprendimiento en el sector agropecuario

El emprendimiento en el sector agropecuario enfrenta una serie de desafíos y oportunidades que influyen en la capacidad de los nuevos negocios para prosperar y contribuir a la innovación en el sector. Estos desafíos abarcan desde aspectos financieros y tecnológicos hasta cuestiones relacionadas con el acceso al mercado y la sostenibilidad.

### Acceso a financiamiento y recursos

Uno de los principales desafíos para los emprendedores en el sector agropecuario es el acceso a financiamiento. A menudo, los proyectos agropecuarios requieren inversiones significativas en tecnología, infraestructura y capacitación, lo que puede ser una barrera considerable para los nuevos emprendedores (Rostami y Menhas, 2022).

Para superar este desafío, es fundamental que los emprendedores busquen diversas fuentes de financiamiento, incluyendo inversores ángeles, capital de riesgo y subvenciones gubernamentales. Además, las plataformas de *crowdfunding* están surgiendo como una alternativa viable para financiar proyectos agropecuarios innovadores, permitiendo a los emprendedores obtener apoyo financiero de una amplia base de inversores (Mollahoseini et al., 2021).

### Integración de nuevas tecnologías

La integración de nuevas tecnologías representa tanto un desafío como una oportunidad para los emprendedores en el sector agropecuario. Aunque la adopción de tecnologías avanzadas puede mejorar significativamente la eficiencia y la productividad, también puede ser costosa y requerir una capacitación especializada (García-Martínez et al., 2022).

Los emprendedores deben estar preparados para superar las barreras tecnológicas mediante la colaboración con empresas tecnológicas, la participación en programas de capacitación y la adopción gradual de tecnologías que se adapten a sus necesidades específicas. La inversión en tecnología, como la agricultura de precisión, los drones y los sistemas de análisis de datos, puede ofrecer ventajas competitivas significativas y mejorar la sostenibilidad (Kim et al., 2020).

### Acceso a mercados y canales de distribución

El acceso a mercados y canales de distribución es otro desafío crucial para los emprendedores agropecuarios. Los nuevos productos agrícolas y tecnológicos deben ser introducidos en un mercado competitivo, lo que puede requerir estrategias de *marketing* efectivas y la creación de redes de distribución eficientes (Yaseen et al., 2021).

Para abordar este desafío, los emprendedores pueden aprovechar plataformas digitales y redes sociales para aumentar la visibilidad de sus productos y conectar con consumidores y distribuidores. La colaboración con minoristas y la participación en ferias y exposiciones del sector también pueden facilitar el acceso a nuevos mercados (Mollahoseini et al., 2021).

## Cumplimiento de normativas y certificaciones

El cumplimiento de normativas y certificaciones es fundamental para operar en el sector agropecuario. Los emprendedores deben cumplir con regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con la seguridad alimentaria, el uso de pesticidas y fertilizantes, y las prácticas laborales (FAO, 2020).

Obtener certificaciones como las de orgánico o comercio justo puede proporcionar una ventaja competitiva al demostrar el compromiso con prácticas sostenibles y responsables. Sin embargo, el proceso de certificación puede ser complejo y costoso, lo que representa un desafío adicional para los emprendedores (García-Martínez et al., 2022).

## Casos de éxito y fracaso en el sector agropecuario

El análisis de casos de éxito y fracaso en el sector agropecuario ofrece valiosas lecciones para los emprendedores y los actores del sector. Estos casos proporcionan *insights* sobre las mejores prácticas y los errores que deben evitarse para fomentar un emprendimiento sostenible y eficaz.

## Casos de éxito en innovación agropecuaria

Los casos de éxito en el sector agropecuario suelen estar caracterizados por la adopción efectiva de tecnologías innovadoras y estrategias empresariales adaptativas. A continuación, se presentan algunos ejemplos relevantes.

- *Vertical Harvest*: esta empresa, que opera invernaderos verticales en áreas urbanas, ha logrado un gran éxito mediante el uso de tecnología avanzada para cultivar alimentos frescos en espacios reducidos. La empresa ha integrado sistemas hidropónicos y tecnología de control ambiental para maximizar la producción en entornos urbanos, reduciendo la necesidad de transporte y mejorando la frescura de los productos (García-Martínez et al., 2022).

Figura 5. Proyección de necesidades al 2050



**Nota:** necesidades imperativas para la sociedad.

**Fuente:** McKinsey (2020, citado en Vertical Harvest Farms, 2022).

Figura 6. Cantidad de agua usada en los cultivos de Vertical Harvest



**Nota:** cantidad de agua usada por las granjas de Vertical Harvest para producir una lechuga.

**Fuente:** Vertical Harvest Farms (2022).

- *Ecorobotix*: esta empresa ha desarrollado sus productos para agricultura utilizando tecnologías de precisión para aplicar herbicidas y fertilizantes de manera selectiva. Esto no solo mejora la eficiencia de la aplicación de insumos, sino que

también reduce el uso de productos químicos y el impacto ambiental asociado (Kim et al., 2020).

- *AgBiome*: esta empresa se ha destacado por su enfoque innovador en la biotecnología agrícola, desarrollando soluciones basadas en microbiomas del suelo para mejorar la salud de los cultivos y aumentar la resiliencia a plagas y enfermedades. Este enfoque ha llevado a la creación de productos biológicos que reemplazan a los pesticidas químicos tradicionales (Mollahoseini et al., 2021).

## Casos de fracaso en el sector agropecuario

A pesar de los muchos casos de éxito, también existen casos de fracaso que proporcionan lecciones importantes para los emprendedores. Los fracasos en el sector agropecuario a menudo se deben a una combinación de factores, como la falta de adaptación a las condiciones locales, problemas de financiación y desafíos en la implementación de tecnologías (Yaseen et al., 2021). A continuación, se presentan algunos ejemplos relevantes.

- *AeroFarms*: aunque AeroFarms ha sido pionera en la agricultura vertical, la empresa enfrentó desafíos significativos relacionados con la escalabilidad y los costos operativos. La falta de adaptación a las condiciones económicas cambiantes y la competencia en el mercado de agricultura vertical le ocasionaron dificultades financieras (FAO, 2020).
- *The Land Institute*: The Land Institute se centró en la agricultura de sistemas perennes y enfrentó dificultades para demostrar la viabilidad comercial de sus innovaciones. Los problemas relacionados con la adopción de tecnologías a gran escala y la falta de infraestructura adecuada para soportar las nuevas prácticas contribuyeron a los desafíos que tuvo que enfrentar (Rostami y Menhas, 2022).

## Lecciones aprendidas de casos de éxito y fracaso

El análisis de casos de éxito y fracaso ofrece varias lecciones importantes para los emprendedores en el sector agropecuario. A continuación, se presentan algunas de esas lecciones.

- *Adaptación local*: es crucial adaptar las tecnologías y los modelos de negocio a las condiciones locales. La comprensión de las necesidades específicas del mercado y las condiciones ambientales puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso (García-Martínez et al., 2022).
- *Gestión financiera*: una planificación financiera sólida y la búsqueda de fuentes de financiamiento diversificadas son esenciales para la sostenibilidad a largo

plazo. Los fracasos a menudo están vinculados a problemas financieros que podrían haberse mitigado con una mejor gestión (Mollahoseini et al., 2021).

- *Innovación continua*: la innovación debe ser un proceso continuo, no un único esfuerzo. Los emprendedores exitosos están constantemente buscando maneras de mejorar y adaptar sus tecnologías y estrategias (Kim et al., 2020).
- *Colaboración y redes*: establecer redes sólidas y colaborar con otros actores del sector puede proporcionar apoyo adicional y recursos críticos. Las asociaciones estratégicas pueden facilitar el acceso a tecnología, conocimiento y mercados (Yaseen et al., 2021).

## Impacto de las políticas públicas en el emprendimiento agropecuario

Las políticas públicas desempeñan un papel crucial en la configuración del ecosistema emprendedor en el sector agropecuario. Estas políticas pueden fomentar la innovación, mejorar el acceso a recursos y garantizar la sostenibilidad, pero también pueden presentar desafíos si no se diseñan e implementan adecuadamente.

### Políticas de apoyo y subsidios

Las políticas de apoyo y subsidios son herramientas clave para impulsar el emprendimiento en el sector agropecuario. Los subsidios gubernamentales pueden ayudar a reducir los costos iniciales de inversión, hacer que las tecnologías innovadoras sean más accesibles y fomentar la adopción de prácticas sostenibles (García-Martínez et al., 2022).

Por ejemplo, en muchos países, los gobiernos ofrecen subsidios para la adopción de tecnologías de agricultura de precisión, lo que puede reducir la barrera financiera para los pequeños y medianos agricultores. Estos subsidios pueden incluir descuentos en la compra de equipos, asistencia técnica y formación en el uso de nuevas tecnologías (Kim et al., 2020).

### Regulaciones ambientales y sostenibilidad

Las regulaciones ambientales juegan un papel fundamental en la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Las políticas que establecen normativas estrictas sobre el uso de pesticidas, fertilizantes y la gestión de residuos ayudan a garantizar que las prácticas agrícolas minimicen el impacto ambiental (Mollahoseini et al., 2021).

Por otro lado, las políticas que promueven la agricultura regenerativa y el uso de prácticas sostenibles pueden ofrecer incentivos para los agricultores que adopten métodos que mejoren la salud del suelo, reduzcan la erosión y aumenten la biodiversidad. Estas políticas pueden incluir programas de certificación, recompensas fiscales y apoyo para la investigación en técnicas sostenibles (FAO, 2020).

## Fomento de la innovación y la investigación

Las políticas de fomento de la innovación y la investigación son esenciales para el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas en el sector agropecuario. Los gobiernos pueden apoyar la investigación agrícola mediante la financiación de proyectos de investigación, la creación de centros de innovación y la colaboración con instituciones académicas (Rostami y Menhas, 2022).

Además, las políticas que facilitan la transferencia de tecnología desde los centros de investigación hacia el campo, a través de programas de extensión y capacitación, pueden ayudar a acelerar la adopción de nuevas tecnologías y prácticas entre los agricultores (Yaseen et al., 2021).

## Infraestructura y acceso a mercados

La infraestructura es otro aspecto crítico para el desarrollo del sector agropecuario. Las políticas que invierten en la mejora de la infraestructura rural, como carreteras, sistemas de riego y almacenes, pueden mejorar significativamente la eficiencia de la producción y la comercialización de productos agrícolas (García-Martínez et al., 2022).

Asimismo, las políticas que facilitan el acceso a mercados para los pequeños y medianos productores, como la promoción de plataformas de comercialización en línea y ferias agropecuarias, pueden abrir nuevas oportunidades para los emprendedores y mejorar su competitividad en el mercado global (Kim et al., 2020).

## Referencias

Agricultura de las Américas. (s. f.). *Estadísticas recientes acerca de la evolución del agro mundial*. <https://agriculturadelasamericas.com/agricultura/estadisticas-recientes-sobre-el-agro-del-mundo/#::~:~:text=No%20solo%20eso%2C%20sino%20que,millones%20de%20toneladas%20en%202019>.

Banco Mundial. (2022, 5 de octubre). *Riego resiliente frente al clima*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-resilient-irrigation>

- García-Martínez, J. L., Ortiz-Miranda, D. y Hernández-Guillén, F. (2022). Emprendimiento en el sector agrario: retos y oportunidades en el siglo XXI. *Revista Iberoamericana de Economía Agraria*, 12(2), 189-205.
- Martínez Santos, D. L. (2024). Estrategias para la comercialización de productos agropecuarios en el distrito de Turbo, a partir de la vigilancia tecnológica. En M. Avendaño y S. R. Mondragón (Comps.), *Perspectivas e interacciones entre el mundo físico y virtual para los nuevos retos del desarrollo socioeconómico* (pp. 59-84). Sello Editorial UNAD. <https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/view/275/263/5464>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, & Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4<sup>th</sup> ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Otero Tapia, A., Pitre Redondo, R. C., Ariza Molina, F. M. y Jiménez Cárdenas, M. (2024). *Asociatividad como estrategia para fortalecer las cadenas de valor agroindustriales*. Sello Editorial UNAD. <https://doi.org/10.22490/UNAD.9786287786059>
- Vega Ortiz, V. (2014). *Manual Regeneración de la tierra*. Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji. <https://www.uttt.edu.mx/extensionismo/Informacion/Publicaciones/Serie.%20Agricultura%20Regenerativa/3.-Regeneraci%C3%B3n%20de%20la%20tierra.pdf>
- Vertical Harvest Farms. (2022, 14 de septiembre). *Vertical Harvest Jackson Hole Virtual Tour* [video]. <https://vimeo.com/749780976>
- Wallace-Springer, N. (2021, 1 de marzo). *¿Qué debes de saber acerca de la agricultura vertical?* <https://www.pthorticulture.com/es-us/centro-de-formacion/que-debes-de-saber-acerca-de-la-agricultura-vertical>
- Yaseen, M., Zhang, X., Liu, Y., & Akram, W. (2021). The Role of Agricultural Extension Services in Agricultural Sustainability. *\*Sustainability\**, 13(14), 7655.



## Capítulo 8.

# Estimación del almacenamiento de carbono y emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> por deforestación en el departamento del Cesar, Colombia

**Alexander Salazar Montoya**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0504-6679>

**Belky Josefina Rodríguez Zuleta**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-7867>

**Gloria María Restrepo Franco**

Universidad de Manizales  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0443-0369>

**Esteban Álvarez Dávila**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9032-0099>

## Resumen

La estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques naturales es un aspecto importante para valorar los bienes y servicios ambientales generados en el departamento del Cesar, y definir estrategias de conservación y manejo sostenible de estos ecosistemas. El Cesar posee una gran riqueza de ecosistemas y zonas de vida, que le brindan un potencial ambiental para un desarrollo agropecuario, económico y social sostenible. No obstante, hay pocos estudios sobre la estructura y la diversidad de sus bosques, que permitan conocer y valorar los servicios ambientales asociados.

El propósito de este trabajo es estimar el contenido de carbono en la biomasa aérea de los bosques naturales del Cesar y las emisiones potenciales de  $\text{CO}_2$  por deforestación. Para esto, se utilizó la siguiente metodología: 1) se elaboró un mapa de carbono de la vegetación del departamento con base en un mapa de cobertura vegetal y usos del suelo del 2000, y se usaron 177 parcelas de vegetación con áreas entre 0,1 y 0,3 ha para estimar el carbono en la biomasa mediante ecuaciones alométricas; 2) se estimaron las tasas de deforestación a partir de mapas globales disponibles en la red, y 3) se estimaron las emisiones de  $\text{CO}_2$  para el período 2000-2013 multiplicando el contenido de carbono en el área deforestada por un factor de 3,61, de acuerdo con las recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

A partir del mapa de cobertura vegetal, se concluyó que el departamento del Cesar posee un área de 1 098 701 hectáreas de bosques y otros tipos de vegetación (bosques secundarios, vegetación de páramo, arbustales, etcétera) que almacenaron 346 762 256 toneladas de  $\text{CO}_2$ . La deforestación promedio anual fue de 7076 hectáreas entre el 2001 y el 2013, con una pérdida acumulada de área boscosa de 84 923 hectáreas, y generó 98 365 651,93 toneladas de  $\text{CO}_2$  en el departamento.

**Palabras clave:** biomasa aérea, bosques tropicales, cambio climático, ecuaciones alométricas, gases de efecto invernadero

## Abstract

The estimation of the carbon stored in the aerial biomass of natural forests is an important aspect to value the environmental goods and services generated in the department of Cesar, and to define strategies for the conservation and sustainable management of these ecosystems. Cesar has a wealth of ecosystems and life zones, which offer environmental potential for sustainable agricultural, economic and social development. However, there are few studies on the structure and diversity of its forests, which allow us to know and value the associated environmental services.

This work aims to estimate the carbon content in the aerial biomass of the natural forests of Cesar and the potential  $\text{CO}_2$  emissions from deforestation. For this, the following methodology was used: 1) a vegetation carbon map of the department was elaborated based on a vegetation cover and land use map of 2000, and 177 vegetation plots with areas between 0.1 and 0.3 ha were used to estimate carbon in biomass using allometric equations; 2) deforestation rates were estimated from global maps available on the web, and 3)  $\text{CO}_2$  emissions for the period 2000-2013 were estimated by multiplying the carbon content in the deforested area by a factor of 3.61, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recommendations.

Based on the vegetation cover map, it was concluded that the department of Cesar has an area of 1 098 701 hectares of forests and other vegetation types (secondary forests, paramo vegetation, shrublands, etc.) that stored 346 762 256 tonnes of CO<sub>2</sub>. The average annual deforestation was 7076 hectares between 2001 and 2013, with a cumulative loss of forest area of 84 923 hectares, and generated 98 365 651.93 tonnes of CO<sub>2</sub> in the department.

**Keywords:** aerial biomass, tropical forests, climate change, allometric equations, greenhouse gases

## Introducción

En los últimos años, la deforestación y el crecimiento de la vegetación secundaria han hecho que los bosques se conviertan tanto en fuentes como en sumideros de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Zarin et al., 2016). La pérdida de bosques tropicales representó más del 90 % de la deforestación mundial en el periodo 2000-2018, con 157 millones de ha, lo que equivale al tamaño de Europa occidental aproximadamente. Sin embargo, la deforestación anual en el trópico disminuyó significativamente, pasando de 10,1 millones de ha al año en el periodo 2000-2010 a 7 millones de ha al año en el periodo 2010-2018 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

Entre el 2005 y el 2010, la zona Caribe colombiana tenía 1 807 073 hectáreas de bosque, con una deforestación anual de 40 018 hectáreas, que corresponden a un porcentaje de pérdida media anual de 2,21 %, siendo la zona con mayor porcentaje de deforestación acumulada del país (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015). Esta situación de deforestación junto con la degradación del suelo y la escasez y contaminación del agua aumentan la vulnerabilidad de la zona rural al cambio climático, dado que, en el mejor escenario, se espera un aumento en la temperatura media entre 1 y 1,5 °C, con una disminución en la precipitación entre el 10 y el 40 % en el Caribe y en la Amazonía.

La deforestación en el departamento del Cesar, en Colombia, está relacionada con la ampliación de la frontera pecuaria y agrícola, y el uso de tierras para cultivos ilícitos. Por este motivo y por estar dentro de la zona de mayor deforestación acumulada del país, es necesario evaluar y promover el mantenimiento de servicios ambientales derivados de los bosques naturales, como por ejemplo la capacidad de almacenamiento de carbono (Yepes et al., 2011). La baja presencia institucional para promover el uso adecuado y el cumplimiento normativo, así como el inadecuado desarrollo y aplicación de los planes ordenamiento y de manejo forestal son algunas de las causas principales del problema de la pérdida de bosques en el departamento (Corporación Autónoma Regional del Cesar [Corpocesar], 2013; DNP, 2020).

Este trabajo tiene por objetivo general elaborar un mapa de carbono almacenado en la biomasa y estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> por la deforestación en el departamento del Cesar. En particular, se busca responder las siguientes preguntas: i) ¿cuáles son las reservas potenciales de carbono almacenadas en los diferentes tipos de vegetación del departamento? y ii) ¿cuál ha sido la cantidad de CO<sub>2</sub> potencialmente emitida por efecto de la deforestación entre el 2001 y el 2014 en el departamento del Cesar? Con los resultados obtenidos, se espera generar información que sirva para establecer estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en el departamento, y para formular e implementar proyectos de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD).

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Según el *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*, el departamento cuenta con 25 municipios y se encuentra localizado

al nororiente colombiano, limita al norte con el departamento de La Guajira, al occidente con los departamentos de Magdalena y Bolívar, al sur con el departamento de Santander y al occidente con el departamento de Norte de Santander y la República de Venezuela. (Corpocesar, 2013, p. 21)

### Análisis

#### Construcción del mapa de carbono

- *Mapa de cobertura vegetal y usos del suelo*: para determinar las áreas de los diferentes tipos de cobertura del bosque, se tuvieron en cuenta los mapas digitales de cobertura vegetal, zonas de vida y usos del suelo para el Cesar, así como el *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*. Se realizó un cruce espacial de las zonas de vida, coberturas naturales y usos del suelo, según información de Corpocesar (2013), con el mapa de ecosistemas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) et al. (2007).
- *Inventarios forestales*: se utilizaron 177 inventarios forestales en parcelas de 0,2 a 0,6 ha, los cuales se realizaron entre el 2003 y el 2005, y se encuentran en las bases de datos de la Red de monitoreo de los bosques de Colombia. Las parcelas

contienen información de árboles con DAP  $\geq 5$ . Se estimó la altura de cada uno de los individuos y se establecieron en 8 zonas de vida.

- *Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa:* para la estimación de la biomasa de cada parcela, se usaron ecuaciones alométricas que predicen el peso seco en kg de cada árbol (incluyendo toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, como hojas, fuste y ramas) en función del diámetro del tallo, la densidad de la madera y la altura total (ecuación 1). La densidad de la madera se tomó de la base de datos global de densidad de la madera y se asignó a cada especie, género o familia de acuerdo con métodos recomendados en la literatura (Chave et al., 2009).

$$BA = a + b (D^2 H \ell) \quad (\text{ecuación 1})$$

donde

BA: biomasa o peso seco del árbol (kg)

D: diámetro a la altura del pecho, medido a 1,30 m de altura sobre el suelo (cm)

$\ell$ : densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

H: altura total del árbol

b: constante del modelo

Se usaron ecuaciones de biomasa para bosques tropicales, algunas desarrolladas por diferentes autores (Álvarez et al., 2012; Lerma y Orjuela, 2014; Sierra et al., 2007) y otras publicadas en artículos científicos. Estas ecuaciones, estimadas para diferentes formas de crecimiento y zonas de vida, se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Ecuaciones alométricas

| Zona de vida | Tipo de cobertura | DAP (cm) | Ecuación                                                                                           | Referencia            |
|--------------|-------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| bh-PM        | RA                | > 1      | $\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$                                                                      | Sierra et al. (2007)  |
| bh-PM        | RB                | > 1      | $\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$                                                                      | Sierra et al. (2007)  |
| bh-PM        | B                 | > 10     | $\exp(1.960 - 1.098 * \ln(DAP) + 1.169 * (\ln(DAP))^2 - 0.122 * (\ln(DAP))^3 + 1.061 * (\ln(Dm)))$ | Álvarez et al. (2012) |

| Zona de vida     | Tipo de cobertura | DAP (cm) | Ecuación                                                                                 | Referencia             |
|------------------|-------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| bh-T             | RA                | > 1      | $\exp(-2.232 + 2.422 \ln(D))$                                                            | Sierra et al. (2007)   |
| bh-T             | B                 | > 10     | $\exp(2.406 - 1.289 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 0.445 \ln(Dm))$ | Álvarez et al. (2012)  |
| bs-PM            | RA                | >1       | $\exp(-1.61878 + 2.10643 \ln(D) + 0.326326 \ln(Dm))$                                     | Álvarez et al. (2012)  |
| bs-PM            | B                 | >10      | $\exp(3.652 - 1.697 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.285 \ln(Dm))$ | Álvarez et al. (2012)  |
| bs-T             | PA                | >1       | $\exp(-1.61878 + 2.10643 \ln(D) + 0.326326 \ln(Dm))$                                     | Álvarez et al. (2012)  |
| bs-T             | B                 | >10      | $\exp(3.652 - 1.697 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.285 \ln(Dm))$ | Álvarez et al. (2012)  |
| bh-MB            | B                 | >10      | $\exp(1.836 - 1.255 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 - 0.222 \ln(Dm))$ | Álvarez et al. (2012)  |
| bmh-MB           | B                 | >10      |                                                                                          |                        |
| bh-M             | B                 | >10      | $\exp(3.130 - 1.536 \ln(DAP) + 1.169 (\ln(DAP))^2 - 0.122 (\ln(DAP))^3 + 1.767 \ln(Dm))$ | Álvarez et al. (2012)  |
| Páramo Subpáramo | B                 | > 5      | $\exp(-1.85 + 2.11 \ln(DAP))$                                                            | Lerma y Orjuela (2014) |

**Nota:** ecuaciones alométricas empleadas como variable predictiva de la biomasa aérea respecto al diámetro normal medido a 130 cm del suelo, donde RA es la vegetación secundaria alta, RB es la vegetación secundaria baja, B es el bosque y PA son las pasturas arboladas.

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente, se sumó la biomasa de todos los individuos para obtener la biomasa de cada parcela y se agruparon los inventarios forestales por tipo de cobertura vegetal o uso del suelo. Adicionalmente, para coberturas como plantaciones forestales, cultivos arbustivos/herbáceos y pastos, se consultó información disponible en diferentes estudios como se indica en la tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de referencia para estimar el carbono almacenado en diferentes cultivos del departamento del Cesar

| Criterio             | Fijación de CO <sub>2</sub> toneladas/hectárea | Referencia            |
|----------------------|------------------------------------------------|-----------------------|
| Palma africana       | 80-120                                         | Castilla (2004)       |
| Café                 | 51                                             | White et al. (2011)   |
| Sorgo, arroz, pastos | 0,86                                           | Andrade et al. (2014) |
| Eucalipto            | 43,58                                          | Norverto (s. f.)      |
| Cacao                | 1                                              | Andrade et al. (2013) |

**Nota:** cultivos reportados en el mapa de cobertura vegetal y usos del suelo del departamento del Cesar.

**Fuente:** elaboración propia.

Con estos métodos se obtuvo el contenido de carbono para 45 coberturas de uso del suelo, en 8 zonas de vida que contiene el mapa del Plan de ordenamiento forestal (anexo 1).

## **Estimación de las emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> por deforestación en el departamento del Cesar**

En primera instancia, se tomó la información disponible sobre deforestación de Hansen et al. (2013) para el departamento del Cesar. Luego, esta se superpuso con los mapas de zonas de vida y usos del suelo de Corpocesar (2013). Finalmente, se estimó el área deforestada por tipo de cobertura total y por año para el periodo 2000-2014 de acuerdo con dicha información. Como producto se obtuvieron las tasas de deforestación para el departamento en ese periodo. El análisis preliminar se realizó a partir de las series temporales de imágenes Landsat sobre la caracterización de la extensión forestal global y el cambio comprendido entre el 2000 y el 2014, junto con las imágenes de Hansen et al. (2013).

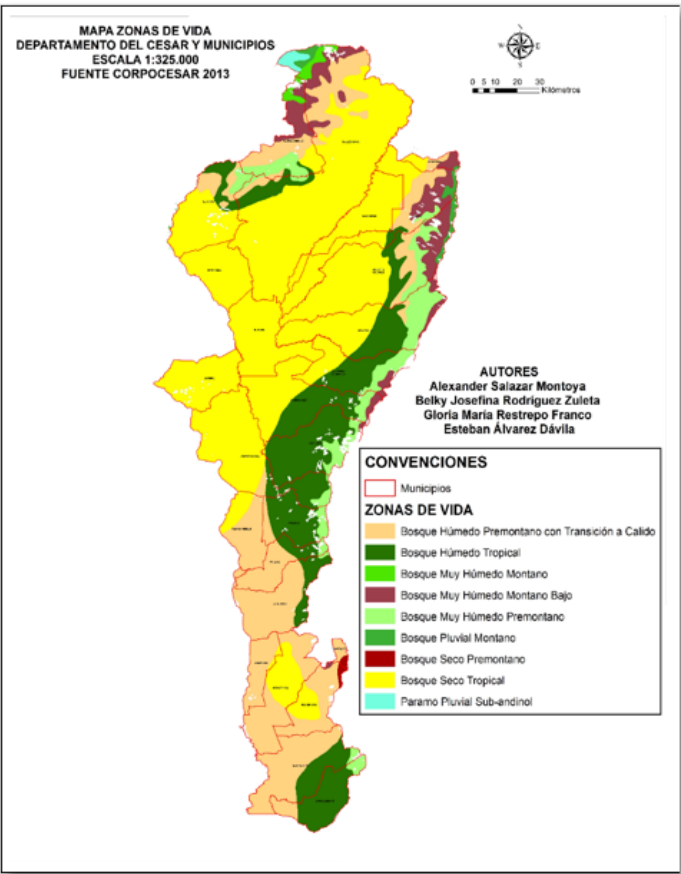
En cuanto al cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se estimó el carbono para el área deforestada y se multiplicó por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de carbono de biomasa aérea en las áreas deforestadas, cuyo valor es de 3,67. Este factor resulta de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono (44) entre el peso específico del carbono (12). Esta metodología se considera una buena práctica por parte del IPCC (Eggleston et al., 2006; Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC], 2001).

## Resultados y discusión

### Determinación de las áreas de bosque natural en el departamento del Cesar

En la figura 7 se observa la ubicación espacial de cada una de las zonas de vida del departamento del Cesar con su respectiva división municipal. Esta información se encuentra detallada en el anexo 2.

**Figura 7.** Mapa de las zonas de vida del departamento del Cesar con su división municipal



**Fuente:** elaboración propia a partir de Corpocesar (2013).

En la tabla 3 se relacionan 9 zonas de vida con un área de 1 098 701 ha. El bosque seco tropical predomina con 438 000 ha que representan el 39,9 % del área total del departamento del Cesar, una de las áreas boscosas más amenazadas del país que requiere

gran atención y estrategias de conservación. Le sigue el bosque húmedo premontano (incluyendo la transición a cálido) con 320 000 ha que representan el 29,2 % del área del departamento. Luego, se encuentra el bosque húmedo tropical con 218 000 ha que equivalen al 19,9 % del área del departamento. En total, estas tres áreas de bosque suman el 89 % del área del Cesar; por tanto, se deben priorizar en los proyectos de manejo y conservación de los planes departamentales y municipales de desarrollo, el Plan de Acción Institucional de Corpocesar y el Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar, teniendo en cuenta los bienes y servicios ambientales que prestan estos ecosistemas.

**Tabla 3.** Zonas de vida según Holdridge en el departamento del Cesar

| Zona de vida                                     | Área (ha)    | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|--------------|----------------|
| Bosque seco tropical                             | 438 534,61   | 39,9           |
| Bosque húmedo tropical                           | 218 460,36   | 19,9           |
| Bosque seco premontano                           | 1928,31      | 0,2            |
| Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 220 480,17   | 20,1           |
| Bosque muy húmedo premontano                     | 100 374,95   | 9,1            |
| Bosque muy húmedo montano bajo                   | 86 386,21    | 7,9            |
| Bosque muy húmedo montano                        | 11 618,25    | 1,1            |
| Bosque pluvial montano                           | 13 911,98    | 1,3            |
| Páramo pluvial subandino                         | 7006,69      | 0,6            |
| Total                                            | 1 098 701,53 | 100            |

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 4 se muestra el análisis del uso del suelo en las zonas de vida en contraste con las coberturas con presencia de bosques naturales o áreas con influencia de árboles. Se evidencia la presencia de 14 usos del suelo diferentes con sus respectivas áreas y porcentajes, en los cuales se resalta la dominancia del arbustal con el 30,88 % de toda el área (anexo 3).

**Tabla 4.** Usos del suelo según la metodología CORINE Land Cover en el departamento del Cesar

| Uso                                              | Área (ha)    | %       |
|--------------------------------------------------|--------------|---------|
| Arbustal                                         | 339 234,91   | 30,88 % |
| Bosque de galería o ripario                      | 42 152,57    | 3,84 %  |
| Bosque denso                                     | 71 793,51    | 6,53 %  |
| Bosque fragmentado                               | 48 745,61    | 4,44 %  |
| Cultivos agroforestales (palma africana)         | 28 777,03    | 2,62 %  |
| Cultivos permanentes arbustivos (café)           | 9646,25      | 0,88 %  |
| Cultivos permanentes herbáceos                   | 9015,50      | 0,82 %  |
| Herbazal                                         | 80 932,51    | 7,37 %  |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 134 418,31   | 12,23 % |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 224 278,25   | 20,41 % |
| Pastos arbolados                                 | 63 536,98    | 5,78 %  |
| Plantación forestal                              | 3264         | 0,30 %  |
| Vegetación secundaria o en transición            | 9508,45      | 0,87 %  |
| Vegetación de páramo y subpáramo                 | 33 397,67    | 3,04 %  |
| Total                                            | 1 098 701,55 | 100 %   |

**Fuente:** elaboración propia.

Entre los usos del suelo se destacan: la cobertura arbustal, el bosque de galería, el bosque denso, el bosque fragmentado y la vegetación de páramo y subpáramo, con un área total de 535 324 ha que representan el 48,73 % del área del departamento del Cesar. Dada su gran importancia en la prestación de bienes y servicios ambientales, se pueden potenciar a través de estrategias de corredores de conservación que mejoren la conectividad y la articulación ecosistémica entre la Sierra Nevada de Santa Marta, la serranía del Perijá y la ciénaga de Zapatosa.

En el 2017, Colombia tenía 59 311 350 ha de bosque natural según el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) (IDEAM et al., 2018), equivalentes al 52 % del territorio nacional. En el 2013, la región Caribe tenía una superficie de bosque de 1 696 636 ha, equivalente al 2,9 % del país, y el departamento del Cesar, una superficie de bosque de 189 807 ha (IDEAM, 2017), similar al área de 162 691,69 ha reportada en este estudio (tabla 4), que corresponde al bosque de galería, el bosque denso y el bosque fragmentado. En general, el Cesar posee el 11,18 % de los bosques naturales de la región Caribe.

## Estimación del carbono almacenado en la vegetación

Con el apoyo del análisis espacial de la información y los usos del suelo en cada una de las zonas de vida del departamento del Cesar (tabla 4) se determinó el área por cobertura y el carbono total por zona de vida, como se observa en la tabla 5. Se identificó que el bosque húmedo tropical y el bosque húmedo premontano con transición a cálido son las zonas de vida con mayor almacenamiento de carbono con 108 349 114 y 105 043 153 toneladas, que corresponden a un 31,25 % y 30,29 %, respectivamente. Es decir que, entre estas dos zonas, se almacena el 61,54 % de carbono en el departamento del Cesar.

**Tabla 5.** Estimación de carbono almacenado en las zonas de vida para el departamento del Cesar

| Zona de vida                                     | Carbono total (t) | %       |
|--------------------------------------------------|-------------------|---------|
| Bosque seco tropical                             | 32 293 688,68     | 9,31 %  |
| Bosque húmedo tropical                           | 108 349 114,45    | 31,25 % |
| Bosque seco premontano                           | 72 305,24         | 0,02 %  |
| Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 105 043 153,63    | 30,29 % |
| Bosque muy húmedo premontano                     | 45 231 511,99     | 13,04 % |
| Bosque muy húmedo montano bajo                   | 50 337 681,07     | 14,52 % |
| Bosque muy húmedo montano                        | 2 992 690,63      | 0,86 %  |
| Bosque pluvial montano                           | 2 329 819,87      | 0,67 %  |
| Páramo pluvial subandino                         | 112 290,51        | 0,03 %  |
| Total                                            | 346 762 256,09    | 100 %   |

**Fuente:** elaboración propia.

El cálculo de la estimación de carbono en cada zona de vida, de acuerdo con las coberturas de uso del suelo para obtener los resultados de la tabla 5, generó un total de 346 762 256 toneladas de carbono almacenado en todo el departamento (anexo 4).

En el estudio de Yepes et al. (2011) sobre el departamento de Antioquia, se presenta la biomasa área de los bosques con valores entre 144 y 352 t/ha (Mg/ha), equivalentes a 72-176 t C/ha (MgC/ha). Por otra parte, en el estudio de Vásquez y Arellano (2012) sobre el sur y el noroccidente de Córdoba, en los bosques de la

clase muy alta, se encontraron valores entre 36,79-44,1 t/0,05 ha de biomasa y 7,69-18,72 t C/0,05 ha. Estos estudios por departamento presentan valores estimados que se relacionan con los obtenidos en este trabajo para el departamento del Cesar: entre 82,63 y 388,26 t/ha en biomasa y 38,94-182,48 t C/ha. En estos tres departamentos, la biomasa área se encuentra entre los rangos estimados para los bosques naturales de Colombia:  $58,5 \pm 22,8$  t/ha y  $301,8 \pm 106,9$  t/ha (Phillips et al., 2011).

Con respecto al carbono almacenado por los bosques naturales de Colombia, los valores varían entre 48,1 t C/ha y 147,5 t C/ha (Phillips et al., 2011). Entre estos rangos se encuentran los valores obtenidos en los estudios mencionados en el párrafo anterior para los casos de Antioquia, Córdoba y Cesar, con una pequeña diferencia respecto al valor superior de carbono almacenado en los departamentos de Antioquia y Cesar.

Estimación de las emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> por deforestación en el departamento del Cesar

Deforestación

En la tabla 6 se observa una pérdida de 84 923,26 ha en un periodo de 14 años, 2001-2014, en el que el 2007 y el 2003 son los años con mayor deforestación: 14,4 % y 12,7 %, respectivamente. La tasa promedio de deforestación anual fue de 7076,94 ha, situación que incide en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Tabla 6. Análisis de la deforestación anual en el departamento del Cesar

| Año  | Área pérdida (ha) | %      |
|------|-------------------|--------|
| 2001 | 6031,08           | 7,1 %  |
| 2002 | 5662,98           | 6,7 %  |
| 2003 | 10 815,04         | 12,7 % |
| 2004 | 5207,01           | 6,1 %  |
| 2005 | 5190,05           | 6,1 %  |
| 2006 | 5528,55           | 6,5 %  |
| 2007 | 12 227,31         | 14,4 % |
| 2008 | 4433,24           | 5,2 %  |
| 2009 | 6856,99           | 8,1 %  |
| 2010 | 4399,29           | 5,2 %  |
| 2011 | 4043,62           | 4,8 %  |

| Año   | Área pérdida (ha) | %     |
|-------|-------------------|-------|
| 2012  | 6002,06           | 7,1 % |
| 2013  | 3762,03           | 4,4 % |
| 2014  | 4764,01           | 5,6 % |
| Total | 84 923,26         | 100 % |

**Fuente:** elaboración propia a partir de Hansen et al. (2013).

En el 2017, Colombia alcanzó un total de 219 973 ha deforestadas, de las cuales 15 655 ha se ubicaron en la región Caribe; este valor corresponde al 7,11 % de la deforestación nacional de acuerdo con el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) (IDEAM et al., 2018). En el 2014, el departamento del Cesar alcanzó una superficie deforestada de 4764 ha (tabla 6) y, en el 2017, de 378 ha (IDEAM, 2017); este valor representa un cambio significativo en la tasa de deforestación departamental, que se ratifica al analizar el área deforestada en el departamento en el 2020: 324 ha (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e IDEAM, 2021).

Para el presente trabajo, se realiza la estimación con respecto a los bosques de las zonas de vida del departamento del Cesar, como se observa en la tabla 7.

**Tabla 7.** Reservas de carbono almacenadas en la biomasa para diferentes zonas de vida en el departamento del Cesar

| Tipo de bosque                                   | A <sub>i</sub> (ha) | C <sub>i</sub> (t ha <sup>-1</sup> ) | Carbono total (t) | Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> ei (t) |
|--------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| Bosque seco tropical                             | 438 534,61          | 73,64                                | 32 293 688,68     | 118 517 837,46                            |
| Bosque húmedo tropical                           | 218 460,35          | 495,97                               | 108 349 114,45    | 397 641 250,03                            |
| Bosque seco premontano                           | 1928,30             | 37,50                                | 72 305,24         | 265 360,24                                |
| Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 220 480,18          | 476,43                               | 105 043 153,63    | 385 508 373,83                            |
| Bosque muy húmedo premontano                     | 100 374,97          | 450,63                               | 45 231 511,99     | 165 999 649,02                            |
| Bosque muy húmedo montano bajo                   | 86 386,21           | 461,05                               | 39 828 322,60     | 146 169 943,93                            |
| Bosque muy húmedo montano                        | 11 618,25           | 257,59                               | 2 992 690,63      | 10 983 174,63                             |

| Tipo de bosque           | A <sub>i</sub> (ha) | C <sub>j</sub> (t ha <sup>-1</sup> ) | Carbono total (t) | Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> eq (t) |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| Bosque pluvial montano   | 13 911,99           | 167,47                               | 2 329 819,87      | 8 550 438,92                              |
| Páramo pluvial subandino | 7006,69             | 16,03                                | 112 290,51        | 412 106,17                                |
| Total                    | 1 098 701,55        | 2436,29                              | 336 252 897,61    | 1 234 048 134,24                          |

**Nota:** A<sub>i</sub> es la extensión del bosque en el departamento en el 2013, C<sub>j</sub> es el promedio de carbono por hectárea en las diferentes zonas de vida del Cesar y t es la abreviatura de tonelada.

**Fuente:** elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 7, se estima que, en el departamento del Cesar, el carbono almacenado es de 336 252 897 toneladas, siendo el bosque húmedo tropical la zona de vida con mayor almacenamiento de carbono con 108 349 114 toneladas, que equivalen al 31,25 % del carbono almacenado en el departamento. Con respecto al dióxido de carbono equivalente, se estima un valor de 1 234 048 134 toneladas, donde la zona de vida con mayor valor es el bosque húmedo tropical con 397 641 250 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, que corresponden al 31,25 % del total en el departamento.

El Cesar tiene 336 252 897 toneladas de carbono total almacenado en la biomasa área de los bosques naturales (tabla 7). Este servicio ambiental de gran importancia se debe incorporar en el proceso de planificación territorial y de desarrollo sectorial, a través de programas y acciones de conservación y manejo de los ecosistemas presentes en el departamento, de acuerdo con las zonas de vida y sus coberturas de uso del suelo. Para ello, se deben considerar los servicios ecosistémicos que prestan en cuanto a la reducción de emisiones y el aumento de la adaptación territorial y sectorial, dentro del marco de la línea estratégica *Manejo y conservación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos para el desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima* de la política nacional de cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En el *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar 2032* se estima que, en los próximos años, las emisiones crecerán a un ritmo de 1,7 % anual. Esto significa que, en el 2032, se alcanzarían emisiones por el orden de 9780 Gg de CO<sub>2</sub> eq /año (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016) —Gg de CO<sub>2</sub> equivale a 1000 toneladas CO<sub>2</sub> (Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A. C., s. f.)—. Con base en los resultados alcanzados (tabla 7), las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del departamento podrían alcanzar 1 234 048 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente si las áreas de bosques naturales del Cesar fueran deforestadas.

Al analizar el área deforestada en el departamento del Cesar en el 2020, que fue de 324 hectáreas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e IDEAM, 2021), y los resultados de la tabla 7, se observa que esta área dejó de almacenar en promedio 102 257,92 toneladas de carbono y se generaron 375 286,69 toneladas de dióxido de carbono equivalente durante ese año en el departamento.

## Conclusiones

El departamento del Cesar cuenta con 9 zonas de vida dentro de su territorio, con un total de 1 098 701,55 ha, de las cuales 162 691 ha corresponden a bosques naturales, lo que equivale al 14,8 % del área total. Se destacan las zonas de bosque seco tropical con 438 000 ha, bosque húmedo tropical con 218 000 ha y bosque húmedo premontano (incluyendo la transición a cálido) con 320 000 ha, las cuales se deben priorizar en las estrategias de manejo y conservación.

La estimación de carbono almacenado en el departamento del Cesar alcanza 336 252 897 toneladas, que representan 1 234 048 134 toneladas de dióxido de carbono equivalente, las cuales serían emitidas a la atmósfera si las áreas de bosques naturales del departamento fueran deforestadas. Es importante resaltar que el área de deforestación ha disminuido significativamente en los últimos años: de 4674 ha en el 2014 a 378 ha en el 2017 y, finalmente, a 324 ha en el 2020.

Además de la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques naturales y en cada una de las coberturas de uso del suelo de las zonas de vida del departamento del Cesar, es necesario cuantificar y sumar el carbono almacenado en el suelo. Para esto, se cuenta con el apoyo del Mapa de Stock Carbono Orgánico de Suelo a nivel nacional (MCOS) y el Mapa de Incertidumbre Carbono Orgánico de Suelo (MICOS) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, que permiten estimar la existencia de carbono sobre el territorio colombiano para polígonos de 1 km<sup>2</sup>.

## Contribución de la autoría

*Primer autor:* investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

*Segundo autor:* investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

*Tercer autor:* investigación, conceptualización, escritura, revisión y edición.

*Cuarto autor:* investigación, análisis de datos, metodología, conceptualización y revisión.

## Agradecimientos

A la Universidad de Manizales, por el conocimiento adquirido durante todo el proceso de formación académica de la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por su apoyo en los tiempos y recursos humanos para desarrollar este trabajo de maestría.

## Referencias

- Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., De Las Salas, G., Del Valle, I., Lema, Á., Moreno, F., Orrego, S. y Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297-308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Andrade, H. J., Campo, O. y Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/394/311>
- Andrade, H. J., Figueroa, J., Silva, D. P. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). *Revista Scientia Agroalimentaria*, 1, 6-10. <https://repository.ut.edu.co/handle/001/1318>
- Castilla, C. E. (2004). Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 25(especial), 366-371. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1101>
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A. C. (s. f.). *Programa municipal de cambio climático de León*. <https://leon.gob.mx/modulos/img/adjuntos/adjuntos-646.pdf>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. (2013). *Plan general de ordenación forestal del departamento del Cesar*. Corpocesar.
- Departamento Nacional de Planeación. (2015). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz. Misión para la transformación del campo*. Nuevas Ediciones S. A.

- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Implementación de la estrategia de control integral en los núcleos de deforestación priorizados en el Cesar*. <https://www.corpocesar.gov.co/files/5.2.Implementacion%20de%20la%20estrategia%20de%20control%20integral%20de%20los%20nucleos%20de%20deforestacion.pdf>
- Eggleston, H. S., Miwa, K., Srivastava, N., & Tanabe, K. (Eds.). (2008). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer\\_2006GLs.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf)
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Indicadores. Tasa anual de deforestación*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/bosques-y-recurso-forestal>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis; Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann. (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Departamento Nacional de Planeación, y Cancillería. (2018). *Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/47096251\\_Colombia-BUR2-1-2BUR%20COLOMBIA%20SPANISH.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/47096251_Colombia-BUR2-1-2BUR%20COLOMBIA%20SPANISH.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2001), Cambio climático 2001, <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/spanish/pdf/wg1sum.pdf>
- Lerma, M. A. y Orjuela, E. L. (2014). *Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia* [trabajo de grado, Universidad del Tolima]. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/2370>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cesar 2032*. [https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion\\_\\_al\\_territorio/Cesar\\_pag\\_ind.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/Cesar_pag_ind.pdf)

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional de cambio climático*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/9.-Politica-Nacional-de-Cambio-Climatico.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Resultados del monitoreo de deforestación año 2020, primer trimestre del 2021*. [http://www.ideam.gov.co/documents/10182/113437783/Presentacion\\_Deforestacion2020\\_SMBByC-IDEAM.pdf/8ea7473e-3393-4942-8b75-88967ac12a19](http://www.ideam.gov.co/documents/10182/113437783/Presentacion_Deforestacion2020_SMBByC-IDEAM.pdf/8ea7473e-3393-4942-8b75-88967ac12a19)
- Norverto, C. A. (s. f.). *La fijación de CO<sub>2</sub> en plantaciones forestales y en productos de madera en Argentina*. <https://www.fao.org/3/XII/0043-B2.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022, Informe Seúl/Roma. <https://www.fao.org/newsroom/detail/global-deforestation-slows-but-rainforests-under-threat-fao-report-shows-030522/es>
- Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., García, M. C., Álvarez, E., Cabrera, E., Cárdenas, D., Galindo, G., Ordóñez, M. F., Rodríguez, M. L. y Vargas, D. M. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Estimaci%C3%B3n+Carbono+2010.pdf/e0861b29-7cf2-4c43-8fd3-ea50cbbba7db>
- Sierra, C. A., Del Valle, J. I., Orrego, S. A., Moreno, F. H., Harmon, M. E., Zapata, M., Colorado, G. J., Herrera, M. A., Lara, W., Restrepo, D. E., Berrouet, L. M., Loaiza, L. M. y Benjumea, J. F. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecology and Management*, 243(2-3), 209-309. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.026>
- Vásquez, A. y Arellano, H. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. En J. O. Rangel (Ed.) *Colombia biodiversidad biótica XII: la región Caribe de Colombia* (pp. 923-961). Universidad Nacional de Colombia. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1208/1208.0248.pdf>
- White, D., Minang, P., Pagiola, S., Swallow, B., Van Noordwijk, M., Hyman, G., Robiglio, V., Velarde, S., Hairiah, K., Agus, F., Börner, J. y Gockowski, J. (2011). *Estimación de los costos de oportunidad de REDD+*. Manual de capacitación. Banco Mundial <https://www.forestcarbonpartnership.org/estimaci%C3%B3n-de-los-costos-de-opportunidad-de-redd>

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C. y Ordoñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Zarin, D. J., Harris, N. L., Baccini, A., Aksenov, D., Hansen, M. C., Azevedo-Ramos, C., Azevedo, T., Margono, B. A., Alencar, A. C., Gabris, C., Allegretti, A., Potapov, P., Farina, M., Walker, W. S., Shevade, V. S., Loboda, T. V., Turubanova, S., & Tyukavina, A. (2016). Can carbon emissions from tropical deforestation drop by 50% in 5 years? *Global Change Biology*, 22(4), 1336-1347. <https://doi.org/10.1111/gcb.13153>

## Lecturas recomendadas

Araújo, T. M., Higuchi, N., & Andrade de Carvalho, J. (1999). Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117(1-3), 43-52. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00470-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00470-8)

Barón Parra, M. L. y Triana Gómez, M. A. (2017). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en la cobertura arbórea de la región del Carare-Opón (Santander). *INGE CUC*, 13(2), 84-94. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.09>

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Metodología Corine Land Cover*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover4>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:500.000 (Cartografía temática)*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-0.17644239911865092,-71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=206>

Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P. y Navarrete, D. A. (2010). *Avances en la estimación de las reservas potenciales de carbono almacenado en la biomasa aérea en bosques naturales en Colombia. Informe de resultados, versión 3. 2*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Fundación Natura Colombia, y Betty and Gordon Moore Foundation.

- Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H., Burrows, W., & Eamus, D. (2002). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. Australian Greenhouse Office. [https://www.researchgate.net/publication/298252249\\_Protocol\\_for\\_Sampling\\_Tree\\_and\\_Stand\\_Biomass?channel=doi&linkId=56e78fea08ae438aab-8848f0&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/298252249_Protocol_for_Sampling_Tree_and_Stand_Biomass?channel=doi&linkId=56e78fea08ae438aab-8848f0&showFulltext=true)
- Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2012). Carbon content of tree tissues: a synthesis. *Forests*, 3(2), 332-352. <https://doi.org/10.3390/f3020332>
- Yepes, A., Cabrera, E., Álvarez, E., Corrales, A., Galindo, G., García, M. C., Navarrete, D., Phillips, J. F., Vargas, D. y Duque, A. (2009). Estimación de las reservas y pérdida de carbono por deforestación en el periodo 2000-2007 en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. En A. Duque, R. Callejas y A. Corrales, *Expedición Antioquia 2013-Informe Final. Proyecto Diversidad, dinámica y productividad de los bosques de Antioquia* (pp. 44-58). Universidad de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

## Anexos

### Anexo 1. Cálculo de biomasa y carbono para el departamento del Cesar por zona de vida y cobertura

| Zona de vida                                                   | Uso                                              | Homologación                              | Total (ha)   | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Bosque húmedo premontano con transición a cálido 800-1800 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                             | 57<br>282,64 | 12,62            | 5,93     | 339<br>858,18     | Autores                                               |
|                                                                | Bosque de galería o ripario                      | Bosque                                    | 13<br>868,64 | 247,50           | 116,32   | 1 613<br>262,46   | Autores                                               |
|                                                                | Bosque denso                                     | Bosque                                    | 9790,21      | 247,50           | 116,32   | 1 138<br>841,17   | Autores                                               |
|                                                                | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                             | 22<br>308,98 | 54,04            | 25,40    | 566<br>634,68     | Autores                                               |
|                                                                | Cultivos agroforestales                          | Palma africana                            | 3072,25      | 100,00           | 47,00    | 144<br>395,75     | Castilla (2004)                                       |
|                                                                | Cultivos permanentes arbustivos                  | Café agroforestal                         | 4942,81      | 51,00            | 23,97    | 118<br>479,16     | Banco Mundial (2011)                                  |
|                                                                | Cultivos permanentes herbáceos                   | Pastos                                    | 252,67       | 0,86             | 0,40     | 102,13            | Andrade (2014)                                        |
|                                                                | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                             | 18<br>909,47 | 12,62            | 5,93     | 112<br>189,98     | Autores                                               |
|                                                                | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: palma + café + pastos + bosques | 39<br>213,20 | 99,84            | 46,92    | 1 840<br>066,56   | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                                                | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosque                 | 45<br>517,67 | 124,18           | 58,36    | 2 656<br>608,97   | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                                                | Pastos arbolados                                 | Pasturas arboladas                        | 5190,59      | 9,47             | 4,45     | 23<br>108,54      | Autores                                               |
|                                                                | Vegetación secundaria o en transición            | Rastrojo alto                             | 131,05       | 54,04            | 25,40    | 3328,59           | Autores                                               |

| Zona de vida                      | Uso                                              | Homologación                              | Total (ha) | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Subtotal                          |                                                  |                                           | 220 480,18 | 1013,68          | 476,43   | 105 043 153,63    |                                                       |
| Bosque húmedo tropical < 800 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                             | 74 856,55  | 14,23            | 6,69     | 500 633,00        | Autores                                               |
|                                   | Bosque de galería o ripario                      | Bosque                                    | 8999,78    | 243,68           | 114,53   | 1 030 738,76      | Autores                                               |
|                                   | Bosque denso                                     | Bosque                                    | 8998,89    | 243,68           | 114,53   | 1 030 636,83      | Autores                                               |
|                                   | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                             | 11 938,54  | 56,94            | 26,76    | 319 518,87        | Autores                                               |
|                                   | Cultivos agroforestales                          | Palma africana                            | 9215,41    | 100,00           | 47,00    | 433 124,27        | Castilla (2004)                                       |
|                                   | Cultivos permanentes arbustivos                  | Café agroforestal                         | 1075,02    | 51,00            | 23,97    | 25 768,23         | Banco Mundial (2011)                                  |
|                                   | Cultivos permanentes herbáceos                   | Pastos                                    | 1253,69    | 0,86             | 0,40     | 506,74            | Andrade (2014)                                        |
|                                   | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                             | 7949,74    | 14,23            | 6,69     | 53 167,05         | Autores                                               |
|                                   | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: palma + café + pastos + bosques | 20 056,19  | 98,88            | 46,48    | 932 129,12        | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                   | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosque                 | 69 323,71  | 122,27           | 57,47    | 3 983 809,31      | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                   | Pastos arbolados                                 | Pasturas arboladas                        | 4740,33    | 9,47             | 4,45     | 21 103,98         | Autores                                               |
|                                   | Plantación forestal                              | Palma africana                            | 52,50      | 100,00           | 47,00    | 2 467,50          | Castilla (2004)                                       |
| Subtotal                          |                                                  |                                           | 218 460,35 | 1055,25          | 495,97   | 108 349 114,45    |                                                       |

| Zona de vida                             | Uso                                      | Homologación                               | Total (ha) | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia     |
|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------------|----------|-------------------|----------------|
| Bosque muy húmedo montano 2800-3700 msnm | Arbustal                                 | Rastrojo bajo                              | 1482,54    | 17,09            | 8,03     | 11 908,46         | Autores        |
|                                          | Bosque de galería o ripario              | Bosque                                     | 79,90      | 191,74           | 90,12    | 7200,34           | Autores        |
|                                          | Bosque denso                             | Bosque                                     | 1548,30    | 191,74           | 90,12    | 139 527,90        | Autores        |
|                                          | Herbazal                                 | Rastrojo bajo                              | 2134,11    | 17,09            | 8,03     | 17 142,18         | Autores        |
|                                          | Mosaico de pastos con espacios naturales | Promedio: pastos + bosques                 | 438,89     | 96,30            | 45,26    | 19 864,39         | Andrade (2013) |
|                                          | Vegetación de páramo y subpáramo         | Promedio: vegetación de páramo y subpáramo | 5934,51    | 34,10            | 16,03    | 95 107,55         | Autores        |
| Subtotal                                 |                                          |                                            | 11 618,25  | 548,05           | 257,59   | 2 992 690,63      |                |



| Zona de vida                                  | Uso                                              | Homologación                               | Total (ha) | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Bosque muy húmedo montano bajo 1800-2800 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                              | 13 362,95  | 42,51            | 19,98    | 266 995,49        | Autores                                               |
|                                               | Bosque de galería o ripario                      | Bosque                                     | 1111,82    | 388,26           | 182,48   | 202 888,54        | Autores                                               |
|                                               | Bosque denso                                     | Bosque                                     | 21 456,22  | 388,26           | 182,48   | 3 915 401,10      | Autores                                               |
|                                               | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                              | 3914,18    | 85,31            | 40,10    | 156 944,00        | Autores                                               |
|                                               | Cultivos permanentes arbustivos                  | Cultivo                                    | 504,88     |                  | 0,00     | 0,00              |                                                       |
|                                               | Cultivos permanentes herbáceos                   | Pastos                                     | 11,74      |                  | 0,00     | 0,00              |                                                       |
|                                               | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                              | 24 249,40  | 42,51            | 19,98    | 484 509,82        | Autores                                               |
|                                               | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: cultivo + pastos + bosques       | 3527,78    | 0,00             | 0,00     | 0,00              | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                               | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosques                 | 9798,29    | 258,84           | 121,66   | 1 192 015,97      | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                               | Vegetación de páramo y subpáramo                 | Promedio: vegetación de páramo y subpáramo | 8448,95    | 34,10            | 16,03    | 135 404,43        | Autores                                               |
| Subtotal                                      |                                                  |                                            | 86 386,21  | 1239,80          | 582,71   | 50 337 681,07     |                                                       |

| Zona de vida                               | Uso                                              | Homologación                                      | Total (ha)    | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Bosque muy húmedo premontano 800-1800 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                                     | 25<br>321,06  | 12,62            | 5,93     | 150<br>229,97     | Autores                                               |
|                                            | Bosque de galería o ripario                      | Bosque                                            | 417,60        | 247,50           | 116,32   | 48<br>577,11      | Autores                                               |
|                                            | Bosque denso                                     | Bosque                                            | 14<br>192,06  | 247,50           | 116,32   | 1 650<br>884,13   | Autores                                               |
|                                            | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                                     | 4227,14       | 54,04            | 25,40    | 107<br>366,82     | Autores                                               |
|                                            | Cultivos agroforestales                          | Palma africana                                    | 193,75        | 100,00           | 47,00    | 9106,25           | Castilla (2004)                                       |
|                                            | Cultivos permanentes arbustivos                  | Café agroforestal                                 | 2599,29       | 51,00            | 23,97    | 62<br>304,98      | Banco Mundial (2011)                                  |
|                                            | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                                     | 14<br>905,70  | 12,62            | 5,93     | 88<br>435,59      | Autores                                               |
|                                            | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: palma + café + pastos + bosques (bh-PM) | 14<br>319,62  | 99,84            | 46,92    | 671<br>943,47     | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                            | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosque (bh-PM)                 | 22<br>799,27  | 124,18           | 58,36    | 1 330<br>664,45   | Andrade (2014)                                        |
|                                            | Pastos arbolados                                 | Pasturas arboladas                                | 1399,48       | 9,47             | 4,45     | 6230,49           | Autores                                               |
| Subtotal                                   |                                                  |                                                   | 100<br>374,97 | 958,78           | 450,63   | 45 231<br>511,99  |                                                       |

| Zona de vida                          | Uso                                              | Homologación                               | Total (ha) | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Bosque pluvial montano 2800-3700 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                              | 821,71     | 17,09            | 8,03     | 6600,36           | Autores                                               |
|                                       | Bosque denso                                     | Bosque                                     | 245,10     | 191,74           | 90,12    | 22 087,64         | Autores                                               |
|                                       | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                              | 803,21     | 17,09            | 8,03     | 6451,76           | Autores                                               |
|                                       | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosques                 | 34,45      | 96,30            | 45,26    | 1559,22           | Mixta                                                 |
|                                       | Vegetación de páramo y subpáramo                 | Promedio: vegetación de páramo y subpáramo | 12 007,52  | 34,10            | 16,03    | 192 434,73        | Autores                                               |
| Subtotal                              |                                                  |                                            | 13 911,99  | 356,32           | 167,47   | 2 329 819,87      |                                                       |
| Bosque seco premontano 800-1800 msnm  | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                              | 311,64     | 12,62            | 5,93     | 1848,96           | Autores                                               |
|                                       | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                              | 174,63     | 16,61            | 7,81     | 1362,99           | Autores                                               |
|                                       | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: palma + café + pastos + bosques  | 1442,03    | 50,55            | 23,76    | 34 260,99         | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
| Subtotal                              |                                                  |                                            | 1928,30    | 79,78            | 37,50    | 72 305,24         |                                                       |

| Zona de vida                    | Uso                                              | Homologación                              | Total (ha)    | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia                                            |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|------------------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Bosque seco tropical < 800 msnm | Arbustal                                         | Rastrojo bajo                             | 165<br>795,82 | 14,23            | 6,69     | 1 108<br>825,60   | Autores                                               |
|                                 | Bosque de galería o ripario                      | Bosque                                    | 17<br>674,83  | 82,63            | 38,84    | 686<br>411,43     | Autores                                               |
|                                 | Bosque denso                                     | Bosque                                    | 15<br>562,73  | 82,63            | 38,84    | 604<br>386,90     | Autores                                               |
|                                 | Bosque fragmentado                               | Rastrojo alto                             | 6182,14       | 26,75            | 12,57    | 77<br>724,80      | Autores                                               |
|                                 | Cultivos agroforestales                          | Palma africana                            | 16<br>295,62  | 100,00           | 47,00    | 765<br>894,14     | Secundaria                                            |
|                                 | Cultivos permanentes arbustivos                  | Cacao                                     | 524,25        | 1,00             | 0,47     | 246,40            | Andrade (2013)                                        |
|                                 | Cultivos permanentes herbáceos                   | Pastos                                    | 7497,40       | 0,86             | 0,40     | 3030,45           | Secundaria                                            |
|                                 | Herbazal                                         | Rastrojo bajo                             | 11<br>980,88  | 14,23            | 6,69     | 80<br>126,91      | Autores                                               |
|                                 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | Promedio: palma + cacao + pastos + bosque | 55<br>859,49  | 46,12            | 21,68    | 1 210<br>890,35   | Andrade (2014); Banco Mundial (2011); Castilla (2004) |
|                                 | Mosaico de pastos con espacios naturales         | Promedio: pastos + bosque                 | 76<br>365,97  | 41,74            | 19,62    | 1 498<br>290,10   | Andrade (2013)                                        |
|                                 | Pastos arbolados                                 | Pasturas arboladas                        | 52<br>206,58  | 9,47             | 4,45     | 232<br>424,04     | Autores                                               |
|                                 | Plantación forestal                              | Palma africana                            | 3211,50       | 100,00           | 47,00    | 150<br>940,50     | Castilla (2004)                                       |
|                                 | Vegetación secundaria o en transición            | Rastrojo alto                             | 9<br>377,40   | 26,75            | 12,57    | 117<br>897,13     | Autores                                               |
| Subtotal                        |                                                  |                                           | 438<br>534,61 | 546,42           | 256,82   | 112 622<br>404,63 |                                                       |

| Zona de vida             | Uso                              | Homologación                     | Total (ha)   | Biomasa (ton/ha) | C (t/ha) | Carbono total (t) | Referencia |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|------------------|----------|-------------------|------------|
| Páramo pluvial subandino | Vegetación de páramo y subpáramo | Vegetación de páramo y subpáramo | 7006,69      | 34,10            | 16,03    | 112 290,51        | Autores    |
| Subtotal                 |                                  |                                  | 7006,69      | 34,10            | 16,03    | 112 290,51        |            |
| Total                    |                                  |                                  | 1 098 701,55 |                  |          |                   |            |

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Zonas de vida a nivel municipal en el departamento del Cesar

| Municipio       | Zona de vida                                     | Área (ha) | Total (ha) |
|-----------------|--------------------------------------------------|-----------|------------|
| Aguachica       | Bosque seco tropical                             | 12 324    | 37 450     |
|                 | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 25 126    |            |
| Agustín Codazzi | Bosque húmedo tropical                           | 9657      | 80 040     |
|                 | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 18 668    |            |
|                 | Bosque muy húmedo premontano                     | 13 327    |            |
|                 | Bosque pluvial montano                           | 5288      |            |
|                 | Bosque seco tropical                             | 25 527    |            |
|                 | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 7573      |            |
| Astrea          | Bosque seco tropical                             | 25 172    | 25 172     |
| Becerril        | Bosque húmedo tropical                           | 18 691    | 68 529     |
|                 | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 5060      |            |
|                 | Bosque muy húmedo premontano                     | 21 501    |            |
|                 | Bosque seco tropical                             | 22 038    |            |
|                 | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 1239      |            |
| Bosconia        | Bosque seco tropical                             | 23 543    | 23 543     |

| Municipio   | Zona de vida                                     | Área (ha) | Total (ha) |
|-------------|--------------------------------------------------|-----------|------------|
| Chimichagua | Bosque húmedo tropical                           | 14 127    | 60 728     |
|             | Bosque muy húmedo premontano                     | 3543      |            |
|             | Bosque seco tropical                             | 41 272    |            |
|             | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 1786      |            |
| Chiriguaná  | Bosque húmedo tropical                           | 23 959    | 55 413     |
|             | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 3204      |            |
|             | Bosque muy húmedo premontano                     | 5256      |            |
|             | Bosque seco tropical                             | 22 994    |            |
| Curumaní    | Bosque húmedo tropical                           | 39 545    | 50 166     |
|             | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 598       |            |
|             | Bosque muy húmedo premontano                     | 9826      |            |
|             | Bosque seco tropical                             | 197       |            |
| El Copey    | Bosque húmedo tropical                           | 7258      | 42 811     |
|             | Bosque muy húmedo premontano                     | 4817      |            |
|             | Bosque seco tropical                             | 24 184    |            |
|             | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 6552      |            |
| El Paso     | Bosque seco tropical                             | 32 750    | 32 750     |
| Gamarra     | Bosque seco tropical                             | 749       | 14 550     |
|             | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 13 801    |            |
| González    | Bosque seco premontano                           | 876       | 2985       |
|             | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 2109      |            |
| La Gloria   | Bosque húmedo tropical                           | 9150      | 39 481     |
|             | Bosque muy húmedo premontano                     | 633       |            |
|             | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 29 698    |            |

| Municipio           | Zona de vida                                     | Área (ha) | Total (ha) |
|---------------------|--------------------------------------------------|-----------|------------|
| La Jagua de Ibirico | Bosque húmedo tropical                           | 18 027    | 41 961     |
|                     | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 3704      |            |
|                     | Bosque muy húmedo premontano                     | 11 573    |            |
|                     | Bosque seco tropical                             | 8657      |            |
| La Paz              | Bosque húmedo tropical                           | 1954      | 56 354     |
|                     | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 16 244    |            |
|                     | Bosque muy húmedo premontano                     | 2599      |            |
|                     | Bosque pluvial montano                           | 3 546     |            |
|                     | Bosque seco tropical                             | 22 483    |            |
|                     | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 9528      |            |
| Manaure             | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 4150      | 8233       |
|                     | Bosque pluvial montano                           | 388       |            |
|                     | Bosque seco tropical                             | 1985      |            |
|                     | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 1710      |            |
| Pailitas            | Bosque húmedo tropical                           | 21 122    | 28 885     |
|                     | Bosque muy húmedo premontano                     | 4744      |            |
|                     | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 3019      |            |
| Pelaya              | Bosque húmedo tropical                           | 5521      | 20 461     |
|                     | Bosque muy húmedo premontano                     | 1505      |            |
|                     | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 13 435    |            |
| Pueblo Bello        | Bosque húmedo tropical                           | 1250      | 47 890     |
|                     | Bosque muy húmedo montano                        | 4 309     |            |
|                     | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 15 025    |            |
|                     | Bosque muy húmedo premontano                     | 12 849    |            |
|                     | Bosque seco tropical                             | 3335      |            |
|                     | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 11 122    |            |

| Municipio          | Zona de vida                                     | Área (ha) | Total (ha) |
|--------------------|--------------------------------------------------|-----------|------------|
| Río de Oro         | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 706       | 24 203     |
|                    | Bosque seco premontano                           | 1052      |            |
|                    | Bosque seco tropical                             | 6132      |            |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 16 313    |            |
| San Alberto        | Bosque húmedo tropical                           | 23 182    | 30 590     |
|                    | Bosque muy húmedo premontano                     | 3766      |            |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 3642      |            |
| San Diego          | Bosque húmedo tropical                           | 80        | 26 836     |
|                    | Bosque seco tropical                             | 26 437    |            |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 319       |            |
| San Martín         | Bosque húmedo tropical                           | 15 303    | 48 311     |
|                    | Bosque muy húmedo premontano                     | 1661      |            |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 31 347    |            |
| Tamalameque        | Bosque seco tropical                             | 5332      | 22 256     |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 16 924    |            |
| Valledupar         | Bosque húmedo tropical                           | 9634      | 209 104    |
|                    | Bosque muy húmedo montano                        | 7309      |            |
|                    | Bosque muy húmedo montano bajo                   | 19 027    |            |
|                    | Bosque muy húmedo premontano                     | 2775      |            |
|                    | Bosque pluvial montano                           | 4691      |            |
|                    | Bosque seco tropical                             | 133 424   |            |
|                    | Páramo pluvial subandino                         | 7007      |            |
|                    | Bosque húmedo premontano con transición a cálido | 25 237    |            |
| Total general (ha) |                                                  |           | 1 098 702  |

**Fuente:** elaboración propia.

Anexo 3. Coberturas del departamento del Cesar y su homologación

| Caracterización física del departamento del Cesar <sup>7</sup> | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Homologación coberturas            |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Arbustal                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Plantaciones de coníferas o latifoliadas con un área mayor a 25 ha.</li><li>• Plantaciones jóvenes con un área mayor a 25 ha.</li><li>• Zonas quemadas con un área menor a 25 ha, incluida dentro de la plantación.</li><li>• Parcelas de plantaciones en proceso de aprovechamiento (zonas en tala).</li><li>• Infraestructura asociada con un área menor a 5 ha (vías, campamentos, aserraderos).</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                 | Rastrojos bajos                    |
| Bosque de galería o ripario                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Bosque de galería o ripario con un ancho de la franja mayor o igual a 50 m y un área superior a 25 ha.</li><li>• Curso de agua con un ancho menor o igual a 50 m.</li><li>• Coberturas de asociaciones de palma y guadua a lo largo de los márgenes de los drenajes, con altura del dosel y densidad del bosque natural.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bosque                             |
| Bosque denso                                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Áreas con una cobertura densa de palmas naturales cuando la formación vegetal presenta la altura mínima y el área es superior a 25 ha (en Colombia, se pueden presentar asociaciones vegetales con predominio de palmas como el naidizal y el morichal).</li><li>• Áreas con una cobertura densa de guadua cuando la formación vegetal presenta la altura mínima y el área es superior a 25 ha (guaduales).</li><li>• Formaciones arbóreas secundarias regeneradas de manera natural que han alcanzado la densidad y la altura de un bosque natural.</li><li>• Afloramientos rocosos incluidos dentro del bosque natural con un área menor a 25 ha.</li></ul> | Bosque                             |
| Bosque fragmentado                                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Coberturas de cultivos con un área menor a 25 ha, que no constituyen más del 30 % del área de cobertura total.</li><li>• Coberturas de pastos con un área menor a 25 ha, que no constituyen más del 30 % del área de cobertura total.</li><li>• Áreas degradadas (minería) o afloramientos rocosos incluidos dentro de la cobertura de bosque natural con un tamaño menor a 25 ha.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                  | Rastrojos altos                    |
| Pastos arbolados                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pastos arbolados con un área mayor a 25 ha.</li><li>• Pastos arbolados bordeados con setos.</li><li>• Pastos arbolados con zonas inundables o pantanosas con un área menor a 25 ha.</li><li>• Infraestructuras asociadas con los pastos arbolados con un área menor a 25 ha, como corrales o establos.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Pasturas arboladas/silvopastoriles |

<sup>7</sup> Coberturas según la metodología CORINE Land Cover.

| Caracterización física del departamento del Cesar <sup>7</sup> | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Homologación coberturas                        |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Plantación forestal                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantaciones de coníferas o latifoliadas con un área mayor a 25 ha.</li> <li>• Plantaciones jóvenes con un área mayor a 25 ha.</li> <li>• Zonas quemadas con un área menor a 25 ha, incluida dentro de la plantación.</li> <li>• Parcelas de plantaciones en proceso de aprovechamiento (zonas en tala).</li> <li>• Infraestructura asociada con un área menor a 5 ha (vías, campamentos, aserraderos).</li> </ul>                                                                                                                                              | Palma/<br>eucalipto                            |
| Vegetación de páramo y subpáramo                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herbazal denso (páramo).</li> <li>• Otras coberturas incluidas con un área inferior al área mínima cartografiada de acuerdo con la escala de trabajo, que representen menos del 30 % del total de la unidad, como               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coberturas de herbazales naturales.</li> <li>- Coberturas naturales de herbáceas de páramo y subpáramo.</li> <li>- Coberturas de herbazales quemados.</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                           | Vegetación de páramo y subpáramo               |
| Vegetación secundaria o en transición                          | Comprende una cobertura vegetal originada por procesos de sucesión de vegetación natural, que se presenta después de una intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, o que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Dichos procesos se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos, áreas agrícolas abandonadas y zonas donde la vegetación natural fue desierta por la ocurrencia de eventos naturales.                                                                                                                                               | Bosques/<br>rastros altos                      |
| Cultivos agroforestales                                        | <p>Estas zonas están ocupadas por arreglos o combinaciones de diferentes especies con hábitos herbáceos y arbustivos ya arbóreos. Se encuentran combinadas en la misma área, alternadas por surcos o hileras de árboles con cultivos o árboles con pastos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas en complejos de cultivos que tengan más de 25 ha en arreglos de cultivos de árboles con cultivos y cultivos de árboles con pastos.</li> <li>• Infraestructura asociada con el cultivo que no ocupe más de 5 ha.</li> <li>• Zonas destinadas a agroforestales en etapa temprana.</li> </ul> | Café<br>agroforestal/<br>cacao<br>agroforestal |
| Cultivos permanentes arbustivos                                | Coberturas permanentes ocupadas principalmente por cultivos de hábito arbustivo como café, cacao, coca y viñedos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso y una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Café                                           |

| Caracterización física del departamento del Cesar <sup>7</sup> | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Homologación coberturas |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Cultivos permanentes herbáceos                                 | Cobertura compuesta principalmente por cultivos permanentes de hábito herbáceo como caña de azúcar y panelera, plátano, banano y tabaco. Las herbáceas son plantas que no presentan órganos leñosos, son verdes y tienen un ciclo de vida vegetativo anual.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Arroz/pastos            |
| Herbazal                                                       | Estas coberturas están constituidas por una comunidad vegetal, caracterizada principalmente por elementos herbáceos desarrollados de forma natural en diferentes densidades y sustratos. Se define como hierba a una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene una consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos. Estos herbazales son diferenciados en tres grupos: cobertura herbácea, densos y abiertos. De acuerdo con su condición de inundabilidad, se clasifican en inundables y de tierra firme. De acuerdo con la presencia de árboles y arbustos, se clasifican en arbolados y no arbolados.                                                          | Rastrojos bajos         |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezcla de parcelas de pastos y cultivos con intercalaciones de espacios naturales, con un área mayor a 25 ha.</li><li>• Parcelas agrícolas de cultivos anuales o transitorios con un área menor a 25 ha.</li><li>• Zonas pantanosas con un área menor a 25 ha.</li><li>• Pequeños cuerpos de agua naturales con un área menor a 25 ha.</li><li>• Relictos de bosques con un área menor a 25 ha.</li><li>• Bosques de galería o riparios y arbustales con un área menor a 25 ha.</li><li>• Parcelas de cultivos confinados y frutales con un área menor a 25 ha.</li><li>• Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, setos, vías).</li></ul> |                         |
| Mosaico de pastos con espacios naturales                       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mezcla de parcelas de pastos y zonas de espacios naturales con un área mayor a 25 ha.</li><li>• Zonas pantanosas con un área menor a 25 ha.</li><li>• Pequeños cuerpos de agua con un área menor a 25 ha.</li><li>• Relictos de bosques con un área menor a 25 ha.</li><li>• Bosques de galería o riparios y arbustales con un área menor a 25 ha.</li><li>• Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, setos, vías).</li></ul>                                                                                                                                                                                                              |                         |

Fuente: elaboración propia.

#### Anexo 4. Coberturas para la estimación de carbono almacenado por zona de vida

### Bosque seco tropical en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha)  | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|------------|----------------|
| Arbustal                                         | 165 795,82 | 37,81 %        |
| Bosque de galería o ripario                      | 17 674,83  | 4,03 %         |
| Bosque denso                                     | 15 562,73  | 3,55 %         |
| Bosque fragmentado                               | 6182,14    | 1,41 %         |
| Cultivos agroforestales                          | 16 295,62  | 3,72 %         |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 524,25     | 0,12 %         |
| Cultivos permanentes herbáceos                   | 7497,40    | 1,71 %         |
| Herbazal                                         | 11 980,88  | 2,73 %         |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 55 859,49  | 12,74 %        |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 76 365,97  | 17,41 %        |
| Pastos arbolados                                 | 52 206,58  | 11,90 %        |
| Plantación forestal                              | 3211,50    | 0,73 %         |
| Vegetación secundaria o en transición            | 9377,40    | 2,14 %         |
| Total                                            | 438 534,61 | 100,00 %       |

### Bosque húmedo tropical en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Arbustal                                         | 74 856,55 | 34,27 %        |
| Bosque de galería o ripario                      | 8999,78   | 4,12 %         |
| Bosque denso                                     | 8998,89   | 4,12 %         |
| Bosque fragmentado                               | 11 938,54 | 5,46 %         |
| Cultivos agroforestales                          | 9 215,41  | 4,22 %         |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 1075,02   | 0,49 %         |
| Cultivos permanentes herbáceos                   | 1253,69   | 0,57 %         |
| Herbazal                                         | 7949,74   | 3,64 %         |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 20 056,19 | 9,18 %         |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 69 323,71 | 31,73 %        |

| Uso del suelo       | Área (ha)  | Porcentaje (%) |
|---------------------|------------|----------------|
| Pastos arbolados    | 4740,33    | 2,17 %         |
| Plantación forestal | 52,50      | 0,02 %         |
| Total               | 218 460,35 | 100,00 %       |

### Bosque seco premontano en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Arbustal                                         | 311,64    | 16,16 %        |
| Bosque fragmentado                               | 174,63    | 9,06 %         |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 1442,03   | 74,78 %        |
| Total                                            | 1928,30   | 100,00 %       |

### Bosque húmedo premontano con transición a cálido en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha)  | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|------------|----------------|
| Arbustal                                         | 57 282,64  | 25,98 %        |
| Bosque de galería o ripario                      | 13 868,64  | 6,29 %         |
| Bosque denso                                     | 9790,21    | 4,44 %         |
| Bosque fragmentado                               | 22 308,98  | 10,12 %        |
| Cultivos agroforestales                          | 3072,25    | 1,39 %         |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 4942,81    | 2,24 %         |
| Cultivos permanentes herbáceos                   | 252,67     | 0,11 %         |
| Herbazal                                         | 18 909,47  | 8,58 %         |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 39 213,20  | 17,79 %        |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 45 517,67  | 20,64 %        |
| Pastos arbolados                                 | 5190,59    | 2,35 %         |
| Vegetación secundaria o en transición            | 131,05     | 0,06 %         |
| Total                                            | 220 480,18 | 100,00 %       |

## Bosque muy húmedo premontano en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha)  | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|------------|----------------|
| Arbustal                                         | 25 321,06  | 25,23 %        |
| Bosque de galería o ripario                      | 417,60     | 0,42 %         |
| Bosque denso                                     | 14 192,06  | 14,14 %        |
| Bosque fragmentado                               | 4227,14    | 4,21 %         |
| Cultivos agroforestales                          | 193,75     | 0,19 %         |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 2599,29    | 2,59 %         |
| Herbazal                                         | 14 905,70  | 14,85 %        |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 14 319,62  | 14,27 %        |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 22 799,27  | 22,71 %        |
| Pastos arbolados                                 | 1399,48    | 1,39 %         |
| Total                                            | 100 374,97 | 100,00 %       |

## Bosque muy húmedo montano bajo en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                                    | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Arbustal                                         | 13 362,95 | 15,47 %        |
| Bosque de galería o ripario                      | 1111,82   | 1,29 %         |
| Bosque denso                                     | 21 456,22 | 24,84 %        |
| Bosque fragmentado                               | 3914,18   | 4,53 %         |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 504,88    | 0,58 %         |
| Cultivos permanentes herbáceos                   | 11,74     | 0,01 %         |
| Herbazal                                         | 24 249,40 | 28,07 %        |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 3527,78   | 4,08 %         |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 9798,29   | 11,34 %        |
| Vegetación de páramo y subpáramo                 | 8448,95   | 9,78 %         |
| Total                                            | 86 386,21 | 100,00 %       |

Bosque muy húmedo montano en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                            | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|------------------------------------------|-----------|----------------|
| Arbustal                                 | 1482,54   | 12,76 %        |
| Bosque de galería o ripario              | 79,90     | 0,69 %         |
| Bosque denso                             | 1548,30   | 13,33 %        |
| Herbazal                                 | 2134,11   | 18,37 %        |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 438,89    | 3,78 %         |
| Vegetación de páramo y subpáramo         | 5934,51   | 51,08 %        |
| Total                                    | 11 618,25 | 100,00 %       |

Bosque pluvial montano en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                            | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|------------------------------------------|-----------|----------------|
| Arbustal                                 | 821,71    | 5,91 %         |
| Bosque denso                             | 245,10    | 1,76 %         |
| Herbazal                                 | 803,21    | 5,77 %         |
| Mosaico de pastos con espacios naturales | 34,45     | 0,25 %         |
| Vegetación de páramo y subpáramo         | 12 007,52 | 86,31 %        |
| Total                                    | 13 911,99 | 100,00 %       |

Páramo pluvial subandino en el departamento del Cesar

| Uso del suelo                    | Área (ha) | Porcentaje (%) |
|----------------------------------|-----------|----------------|
| Vegetación de páramo y subpáramo | 7006,69   | 100,00 %       |
| Total                            | 7006,69   | 100,00 %       |

Fuente: elaboración propia.



## Capítulo 9.

# Impacto de la subienda de peces del río Magdalena en la economía del municipio de Aguachica, Cesar

**Aura Camila Pacheco Tobio**

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4346-0221>

**Tania Masiel Picón Clavijo**

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1006-4036>

**Ingris Yohana Hernández Martínez**

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5059-2356>

**Margarita del Rosario Salazar Sánchez**

Universidad del Cauca

Facultad de Ciencias Agrarias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3636-2922>

**José Fernando Solanilla-Duque**

Universidad del Cauca

Facultad de Ciencias Agrarias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6664-9134>

## Resumen

Un fenómeno que se presenta en la actividad pesquera es la subienda de peces, en la que estos migran hacia aguas más cálidas y hay abundancia de estos durante varias temporadas del año, ocasionando que miles de pescadores se beneficien por el aumento de la pesca. Esto genera un impacto económico positivo debido a que se incrementan los ingresos monetarios de esta población, la cual compra productos en los diferentes sectores de la economía. A su vez, los vendedores de pescado, quienes le compran el producto a los pescadores, también se benefician de la subienda porque adquieren el producto a un precio mucho menor.

Por otro lado, la contaminación de distintas fuentes afecta el río, obligando a los diferentes actores involucrados a tomar acciones que mitiguen los efectos ocasionados, así como medidas que frenen el deterioro del río Magdalena y la reducción de peces. Algunas de las fuentes contaminantes provienen de las multinacionales y de personas que no tienen sentido de pertenencia. Además, el gremio pesquero resalta que ha sido olvidado por los entes gubernamentales en proyectos que les competen; de modo que, si sus necesidades y opiniones no son escuchadas y tenidas en cuenta, los proyectos no tendrán un impacto positivo en la comunidad pesquera.

**Palabras clave:** subienda de peces, contaminación, comercialización de pescado, Aguachica

## Abstract

A phenomenon that occurs in the fishing activity is the shoal, in which fish migrate to warmer waters and there is an abundance of fish during various seasons of the year, causing thousands of fishermen to benefit from the increase in fishing. This generates a positive economic impact because it increases the monetary income of this population, who buys products in different sectors of the economy. Fish sellers, who buy the product from fishermen, also benefit from the shoal because they acquired the product at a much lower price.

On the other hand, the river is affected by pollution from various sources, forcing the different actors involved to take action to mitigate the effects, as well as measures to stop the deterioration of the Magdalena River and the reduction of fish. Some sources of pollution come from multinationals and individuals with no sense of belonging. Furthermore, the fishing guild emphasises that they have been forgotten by governmental bodies in projects that concern them, so if their needs and opinions are not considered, the projects will not have a positive impact on the fishing community.

**Keywords:** shoal, pollution, fish marketing, Aguachica

## Introducción

La pesca es una actividad económica que se realiza de manera industrial o artesanal, y aporta al Producto Interno Bruto (PIB) de un país, contribuyendo a su desarrollo. En el caso de Colombia, en la mayoría de los pueblos ribereños se practica la pesca artesanal, que es el sustento de cientos de familias. Al amanecer o al anochecer, cientos de hombres salen a faenas de pesca, esperando obtener una buena captura para generar ingresos para sus familias. En el país, la pesca se realiza en las costas del océano Pacífico y del océano Atlántico, al igual que en las aguas interiores como las cuencas de los ríos Magdalena, Amazonas, Orinoco y Sinú (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

En muchos municipios ribereños y costeros del país, la pesca artesanal es la actividad económica primaria, ya que las personas obtienen de los recursos hídricos su sustento económico y su alimentación. Esto ocurre porque Colombia cuenta con una gran diversidad de peces, lo que permite tener un mercado para su comercialización. Cabe resaltar que las riquezas pesqueras con las que cuenta el país se ven afectadas por la contaminación ambiental, la cual causa la disminución de peces en muchas fuentes hídricas, perjudicando así la economía de estos municipios y la soberanía alimentaria de cientos de personas que pescan para su propio consumo (Moreno, 2018).

En las aguas interiores del país se realiza una importante actividad económica pesquera. Uno de los ríos donde se realiza esta actividad es el río Magdalena, el cual es un afluente que atraviesa el país de sur a norte y tiene presencia en 22 de los 32 departamentos del país y en 728 municipios de los 1100 municipios del país (Ordóñez, 2020). En las cercanías del municipio de Aguachica, específicamente en el municipio de Gamarra, pasa este importante río que representa un valioso recurso para la sostenibilidad económica del municipio, cuya principal actividad económica es la pesca (Universidad Santo Tomás, 2007).

Asimismo, para los municipios aledaños a Aguachica, resulta significativa la abundancia de peces porque una de las actividades económicas que más se desarrollan en la región del sur del departamento del Cesar es la pesca. Esto lleva a que la comercialización de este producto alimentario (el pescado) se convierta en el sustento y, en algunos casos, en la fuente primaria de ingresos de muchas familias aguachiquenses. Por tanto, los cambios que se produzcan en el subsector inciden directamente en la calidad de vida de las personas del territorio (Cámara de Comercio de Aguachica, 2019).

En este capítulo se dará a conocer, desde la perspectiva individual de un pescador y de un vendedor de pescado, el impacto de la abundancia o la escasez de peces sobre su economía; mediante la aplicación de una metodología cualitativa. En esta se empleó

como principal técnica de investigación la entrevista, basada en una guía de preguntas, a partir de la cual se desarrolló la presente investigación.

## Experiencias alrededor de la pesca

A lo largo de los años, las comunidades ribereñas y costeras han encontrado en la pesca su sustento económico, por cuanto aprovechan el río o el mar que las rodea para pescar y, así, sacar a sus familias adelante. Además, esta actividad no solo se convierte en el sustento económico de miles de familias, sino que convierte a los pescadores en conocedores innatos de estas aguas en las que navegan casi todos los días, generando así una experiencia excepcional generación tras generación y convirtiendo a la pesca y a las experiencias alrededor de esta en parte de su identidad cultural (Trujillo Osorio y Flórez Laisea, 2016).

Por otra parte, es importante resaltar que, en la actividad pesquera, se encuentran los vendedores de pescado, quienes facilitan que el producto llegue al consumidor en muchos pueblos donde no hay ríos, evitando así el desplazamiento de las personas hasta los municipios ribereños. Estos vendedores compran el pescado al pescador y lo revenden (Durán et al., 2014).

Uno de los municipios ribereños a la orilla del río más importante de Colombia es Gamarra, en el departamento del Cesar. Este municipio, que tiene el privilegio de estar rodeado por esas aguas, se caracteriza por la abundancia de diferentes especies de pescado que allí se consiguen. Además, la venta de pescado atrae el turismo. Muchas personas llegan a visitar el lugar y a recorrer el malecón, que cuenta con una vista inigualable al atardecer (figura 1).

**Figura 1.** Atardecer en el malecón del municipio de Gamarra



**Fuente:** elaboración propia.

Como se mencionó previamente, en la pesca se centra la vida de muchos pescadores, quienes, al amanecer o al anochecer, salen a faenas de pesca en busca de una buena captura para poder llevar el alimento y el sustento económico a sus familias, y sacar a sus hijos adelante. La mayoría de estos pescadores se han dedicado a esta actividad por varios años. En muchos casos, esta tradición es heredada de generación en generación, pues los padres les enseñan a sus hijos el amor por la pesca desde muy pequeños y, al crecer, estos eligen el mismo oficio. Por tanto, al pasar tanto tiempo de su vida dedicadas a esta actividad, estas personas adquieren mucha experiencia, contribuyendo al legado cultural de la pesca. Para M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022):

Es algo ancestral. Sobre lo de mi papá, le doy gracias a Dios que desde niño me enseñó a trabajar y, cuando salía de clases, a veces me llevaba a hacer las faenas de pesca y, pues, la verdad ya cuando fui mayorcito me gustó esa empresa porque, para mí, es una empresa... Tengo de experiencia aproximadamente 39 años de experiencia como pescador... Le doy gracias a Dios porque muchos pescadores tienen hijos profesionales por el medio de la pesca. Si, inclusive, en estos momentos tengo un hijo también estudiando en la Universidad Popular.

Lo anterior afirma que la pesca es una actividad fundamental para las comunidades ribereñas por cuanto los ha ayudado a salir adelante. Este pescador, presidente de una asociación de pescadores del municipio, señala que la pesca es una actividad ancestral que se va inculcando con amor de generación en generación. El resultado es que las personas decidan dedicarse voluntariamente a este arte, que les ha permitido sacar a sus hijos adelante y, en muchos casos, convertirlos en profesionales. Además, resalta que lleva 39 años dedicado a la pesca, lo cual lo convierte en un gran conocedor de esta actividad.

Los pescadores se someten a largas jornadas de pesca y no tienen horas exactas para realizar dicha actividad, ya que no regresan a la orilla hasta que logran capturar un número suficiente de peces. Además, no siempre pescan en los mismos lugares y, cuando pescan lejos de sus casas, muchas veces comercializan el pescado en los municipios que están cerca donde realizan esta actividad. De acuerdo con M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022):

Nosotros trabajamos con motores fuera de borda cuarenta y trabajamos de la mitad del río para la orilla, trabajamos prácticamente en la mitad del río... Sí, por lo menos, hemos estado en una parte de Canta Gallo, otra parte San Pablo y lo que es Morales, por Vijagual, el Banco Magdalena, o sea, todos esos sitios. Nosotros hacemos faenas. Muchas veces comercializamos ahí mismo. Llevamos hielo, mercado y combustible para seguir haciendo la faena... Pues, cuando sale uno para esos sitios, digamos de Vijagual, que es tan lejos, a veces se demora uno nueve días, siete días, cinco días, dependiendo la cantidad de peces que pueda

uno coger en los días esos porque uno lleva una cantidad de hielo, que nosotros le llamamos acá bloque de hielo, que pesa cinco arrobas. Cuando nos vamos para allá, echamos diez bloques de esos. Entonces, dependiendo del animal que se atrape, que aguante con ese hielo, como a veces demora uno hasta tres días como hay veces que demora uno más de la semana.

Las faenas de pesca dependen de la cantidad de peces que se puedan capturar. Es importante mencionar que se capturan ciertas especies de peces porque abundan más que otras. Según M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022), “directamente en las faenas de pesca más son: el bocachico, el bagre, la doncella y por ahí el nicuro, pero muy poco. Lo más normal son esas tres especies”. Este pescador pesca en aguas de diferentes municipios, algunos de los cuales pertenecen al Magdalena Medio.

Un fenómeno que conocen bastante bien los pescadores por sus años de experiencia y que tiene un impacto positivo es la subienda de peces. Al respecto, M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022) describe que hoy en día no se sabe con precisión cuándo ocurrirá la subienda de peces:

[Inicio de cita]Nosotros, antes, diez años atrás, sabíamos que teníamos tres temporadas. Sí, lo que era verano, que comenzaba en diciembre, enero, febrero y parte de marzo, ahí venía lo que era creciente, que nosotros le llamamos bajanza. Todo ese animal que sube por el río, cuando ya el río comienza a crecer, él baja, viene buscando la ciénaga para descansar, para poner, para reproducirse. Nosotros le llamamos bajanza, ahí se mete junio, julio, agosto, septiembre, meses que son veranillo. Es otro verano más pequeño que no es tan seco como el verano, pero con estas multinacionales que tenemos, con las represas que tenemos, ya nosotros no sabemos ni cuándo es verano ni cuándo es invierno.[Final de cita]

En efecto, las temporadas que menciona este pescador son verídicas. Según el estudio *La investigación científica y académica transdisciplinaria*, durante los meses de enero y febrero inicia la temporada de subienda de peces. Esta consiste en que los peces empiezan a subir por el río Magdalena en busca de aguas frescas; por tanto, se presenta una abundancia de peces a medida que van subiendo por el río (Cornejo Olarte et al., 2021).

En cuanto a los periodos de tiempo en que se presenta la subienda de peces, M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022) afirma que:

Sí, el momento que uno menos cree, en el río no hay nada y, de un momento a otro, ve que se presentó una funda de pescado, así como hablamos nosotros, que en tal parte hay una funda de pescado, en tantos días se pone aquí en el sitio de nosotros. Más o menos uno tiene la idea en qué tiempo se echa de un municipio a otro, sí, la lejura que tiene, todo, más o menos ya uno le tiene como un cálculo, qué tiempo se echa, cuántos días se echa, ya uno le tiene como un cálculo, más

o menos el tiempo que se puede echar... y el bocachico, el bagre, el blanquillo, el nicuro son las cuatro especies más abundantes que hay en tiempo de verano.

De acuerdo con lo anterior, las subiendas de peces se presentan en cualquier momento. Cuando esto ocurre, se puede inferir que, gracias a la experiencia que tienen, los pescadores calculan los lugares y los días en que los peces se van encontrando en diferentes aguas de los distintos municipios por los que atraviesa el río.

Una situación a la que los pescadores se han enfrentado es el olvido por parte de las entidades gubernamentales, ya que no son escuchados ni tenidos en cuenta en la formulación de proyectos. Al respecto, M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022) señala lo siguiente:

Soy una persona, vuelvo y le digo, tengo muchos años de estar en un proceso y uno quisiera que verdaderamente el gobierno nacional nos escuchara: qué queremos, qué sabemos, qué es lo que verdaderamente se necesita para nosotros poder recuperar los humedales. Porque nosotros sí sabemos qué es lo que verdaderamente necesitamos, qué es lo que no necesitamos. Porque es que llegan los mandatarios locales, hacen unos proyectos digamos para la ciénaga y, o sea, el pescador no existe. Cuando vienen esos proyectos, viéndolo bien, no es un bien para el pescador, es un prejuicio para el pescador y el decir de ellos es que ya el proyecto está aprobado.

La petición del pescador Mario Mayorga, quien pertenece al gremio pesquero del municipio, es que los pescadores sean escuchados cuando cualquier ente gubernamental formule proyectos que involucren al gremio y al río. En ocasiones, sus necesidades no son priorizadas y, si ellos, que conocen más que nadie las aguas del río, la naturaleza del entorno y los problemas que presentan, no son tenidos en cuenta, no es posible desarrollar proyectos que generen impactos positivos en ellos y en el río.

Según M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022): “En estos momentos somos 30 motores, aproximadamente, 90 personas, más de 300, 400 familias, que nos estamos manteniendo de la pesca, donde nosotros tenemos más de 25 años de estar pescando”. De manera que muchas familias dependen de la pesca; por tanto, es importante que los pescadores sean escuchados al formular proyectos para que estos repercutan positivamente en el sector pesquero.

Al inicio del capítulo, se mencionó que las personas dedicadas a la venta de pescado también cumplen un rol importante dentro del sector pesquero, ya que comercializan el producto a través de la venta ambulante o por medio de un punto de venta fijo, generando así una actividad económica. En Aguachica se consume mucho pescado y es común encontrar puestos de venta de pescado. Su cercanía al municipio de Gamarra

y otros municipios donde hay ciénagas permite conseguir fácilmente el producto para su comercialización.

En este contexto, se presenta el caso de Edy Johana Arias, quien lleva 17 años trabajando como vendedora de pescado en el municipio de Aguachica. Al haber dedicado gran parte de su vida a este oficio, cuenta con una gran experiencia en el sector (E. J. Arias, entrevista, 23 de noviembre del 2022).

Las personas que trabajan vendiendo pescado buscan un municipio que les llame la atención para comprar el producto que posteriormente comercializarán. En particular, E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022) señala que: “Yo lo compro de Campo Amalia”. Esta vendedora adquiere el pescado en un corregimiento del municipio de Aguachica, donde se encuentran varias ciénagas.

Por otra parte, quienes se dedican a la venta de pescado deciden venderlo en un punto fijo si no hay mucha competencia alrededor, es decir, si no hay más puntos de venta en el mismo sector, o venderlo en diferentes sectores movilizándose en bicicleta o motocicleta. En el caso de E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022), comercializa el pescado en su residencia ubicada en el barrio La Unión.

En cuanto a la subienda de peces, hay temporadas en que los peces abundan y otras en que escasean. Este comportamiento ha variado a lo largo de los años. E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022) relata que durante sus años de trabajo en la venta de pescado se ha encontrado con épocas en las que ha habido abundancia o escasez; de esto ha dependido que sea más fácil o más difícil conseguir el pescado.

En definitiva, para que la actividad económica pesquera permanezca vigente y pueda generar mayor rentabilidad, es necesario el cuidado del recurso hídrico, el manejo y la disposición final de los desechos industriales, y la formulación de proyectos por parte de entes gubernamentales y territoriales que involucren más a los actores del sector pesquero.

## Comercialización de pescado

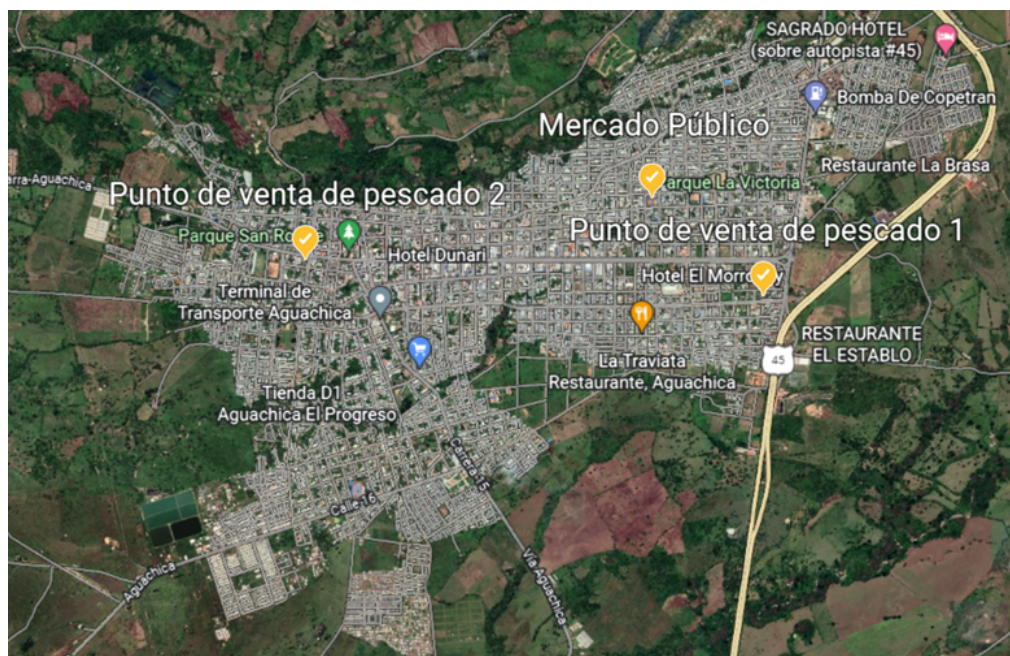
Las actividades pesqueras en el sur del departamento del Cesar son concebidas por quienes trabajan en el sector como una manera de generar ingresos económicos y llevar el sustento a sus hogares. Esto es posible gracias a que cuentan con una ubicación óptima para la pesca y con una abundancia de peces al ser una región por la cual pasa uno de los ríos más importantes del país: el río Magdalena. Allí, convergen diferentes economías que les permiten a las personas (en su mayoría, de modo independiente) llevar a cabo la comercialización de pescado (Gobernación del Cesar y Aviatur, 2010). Este invaluable recurso hídrico permite que la región cuente con un ecosistema acuático

rico y abundante en fauna, del cual se extrae una gran variedad de peces que, luego, son comercializados en los distintos municipios del departamento. Este es un instrumento económico valioso, que poco a poco va fortaleciendo al sector.

Por otro lado, para las comunidades que desarrollan sus actividades económicas alrededor de la pesca artesanal, esta se ha convertido no solo en un medio de subsistencia y fuente principal de ingresos, sino en parte de su identidad cultural (Fuenzalida Velasco, 2016). Estas comunidades se han encargado de mantener sus costumbres y transmitir el arte de la pesca de generación en generación para que conserve su valor económico y cultural. En un estudio sobre la Amazonía colombiana realizado por Trujillo Osorio y Flórez Laiseca (2016), se encontró que la pesca artesanal es un factor importante para la economía y el bienestar de las personas que habitan alrededor del río Amazonas. En ese sentido, la actividad pesquera se debe comprender como parte de la identidad cultural de las poblaciones ribereñas y un medio a través del cual muchas familias garantizan su subsistencia.

La comercialización es vista como una de las actividades más importantes del proceso económico. Dentro de la pesca, la comercialización consta de dos etapas. En la primera etapa, el pescador decide a quién venderle el pescado fresco que ha capturado. En la segunda etapa, el pescado es arreglado (sus agallas son extraídas y es descamado y arrollado) y llevado a los mercados o puntos de venta para ponerlo a disposición del público. Cabe mencionar que la comercialización de este producto se puede realizar tanto al por mayor como al por menor (Galarza y Kámiche, 2015).

En el municipio de Aguachica, el comercio mayorista y minorista de pescado se concentra principalmente en el sector del mercado público del municipio, específicamente en el área de productos pesqueros, ubicada entre las carreras 30 y 31 con calle 1.<sup>a</sup>. Como se muestra en la figura 2, algunas pescaderías minoristas se ubican en la esquina de la calle 8.<sup>a</sup> con carrera 24, donde diferentes vendedores de pescado se sitúan en el punto de venta de lunes a viernes en horas de la tarde para realizar su labor (punto de venta de pescado 1). Otro punto de venta al por menor se ubica en la carrera 8.<sup>a</sup> con calle 5.<sup>a</sup> (punto de venta de pescado 2).

**Figura 2.** Mapa urbano del municipio de Aguachica y puntos de venta de pescado

**Fuente:** elaboración propia por medio del *software* Google Earth.

La comercialización de pescado en el municipio de Aguachica es una de las actividades económicas con las que muchas familias logran conseguir el sustento para sus hogares. Tal es el caso de Edy Yohana Arias, el cual se abordó en la sección anterior. En su vivienda posee los implementos necesarios para realizar las ventas: una pesa, un congelador y una cava de icopor de gran tamaño donde conserva el pescado. Sus clientes son en su mayoría vecinos del barrio y personas que llegan al lugar a preguntar por el producto.

Para E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022), la comercialización de pescado ha sido relativamente estable durante el último año. A pesar de que el precio del pescado puede variar significativamente en diferentes temporadas del año debido a su escasez o abundancia, las ventas se mantienen a un buen ritmo. Esta vendedora señala que las mayores ventas las obtiene: “Del mes de marzo a abril, y de noviembre a diciembre, porque la gente sale a viajar y de junio a julio, pero para mí todos los días son bien, todos los días”.

A su vez, E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022) afirma que comercializa cuatro tipos de pescado: criollo, blanquillo, bocachico y mojarra negra, de los cuales destaca que las ventas siempre se mantienen constantes y ninguno se venden en menor proporción que los otros. Esto es muy gratificante para quienes realizan actividades pesqueras porque sus entradas económicas no se ven significativamente afectadas.

Además, señala que los pescados que vende se agotan rápido; por tanto, cuatro veces a la semana (lunes, miércoles, viernes y domingos) le encarga el pescado a un familiar desde el corregimiento de Campo Amalia, perteneciente al municipio de Aguachica, de donde es oriunda Edy Johana y de donde proviene el producto que comercializa.

Sin embargo, de los cuatro tipos de pescado, E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022) manifiesta que la mojarra negra es la que más se escasea durante el año porque es escasa en creciente y resulta más difícil conseguirla para su comercialización. Por su parte, el blanquillo o bagre es el que, según ella, es mucho más fácil conseguir para la venta porque es un pescado que se encuentra en creciente (figura 3). En cambio, el bocachico es un poco más difícil de conseguir para la temporada decembrina y se vende a \$7500, aunque hubo un momento en el año en que este tipo de pescado llegó a venderse hasta por \$12000 la libra.

**Figura 3.** Pescado que Edy Johana Arias comercializa en su barrio



**Fuente:** elaboración propia.

Con respecto al precio del pescado, M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022) señala que:

Bueno, este año no se bajó, digamos que no se bajó mucho. En este año el más barato que se puso se puso a \$5000. En estos momentos está como a \$6000 y

\$7000. Todavía está un poco cómodo, sí, pero en tiempo que comienza ya verdaderamente lo que es enero, febrero, son tiempos secos, se consigue a 3000 y hasta 4000, hasta \$2000 se consigue la libra. En estos momentos tiene un precio estable de \$5000, \$6000 la libra.

En ese sentido, la variación del precio del pescado no ocasiona que las ventas caigan significativamente y generen perjuicios sobre los ingresos de los vendedores. En el caso de E. J. Arias (entrevista, 23 de noviembre del 2022), nunca ha tenido periodos en los que haya una decaída en las ventas o en los que tenga grandes dificultades para vender sus productos, a pesar del incremento en el precio de estos. En cambio, vende rápidamente todo el pescado que le llega de Campo Amalia.

Por otro lado, Gamarra, que cuenta con uno de los ríos más importantes y atractivos para desarrollar actividades de pesca artesanal, se convierte en un gran centro turístico. Según M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022), en días pasados, este municipio recibió un gran número de turistas provenientes de ciudades como Bucaramanga, Ocaña y Aguachica, que llegaron no solo a apreciar la belleza del paisaje, sino también a comprar debido a la abundancia de peces grandes que se obtuvieron durante la subienda. Esto impacta positivamente la economía del municipio de Gamarra y de los municipios aledaños, ya que, con la subienda de peces, se logra una mayor comercialización.

## La contaminación y su afectación en la pesca

Los ríos son fuente de riqueza natural, ya que albergan flora y fauna de gran importancia que forman parte de la biodiversidad del país. No obstante, la contaminación está acabando con los ríos y también afectará a los mares, dado que los ríos desembocan en estos (figura 4). Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2002), un 90 % de los productos contaminantes que llegan al mar provienen de los ríos. Esto indica que, si los ríos se siguen contaminando, la contaminación en los mares aumentará, causando un desastre ecológico en los años venideros.

**Figura 4.** Contaminación en la orilla del río Magdalena, en el malecón del municipio de Gamarra



**Fuente:** elaboración propia.

Si para el 2002 la contaminación de los ríos aportaba un alto porcentaje a la afectación de los mares, hoy en día la situación no ha mejorado porque los ríos siguen contaminados. En el caso del río Magdalena, Maldonado Ocampo et al. (2020) advierten que se encuentran amenazadas 41 especies endémicas por causa de la deforestación y aguas residuales provenientes de grandes industrias. Una forma de conocer la situación ambiental de un lugar es preguntarle a las personas que habitan el territorio y conocen de cerca la situación. En cuanto a cómo la contaminación afecta la pesca en el río Magdalena, los pescadores son quienes saben al respecto, ya que a través de sus faenas han observado a lo largo de los años cómo la contaminación ha ido cambiando las dinámicas de la pesca.

El pescador Mario Mayorga es del municipio de Gamarra y ha vivido toda su vida allí. Desde que era joven empezó a pescar; por tanto, conoce muy bien cómo la contaminación ha afectado la pesca a través del tiempo. Este pescador indica que las multinacionales son una de las principales fuentes de contaminación del río, de modo que afectan la actividad pesquera:

Claro que está afectando las multinacionales, todo lo que es el ambiente, o sea, todo lo está dañando, porque es que las multinacionales... Le voy a poner un ejemplo. Nada más con la exploración que tienen ahora con lo del petróleo, llegan, hacen unos estudios en la ciénega, comienzan a explotar, comienzan y el daño que le están haciendo a nosotros y a los humedales es bastante grande (M. Mayorga, entrevista, 20 de noviembre del 2022).

Según Frau Pérez (2017), las grandes multinacionales tienen poder económico, que poco a poco se ha ido convirtiendo en poder político, puesto que se encuentran en países con un sistema capitalista. Estas empresas priorizan sus intereses sin tener en cuenta el impacto ambiental que ocasionan ni a las personas que afectan. Al respecto, M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022) enfatiza en que hay una multinacional que contamina el río Magdalena en el municipio de Gamarra, como se observa en la figura 5:

[Inicio de cita]más que todo tenemos la contaminación de la empresa esa, Coal Corp, los que sacaron de Capulco. Tenemos una contaminación dura porque es que directamente todos esos residuos van derecho al río y a la ciénega, o sea, no le tienen control.[Final de cita]

**Figura 5.** Contaminación del río Magdalena en el municipio de Gamarra



**Fuente:** elaboración propia.

Según M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022), las actividades de la Sociedad Portuaria Coal Corp están contaminando el río, dado que sus desechos terminan en este, ocasionando el deterioro de la fuente hídrica. Cabe resaltar que, en el municipio de Gamarra, el Gobierno nacional quiere construir la Sociedad Terminal Fluvial Andalucía S. A. en un sector conocido como Cantarrana, donde los pescadores han realizado sus actividades de pesca por más de 30 años. Con la construcción de este puerto, el gremio pesquero del municipio perdería un sector importante para la pesca y, por tanto, sus ingresos económicos se verían afectados. Sin embargo, no se trata solamente de la afectación a la pesca, estos puertos generan un impacto ambiental negativo al alterar las dinámicas del ecosistema, causando su deterioro y la consecuente pérdida de fauna (Delvalle Quevedo, 2017).

El puerto se quiere localizar en este municipio porque es un sitio estratégico que cuenta con una ubicación central, donde convergen el transporte terrestre, férreo y fluvial, lo que lo convierte en el lugar adecuado para el transporte fluvial de carga, el cual es el objetivo del proyecto. Con la llegada del nuevo puerto al municipio, se les promete a los pescadores, la comunidad más afectada, que resultarán beneficiados. No obstante, en el municipio de Gamarra no creen en estas promesas porque ya vivieron una experiencia similar: hace muchos años fueron desplazados de un sector donde llevaban años pescando para construir Capulco, un puerto concesionado por la Sociedad Portuaria Coal Corp S. A., en el cual se realiza la carga y descarga de mercancías en las modalidades de carretero, férreo y fluvial. Como se mencionó anteriormente, este puerto contamina el río, de modo que se ha convertido en un perjuicio para la comunidad pesquera y no en un beneficio.

A partir de dicha experiencia, los pescadores saben que con la construcción del puerto Andalucía se verán seriamente afectados, debido a que sus lugares de pesca serán invadidos, desplazándolos de donde por muchos años han obtenido su sustento económico con el que han sacado a sus familias adelante. Esta situación es preocupante porque su labor será interrumpida y sus ingresos económicos no serán suficientes para subsistir, afectando la calidad de vida de los pescadores y, en general, de los pobladores del municipio. Asimismo, el proyecto tendrá un impacto negativo sobre el medio ambiente, puesto que los ecosistemas, donde abundan miles de especies, serán degradados y las afectaciones sobre la flora y fauna del río Magdalena serán de gran magnitud, como se observa en la figura 6.

**Figura 6.** Pez muerto a orillas del río Magdalena en el malecón del municipio de Gamarra



**Fuente:** elaboración propia.

De acuerdo con M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022):

Sí, lo que pasa es que puerto Capulco sí era un puerto pesquero, pero hace muchísimos años ese puerto desapareció... Hubieron personas que se metieron, jóvenes ahí y murieron de la vejez... Al tiempo de estar ahí, llegó un puerto multinacional que se llama Coal Corp, los reubicaron.

El relato del pescador Mario Mayorga permite evidenciar que la empresa Coal Corp afecta la calidad del agua del río y, por tanto, perjudica a las especies que habitan en él. Otro aspecto relacionado con la contaminación de las fuentes hídricas que afecta a la pesca es la falta de cultura de los pobladores y los visitantes, quienes no tienen sentido de pertenencia, pues arrojan residuos plásticos al agua. Debido a su largo proceso de descomposición, estos afectan a los ecosistemas acuáticos, provocando la muerte de los peces. Según M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022):

Sí, hay muchas personas, digamos, no tienen cultura en nuestro municipio. Le digo sinceramente que a uno le da hasta rabia... Yo muchas veces he estado en ese malecón en horas de la mañana y en horas de la tarde, y muchos de ahí cogen esa bolsa de basura y la tiran al río. Hombre hay un carro de aseo que recoge

basura, déjenlo ahí, esperen que pase ese carro. No, todo lo tiran es al río... La verdad me ha dado dolor lo que pasa con el río.

En relación con esto, no solo la contaminación provocada por las grandes empresas genera la pérdida de peces, la falta de conciencia de los pobladores sobre la contaminación también ocasiona el deterioro de los ecosistemas al arrojar residuos a las fuentes hídricas. Por consiguiente, es fundamental que las personas entiendan que el río es el corazón del municipio y que su contaminación no va a afectar solo al municipio, sino también al mar donde desemboca y que, si no se cuidan las fuentes hídricas, en un futuro va a ocurrir un desastre ecológico.

En cuanto a la subienda de peces, la existencia de obras ubicadas en los alrededores de los ríos puede producir alteraciones en los ecosistemas, como es el caso de las represas. Estas repercuten en la cantidad de peces que pueden llegar a capturar los pescadores. Así lo manifiesta M. Mayorga (entrevista, 20 de noviembre del 2022):

Con las represas que tenemos, ya nosotros no sabemos ni cuándo es verano ni cuándo es invierno. En estos momentos, le damos gracias a mi Dios que hay una ola invernal, hay porque todavía Gamarra tenemos una ola invernal en este momento. Hubo bastante agua, digamos, las represas no pudieron soportar toda el agua porque tuvieron que abrir compuertas. Entonces, pues muchas murallas se rompieron y ha habido una buena temporadita de pesca, o sea, mientras que haya agua tenemos peces. Si no tenemos agua, no tenemos peces.

En ese sentido, gracias a que las condiciones climáticas han sido favorables durante el último año debido a la presencia de fuertes lluvias, que en últimas resulta en la subienda de peces, se ha generado un entorno sumamente beneficioso para que se lleven a cabo las actividades pesqueras. No obstante, dicho tipo de obras genera incertidumbre sobre el destino de los pescadores y del sector, pues la presencia de fauna se estaría limitando a aquellas áreas donde existe mayor abundancia de agua, es decir, a la represa. De modo que los pescadores ubicados río abajo deben empezar a trasladarse a nuevas zonas donde puedan capturar peces, lo cual afecta el rendimiento de la pesca.

Precisamente, en un estudio realizado por Van Damme et al. (2018) se encontró que las represas producen un impacto negativo sobre la población de algunas especies de peces. Por consiguiente, los autores resaltan la importancia del apoyo que puedan brindar las entidades territoriales en términos de gestión ambiental para la conservación y protección de los ecosistemas acuáticos, teniendo en cuenta que existen otras actividades económicas que generan afectaciones sobre los recursos hídricos. En ese sentido, es necesario implementar medidas de control, ya que los pobladores ribereños dependen de la pesca y cualquier acción contaminante que deteriore los ríos y los ecosistemas puede incidir negativamente en la calidad de vida de los habitantes del territorio.

## Referencias

- Cámara de Comercio de Aguachica. (2019). *Informe de estudios económicos*. [https://camaraaguachica.org.co/files/ley-transparencia/obligacion-reporte/estudios-investigaciones-otros/concepto-economico/ESTUDIOS\\_ECONOMICOS\\_2019.pdf](https://camaraaguachica.org.co/files/ley-transparencia/obligacion-reporte/estudios-investigaciones-otros/concepto-economico/ESTUDIOS_ECONOMICOS_2019.pdf)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6411-la-contaminacion-rios-sus-efectos-areas-costeras-mar>
- Cornejo Olarte, D. A., Paredes Ugarte, W., Quispe Aymachoque, J. P., Llanos Condori, V. y Apaza Cruz, J. L. (2021). Acumulación de metales contaminantes en aguas y sedimentos. En Escuela Internacional de Negocios y Desarrollo Empresarial de Colombia; Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia, y Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad (Coords.), *La investigación científica y académica transdisciplinaria* (pp. 10-47). Editorial EIDEC. <https://doi.org/10.34893/nkf9-1593>
- Delvalle Quevedo, R. (2017). *El proyecto de recuperación de la navegabilidad del río Magdalena como generador de conflictos ambientales en la llanura inundable del río Magdalena* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59231>
- Durán, E., Rosado, R. R., Ballesteros, O. D. y Lerma, D. E. (2014). Comercialización de pescado en las principales plazas de mercado de Montería, Colombia. *Temas Agrarios*, 19(1), 48-62. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.724>
- Frau Pérez, P. (2017). *Incidencia de las empresas multinacionales sobre el derecho humano al agua y al saneamiento* [trabajo de grado, Universitat Jaume I]. <http://hdl.handle.net/10234/169454>
- Fuenzalida Velasco, A. (2016). Observando el concepto de cultura desde la pesca artesanal. *Revista Bricolaje*, (2), 18-20. <https://revistabricolaje.uchile.cl/index.php/RB/article/view/52105>
- Galarza, E. y Kámiche, J. (2015). *Pesca artesanal: oportunidades para el desarrollo regional*. Universidad del Pacífico. <http://hdl.handle.net/11354/1013>
- Gobernación del Cesar y Aviatur. (2010). *Plan sectorial de turismo del departamento del Cesar. Cesar: naturaleza, música y leyenda*. <https://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=573bd733-834f-43f1-bf7c-4d7d1a9c37b2>

- Maldonado Ocampo, J. A., DoNascimento, C., Usma Oviedo, J. S., Herrera Collazos, E. E. y Garcia Melo, J. E. (2020). Biodiversidad de los peces de agua dulce en Colombia. En *Colombia, país de peces* (pp. 19-22). <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/35410/Colombia%20pais%20de%20peces.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno, L. (2018). La pesca e los pescadores artesanales en Colombia. *Pegada. A Revista da Geografia do Trabalho*, 19(2), 343-377. <https://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/view/5514>
- Ordóñez, J. I. (2020, 20 de octubre). Río Magdalena, patrimonio de la humanidad. *Periódico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/rio-magdalena-patrimonio-de-la-humanidad/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>
- Trujillo Osorio, C. y Flórez Laiseca, A. M. (2016). Contribución económica de la pesca artesanal a la economía de las comunidades ribereñas del Amazonas colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), 105-121. <https://doi.org/10.22490/21456453.1546>
- Universidad Santo Tomás. (2007). *Gamarra II-Economía* [video]. <https://hdl.handle.net/11634/1699>
- Van Damme, P. A., Córdova Clavijo, L., Baigún, C., Hauser, M., Doria da Costa, C. R. y Duponchelle, F. (2018, del 7 al 9 de septiembre). Impacto de represas hidroeléctricas sobre las poblaciones del dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) en la Amazonía boliviana. *III Simposio Internacional de Acuicultura & V Workshop de la Red de Investigación sobre la Ictiofauna Amazónica (RIIA)*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/impacto\\_de\\_represas\\_espanol.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/impacto_de_represas_espanol.pdf)



**Sello Editorial**

Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia

**Sede Nacional José Celestino Mutis**

**Calle 14 Sur 14-23**

**PBX: 344 37 00 - 344 41 20**

**Bogotá, D.C., Colombia**

**[www.unad.edu.co](http://www.unad.edu.co)**

