



SELLO EDITORIAL
AMERICANA



INNOVACIÓN CON PROPÓSITO
**PROTOTIPANDO A
PARTIR DE IDEAS
CREATIVAS**

Compiladores: ■
Juan Carlos Martínez-Torres
Dianys Paola Giraldo-Pérez

Innovación con propósito. Prototipando a partir de ideas creativas / Juan Carlos Martínez Torres [y otros 21]; compilado por: Juan Carlos Martínez Torres y Dianys Paola Giraldo Pérez. -- Barranquilla: Sello Editorial Americana 2025.

143 páginas; ilustraciones, 17*21 cm.
ISBN 978-958-5169-98-2 (versión digital)

Nota: incluye referencias bibliográficas, al final de cada capítulo.

1. Corporación Universitaria Americana – Proyectos de investigación 2. Innovaciones tecnológicas –Aplicaciones. 3.Prototipos (Desarrollo de productos) – investigaciones. 4. Investigación y desarrollo. 5. Ciencia y tecnología. 6.Aprovechamiento de residuos – investigaciones. 7.Residuos orgánicos – investigaciones. 8. Conversión de residuos – investigaciones. Tecnología Ambiental I. Martínez Torres, Juan Carlos, coautor. II. Giraldo Pérez, Dianys Paola, coautor. III. Barranco García, Loren Saeth, coautor. IV. Callejas-Porto, Laura Sofía, coautor. V. Callejas-Porto, Marcela, coautor. VI. Castillo Gracia, Luis Ángel, coautor. VII. Rodríguez Rodríguez, Óscar Jair, coautor. VIII. Martínez Torres, Diana Carolina, coautor. IX. Caro Soto, Melissa Soledad, coautor. X. Castro Asmar, Yuly María, coautor. XI. Cano Soto, Mariana, coautor. XII. Duran Pedroza, Jorge coautor XIII. Cárdenas Cantillo, Ingrid, coautor. XIV. Cortes Bracho, Oriana Carola, coautor. XV. Pérez Barraza, Jefferson, coautor. XVI. Martínez Juvené, Johanna coautor. XVII. Echavarría Villa, Jesús David, coautor. XVIII. Betancourt Rodríguez, Libnázalet, coautor. XIX. Charris Arteta, Miguel Ángel, coautor XX. Prieto Royet, Andrea Carolina, coautor. XXI González Montero, Martha Nazarena, coautor. XXII Hoz Toscano, Milton José, de la, coautor. XIII. Título.

6077 I584 SCD23 ed.
Corporación Universitaria Americana-Sistema de Bibliotecas



Corporación Universitaria Americana ©

Sello Editorial Americana©

ISBN Digital: **978-958-5169-98-2**

INNOVACIÓN CON PROPÓSITO: PROTOTIPANDO A PARTIR DE IDEAS CREATIVAS

COMPILADORES:

Dianys Paola Giraldo-Pérez, Juan Carlos Martínez-Torres

AUTORES:

Loren Saeth Barranco-García, Juan Carlos Martínez-Torres, Laura Sofía Callejas-Porto, Marcela Callejas-Porto
Dianys Paola Giraldo- Pérez, Luis Ángel Castillo-Gracia, Oscar Rodríguez-Rodríguez, Diana Carolina Martínez-Torres, Cinthia Carolina Llerena Caraballo, Leidys Johana Borja González, Jesus David Echavarría Villa, Milton de la Hoz, Melissa Soledad Caro Soto, Yuly Castro Asmar, Mariana Caro Soto, Jorge Duran Pedroza, Ingrid Cárdenas Cantillo, Libnázalet Betancourt Rodríguez, Oriana Carola Cortés Bracho, Miguel Ángel Charris Arteta, Andrea Carolina Prieto Royet, Martha Nazarena González Montero, Johanna Carolina Martínez Juvene, Jefferson Pérez Barraza

Presidente

JAIME ENRIQUE MUÑOZ

Rectora Nacional

ALBA LUCÍA CORREDOR GÓMEZ

Vicerrector Académico Nacional

MARIBEL YOLANDA MOLINA CORREA

Vicerrector de Investigación Nacional

RICARDO SIMANCAS TRUJILLO

Coordinación Sello Editorial

EVA LUNA CONTRERAS MARIÑO

Sello Editorial Americana

selloeditorialamericana@americana.edu.co

Diagramación y portada: Kelly J. Isaacs González

Imagen portada: Freepik.com

Corrección de estilo: Eva Luna Contreras Mariño

1a edición: 2025-12-01

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma o por medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, u otro, sin previa autorización por escrito del Sello Editorial Americana y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden con los de la Corporación Universitaria Americana y da cumplimiento al Depósito Legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, los decretos 460 del 16 de marzo de 1995, el 2150 de 1995, el 358 de 2000 y la Ley 1379 de 2010.

**INNOVACIÓN CON PROPÓSITO:
PROTOTIPANDO A PARTIR DE IDEAS CREATIVAS**

Compiladores:

Dianys Paola Giraldo-Pérez,
Juan Carlos Martínez-Torres

Autores:

Loren Saeth Barranco- García
Juan Carlos Martínez-Torres
Laura Sofía Callejas-Porto
Marcela Callejas-Porto
Dianys Paola Giraldo- Pérez
Luis Ángel Castillo-Gracia
Oscar Rodríguez-Rodríguez
Diana Carolina Martínez-Torres
Cinthia Carolina Llerena Caraballo
Leidys Johana Borja González
Jesus David Echavarría Villa
Milton de la Hoz
Melissa Soledad Caro Soto
Yuly Castro Asmar
Mariana Caro Soto
Jorge Duran Pedroza
Ingrid Cárdenas Cantillo
Libnazaré Betancourt Rodríguez
Oriana Carola Cortés Bracho
Miguel Ángel Charris Arteta
Andrea Carolina Prieto Royet
Martha Nazarena González Montero
Johanna Carolina Martínez Juvene
Jefferson Pérez Barraza

CONTENIDO

Prólogo	7
Capítulo 1	9
Mejorando la agilidad de adultos mayores a través de la tecnología.	9
1.1 Introducción	10
1.2 El desafío: enlazando generaciones	11
1.3 Marco teórico	12
1.4 Metodología	14
1.5 Estado del arte	15
1.6 La solución	19
1.7 Innovación	22
1.8 Impacto de la solución	23
1.9 Conclusiones	24
1.10 Reconocimiento y agradecimientos	26
1.11 Bibliografía	26
 Capítulo 2.	 31
Té de aguacate: revalorización de los residuos del aguacate	31
2.1 Introducción	32
2.2 El desafío: aguacate.	34
2.3 Marco teórico	35
2.4 Metodología	38
2.5 Estado del arte	39
2.6 La solución	41
2.7 Innovación	45
2.8 Impacto de la solución	46
2.9 Conclusiones	47
2.10 Reconocimiento y agradecimientos	48
2.11 Bibliografía	48
 Capítulo 3.	 53
Remanufactura de escombros: transformando residuos en materiales reutilizables para nuevos proyectos civiles.	53
3.1 Introducción	54
3.2 El desafío: Escombros	54
3.4 Metodología	56
3.6 La solución	59
3.7 Innovación	63



3.8 Impacto de la solución	64
3.9 Conclusiones	65
Capítulo 4.	70
AVOPROTEC: revalorizar los residuos del aguacate	70
4.1 Introducción	71
4.3 Marco teórico	74
4.4 Metodología	76
4.5 Estado del arte	77
4.6 La solución	78
4.7 Innovación	81
4.8 Impacto de la solución	83
4.9 Conclusiones	84
4.10 Reconocimiento y agradecimientos	85
4.11 Bibliografía	86
Capítulo 5.	92
Gestión logística de desperdicios alimentarios	92
5.1 Introducción	93
5.2 El desafío: reducción de desperdicios alimentarios	94
5.4 Metodología	99
5.5 Estado del arte	99
5.6 La solución	103
5.7 Innovación	108
5.8 Impacto de la solución	109
5.9 Conclusiones	111
5.10 Reconocimiento y agradecimientos	112
5.11 Bibliografía	113
Capítulo 6.	123
FORESCAT: Modelo innovador para la gestión sostenible del agua de lluvia.	123
6.1 Introducción	124
6.2 El desafío: microembalses.	125
6.3 Marco teórico	126
6.3.1 <i>Principios y Enfoques de la Teoría de la Sostenibilidad en la Gestión del Agua</i>	126
6.3.2 <i>Enfoque Sistémico y Soluciones Basadas en Infraestructuras Verdes para la Gestión del Agua</i>	127
6.3.3 <i>Teoría de la Participación social en la gestión del Agua</i>	128

6.4 Metodología	129
6.5 Estado del arte	129
6.6 La solución	131
6.7 Innovación	134
6.8 Impacto de la solución	135
6.9 Conclusiones	136
6.10 Reconocimiento y agradecimientos	137
6.11 Bibliografía	137



PRÓLOGO

Cada nueva edición del Rally Latinoamericano de Innovación reafirma el compromiso de la Corporación Universitaria Americana con la formación de profesionales capaces de imaginar, diseñar y construir soluciones reales a los desafíos de nuestro tiempo. La innovación, entendida como un proceso colectivo que une el conocimiento, la creatividad y la responsabilidad social, continúa siendo el motor que impulsa nuestra visión educativa y el punto de encuentro entre la academia y la sociedad.

En esta edición 2024, los equipos participantes asumieron el reto de transformar problemáticas complejas en oportunidades de cambio sostenible. Los proyectos aquí compilados, centrados en la mejora de la agilidad de adultos mayores mediante tecnología, la revalorización de residuos del aguacate, la remanufactura de escombros, la gestión logística de desperdicios alimentarios y la gestión sostenible del agua de lluvia, son una muestra palpable del potencial de nuestros estudiantes para vincular la ciencia, la técnica y la sensibilidad humana en soluciones innovadoras.

El Rally ha evolucionado dentro de nuestra institución más allá de un simple ejercicio académico. Hoy representa un laboratorio vivo de creatividad aplicada, donde convergen disciplinas, saberes y perspectivas diversas. Cada equipo participante demuestra que la innovación no surge del azar, sino del trabajo colaborativo, la curiosidad constante y la voluntad de aportar al bienestar colectivo.

Resulta ineludible reconocer, la labor incansable del doctor Juan Carlos Martínez Torres, quien ha guiado este proceso con visión, compromiso y pasión. Su liderazgo ha convertido al Rally en un símbolo de identidad institucional y en un referente de articulación entre la docencia, la investigación y la proyección social. Su ejemplo continúa inspirando a docentes y estudiantes a concebir la innovación como una forma de ciudadanía activa y transformadora.

Del mismo modo, es justo destacar el acompañamiento de los docentes tutores, quienes han orientado a los equipos con rigor académico y generosidad intelectual. Su apoyo ha permitido que las ideas trasciendan la teoría y se conviertan en propuestas con viabilidad técnica, económica y social. En sus manos, la educación se consolida como un acto de creación y de servicio al entorno.

Invito a los lectores de esta obra a descubrir en sus páginas no solo proyectos, sino visiones de futuro. Cada propuesta refleja la convicción de que la educación, cuando se integra con la investigación y la innovación, tiene el poder de construir una sociedad más justa, sostenible y consciente de su responsabilidad con el planeta. Este libro es testimonio del talento de nuestra comunidad académica y del compromiso permanente de la Americana con el progreso de la región y del país.

Ricardo Antonio Simancas Trujillo

Vicerrector de Investigación

Corporación Universitaria Americana



Capítulo 1

Mejorando la agilidad de adultos mayores a través de la tecnología.

Loren Saeth Barranco-García¹

Dr. Juan Carlos Martínez-Torres²

Laura Sofía Callejas-Porto³

Mg. Marcela Callejas-Porto⁴

Dianys Paola Giraldo- Pérez⁵

Resumen

Este capítulo presenta una propuesta de una plataforma digital dirigida a adultos mayores, diseñada para mejorar su agilidad mental mediante el uso de la gamificación. Con el objetivo de prevenir el deterioro cognitivo, la plataforma propone una serie de juegos interactivos enfocados en matemáticas y física, que estimulan el razonamiento lógico y la memoria. Los jóvenes tutores juegan un rol clave, guiando a los adultos mayores durante las sesiones de aprendizaje y ayudándoles a enfrentar los desafíos propuestos. A través de esta interacción, los tutores contribuyen al bienestar cognitivo de los mayores, adquieren habilidades interpersonales y pueden generar ingresos. La plataforma propuesta se destaca por su accesibilidad, con una interfaz adaptable a diversas capacidades cognitivas, lo que pretende promover la inclusión y el aprendizaje intergeneracional, mientras se fortalece la cohesión social entre generaciones.

Palabras clave: Educación; Gamificación; Pérdida cognitiva; Plataforma digital.

¹ Corporación Universitaria Americana

² Corporación Universitaria Americana

³ Corporación MAVI

⁴ Universidad de la Costa

⁵ Corporación Universitaria Reformada

1.1 Introducción

La pérdida cognitiva en el ser humano al llegar a una edad avanzada es un fenómeno natural ligado al proceso de envejecimiento biológico. Este proceso afecta principalmente funciones como la memoria, el aprendizaje, la atención y la velocidad para procesar información, impactando de manera directa la calidad de vida (Bernabei, 2014) tanto a nivel personal como profesional. Si bien la intensidad de esta pérdida varía entre cada persona, es una realidad común asociada a los cambios que experimenta el cerebro con el paso de los años.

Uno de los cambios más significativos se evidencia en el volumen cerebral. A medida que envejecemos, el cerebro experimenta una reducción en su tamaño, especialmente en áreas como el hipocampo, encargado de funciones relacionadas con la memoria, y la corteza prefrontal, fundamental para la planificación, la toma de decisiones y el razonamiento lógico (Bernabei, 2014). Esta reducción implica una menor eficiencia en las conexiones neuronales, lo que provoca olvidos frecuentes, dificultades para concentrarse y una menor capacidad para resolver problemas complejos (Boyle et al., 2018). Las tareas cotidianas, que antes se realizaban de manera automática, comienzan a demandar un mayor esfuerzo cognitivo.

A nivel neuroquímico, la producción de sustancias que facilitan la comunicación entre las neuronas, como la acetilcolina y la dopamina, tiende a disminuir con la edad (Bernabei, 2014). Esta pérdida interfiere con procesos de aprendizaje, atención y regulación emocional (Boyle et al., 2018). De esta manera, resulta común que las personas en edades avanzadas presenten complicaciones para retener nueva información o manifiesten cambios en su estado de ánimo, como irritabilidad o apatía. Estos cambios neuroquímicos también influyen en el desarrollo de trastornos más severos como la demencia y el Alzheimer, donde el deterioro cognitivo se desarrolla de forma acelerada y compromete la independencia del individuo (Giacomucci et al., 2022).

Además de los cambios biológicos, el flujo sanguíneo hacia el cerebro se ve disminuido debido a problemas vasculares. El deterioro de los vasos sanguíneos o la aparición de pequeños micro infartos afectan la oxigenación de las neuronas (Boyle et al., 2018), provocando daños en el tejido cerebral. Esto puede causar una mayor dificultad para procesar información y una ralentización general de las funciones cognitivas (Giacomucci et al., 2022). La salud cardiovascular, por tanto, está directamente relacionada con el bienestar cerebral y juega un papel importante en el ritmo del deterioro cognitivo (Bernabei, 2014).

Estas alteraciones tienen un impacto sobre la calidad de vida, limitando la autonomía y la interacción social de quien las experimenta. La pérdida de memoria, por ejemplo, puede generar frustración y sentimientos de incompetencia, afectando la autoestima y aumentando el riesgo de aislamiento social (Bernabei, 2014). A menudo, estas personas abandonan la realización de actividades que antes disfrutaban por miedo a olvidar detalles importantes o sentirse perdidos. Esto impulsa la creación de un círculo vicioso, donde la falta de estimulación mental acelera el deterioro (Boyle et al., 2018).

Es importante destacar que, aunque el deterioro cognitivo sea un proceso natural, su avance no es inevitable ni uniforme. Adquirir hábitos como una educación continua, una dieta balanceada, actividad física regular e interacción social constante pueden mitigar el impacto del envejecimiento en el cerebro (Giacomucci et al., 2022). La estimulación mental por medio de actividades como la lectura, juegos de lógica o aprendizaje de nuevas habilidades fortalece las conexiones neuronales y favorece la plasticidad cerebral, siendo esta la que le permite al cerebro adaptarse y reorganizarse, incluso en edades avanzadas.

En concordancia con lo anterior, el presente capítulo busca diseñar una plataforma digital basada en la gamificación para fortalecer la agilidad mental de adultos mayores, mediante el desarrollo de juegos interactivos en matemáticas y física y la participación de jóvenes tutores, con el propósito de prevenir el deterioro cognitivo, fomentar el aprendizaje intergeneracional y promover la inclusión social.

1.2 El desafío: enlazando generaciones

El cerebro, al igual que cualquier otro órgano del cuerpo, requiere actividad constante para preservar su funcionalidad óptima. Por esta razón, es esencial que los adultos mayores participen en actividades que estimulen sus capacidades cognitivas (Boyle et al., 2018), contribuyendo así a prevenir de manera temprana enfermedades neurodegenerativas que puedan afectar su autonomía y calidad de vida (Tait et al., 2024). En este contexto, las tecnologías actuales, como las aplicaciones móviles, ofrecen herramientas versátiles y accesibles para fomentar esta estimulación por medio de ejercicios mentales personalizados y dinámicos (Lopes et al., 2021).

El reto consiste en diseñar recursos de bajo costo que permitan a los jóvenes, que asumen el rol de mentores, interactuar de manera más cercana con los adultos mayores. Este enfoque busca facilitar el aprendizaje colaborativo

y apoyar a las personas mayores en la práctica de habilidades fundamentales, como operaciones básicas de matemáticas y física, de una forma eficiente y comprensible. Esto debe contribuir al desarrollo cognitivo de los adultos mayores, al mismo tiempo que se integran en la solución a personas jóvenes que funjan como apoyo de los adultos mayores.

El desafío planteado por el Rally Latinoamericano de Innovación involucra varios factores importantes. En primer lugar, la pérdida cognitiva en las personas de edad avanzada es un proceso natural que afecta la memoria, la atención y la capacidad de aprendizaje (Boyle et al., 2018; Tait et al., 2024). Por lo tanto, es un fenómeno que destaca la necesidad de implementar estímulos constantes y abordar enfoques innovadores que contribuyan a preservar las funciones mentales, mejorando así la calidad de vida en esta etapa de la vida.

Por otro lado, las nuevas generaciones presentan una notable capacidad para adaptarse rápidamente al uso de la tecnología, resultado de su exposición constante a herramientas digitales (Deterding, 2012). Esta habilidad las convierte en agentes fundamentales para la transformación y el aprovechamiento eficaz de los recursos tecnológicos.

En este contexto, la tecnología y las disciplinas STEM ofrecen un abanico de posibilidades, proporcionando innovaciones que pueden contribuir a resolver problemas cognitivos. Existen plataformas, aplicaciones y dispositivos que, diseñados específicamente para estimular el cerebro, mejoran la memoria y mantienen la mente activa en edades avanzadas.

Otro aspecto para tener en cuenta, se centra en que los jóvenes universitarios tienen la oportunidad de generar ingresos al enseñar y guiar a las generaciones mayores en el uso de estas herramientas tecnológicas. Esto les permite desarrollar habilidades de liderazgo (Porto-Solano et al., 2022), habilidades pedagógicas, habilidades profesionales y también contribuir a la inclusión digital y al bienestar de los adultos mayores, generando un impacto positivo y significativo en la sociedad.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Gamificación y la rehabilitación cognitiva

La gamificación y la rehabilitación cognitiva han surgido como enfoques innovadores para mejorar los resultados terapéuticos en pacientes con trastornos

mentales y neurológicos (Días et al., 2018; Fleming, et al., 2017; Sardi et al., 2017; Six et al., 2021). La gamificación, que implica la integración de elementos de diseño de juegos en contextos no lúdicos (Deterding, 2012), se utiliza para aumentar la motivación y la participación del paciente en terapias cognitivas. En este sentido, se ha demostrado que los juegos diseñados específicamente para la rehabilitación pueden fomentar el compromiso y proporcionar un entorno de aprendizaje dinámico y adaptativo (Lopes et al., 2021), contribuyendo significativamente a la recuperación cognitiva y social (Sardi et al., 2017; Six et al., 2021). Por ejemplo, intervenciones de este tipo han mostrado resultados positivos en pacientes con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Soto et al., 2012).

En el ámbito de la rehabilitación cognitiva, los entornos de realidad virtual gamificados son herramientas clave que permiten a los pacientes practicar habilidades esenciales para la vida diaria en un ambiente controlado y seguro (Lopes et al., 2021). Estas simulaciones promueven la repetición, la retroalimentación inmediata y ofrecen tareas adaptativas que se ajustan al rendimiento y las necesidades individuales del paciente (Mak et al., 2018).

De otra parte, la gamificación ofrece sistemas de recompensas y logros que aumentan la adherencia al tratamiento al hacer que las sesiones terapéuticas sean más atractivas (Días et al., 2018; Fleming, et al., 2017). Al integrar estas dinámicas con tecnologías como la inteligencia artificial y la realidad virtual, se logra una personalización en tiempo real de los desafíos presentados al paciente, lo que incrementa su participación y mejora los resultados terapéuticos. Estudios recientes resaltan que este enfoque tiene un gran potencial para superar las limitaciones de las terapias convencionales, estableciendo una nueva dirección en la atención de la salud cognitiva (Días et al., 2018; Six et al., 2021).

1.3.2 Capacidad de absorción y rehabilitación cognitiva

La teoría de la capacidad de absorción, inicialmente propuesta en el ámbito organizacional, se centra en la habilidad de una entidad para identificar, asimilar y aplicar conocimientos externos en beneficio propio. En el contexto de la rehabilitación cognitiva, esta teoría adquiere relevancia al explicar cómo los pacientes y los sistemas terapéuticos pueden incorporar nuevas tecnologías, como la realidad virtual y los juegos serios, para mejorar las funciones cognitivas deterioradas (Amieva et al., 2015; Bernabei et al., 2014, Six et al., 2021). Este enfoque sugiere que, al igual que las organizaciones, los individuos necesitan ciertas capacidades previas para maximizar los beneficios del conoci-

miento externo, lo que implica tanto la disposición del paciente como el diseño efectivo de las intervenciones terapéuticas .

En la rehabilitación cognitiva, la capacidad de absorción se manifiesta en la habilidad del paciente para procesar y adaptarse a los estímulos proporcionados por herramientas tecnológicas (Tait, 2023). En este sentido, los entornos de realidad virtual gamificada requieren que los pacientes asimilen nuevas formas de interacción y aprendan habilidades en contextos simulados que reflejan situaciones de la vida real (Cortés Bracho et al., 2023). Para que estas intervenciones sean efectivas, es fundamental que las tecnologías empleadas sean accesibles, intuitivas y personalizables, permitiendo así una adaptación progresiva al nivel de las capacidades cognitivas actuales del paciente (Mak et al., 2018).

Los sistemas terapéuticos deben diseñarse teniendo en cuenta la naturaleza dinámica de la capacidad de absorción. Esto implica la implementación de mecanismos de retroalimentación y personalización que ajusten los niveles de dificultad y complejidad en función del progreso del paciente. Al hacerlo, se fomenta la mejora de las habilidades cognitivas, la autoconfianza y la motivación (Tait et al., 2024), elementos esenciales para una recuperación integral.

1.4 Metodología

El capítulo se orienta al diseño de una plataforma digital gamificada que busca potenciar la agilidad mental de los adultos mayores, integrando elementos lúdicos y de aprendizaje colaborativo. Desde el enfoque metodológico, la propuesta adopta una estrategia cualitativa con fundamento en la observación y análisis de experiencias previas en plataformas digitales de entrenamiento cognitivo. A partir de esta revisión, se desarrolló un prototipo conceptual que incorpora ejercicios basados en matemáticas y física, ajustados a diferentes niveles de complejidad, y acompañados por tutores jóvenes. La metodología considera la gamificación como eje central para fomentar la motivación, el aprendizaje autónomo y la interacción intergeneracional, destacando la accesibilidad y la adaptabilidad de la interfaz como componentes esenciales del diseño.

En la construcción de la propuesta, se tomaron como referencia experiencias digitales existentes en el mercado que promueven el desarrollo cognitivo, tales como aplicaciones de memoria, lógica y agilidad mental. Estas fueron analizadas desde una perspectiva de usabilidad, impacto en usuarios mayores y

estrategias de interacción. Los hallazgos permitieron identificar las limitaciones más comunes, como la falta de acompañamiento humano o la escasa personalización de las actividades, elementos que orientaron el desarrollo de una solución más integral, donde la figura del tutor joven guía el proceso y actúa como facilitador del aprendizaje y vínculo emocional.

El resultado se traduce en una plataforma diseñada para fomentar la inclusión y el bienestar cognitivo mediante una experiencia participativa y accesible. Este proyecto no alcanza una fase de comprobación empírica, pero sienta las bases para futuras pruebas de validación orientadas a medir su efectividad. Así, la metodología empleada logra articular los componentes tecnológicos, pedagógicos y sociales en una solución con potencial para fortalecer la salud mental, la cohesión social y la sostenibilidad intergeneracional.

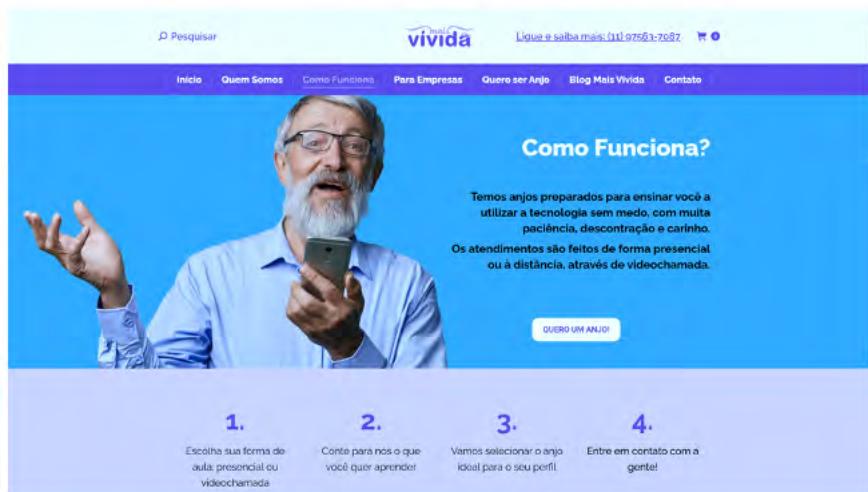
1.5 Estado del arte

Actualmente, como productos de la relación docencia-investigación científica, la práctica científica e investigativa desarrollada por universidades, la articulación entre actores y los procesos de transferencia de tecnología (Amar et al; 2016 y Martínez-Torres et al, 2023; Martínez-Torres y Castro-Porto, 2016) se están implementando diferentes soluciones que buscan tratar la problemática del deterioro cognitivo en los adultos mayores y las dificultades financieras que presentan los estudiantes universitarios. Estas plataformas conectan a estudiantes con tutores para sesiones personalizadas en diversas materias, entre ellas tenemos:

Mais Vívida: Esta plataforma proporciona un servicio educativo para personas mayores de 50 años, basado en el intercambio de vivencias entre diferentes generaciones. Los jóvenes que influyen directamente en la vida de los adultos mayores reciben el nombre de “ángeles”, no solo porque les enseñan a volverse más autónomos en el uso de la tecnología, sino también porque contribuyen a mejorar su bienestar a través de actividades físicas, cognitivas y sociales. Esta plataforma aborda un problema global como el aislamiento social de las personas mayores, así como promueve la interacción con los más jóvenes, mediante el uso de la tecnología accesible, la gamificación para incentivar la participación y la inclusión de todos los participantes. Para sus creadores es la vía que acorta la frontera existente entre la tecnología y la población mayor de 50 años (News Tercera Edad, 2022).

Figura 1.

Plataforma web Mais vivida



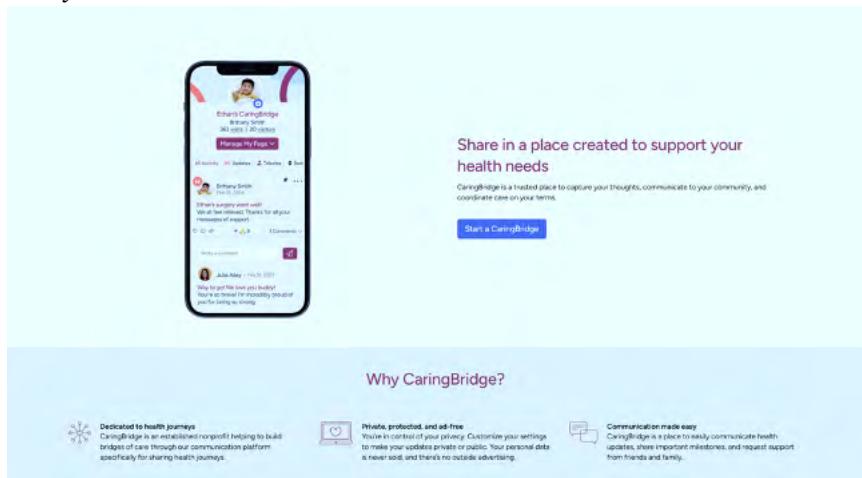
Nota: maisvivida.com.br (consultado en enero de 2025)

CaringBridge: Este sitio web ofrece un servicio gratuito que permite a los familiares y amigos de un paciente en estado crítico mantenerse conectados, creando una red de apoyo para todos los involucrados, tanto adultos mayores como jóvenes. A través de la plataforma, los usuarios pueden compartir actualizaciones sobre el estado de salud del paciente, así como fotos y videos, lo que facilita la comunicación y el apoyo emocional durante momentos difíciles.

La aplicación está diseñada para ser accesible, lo que asegura que incluso los adultos mayores, que pueden tener dificultades con la tecnología, puedan utilizarla sin sentirse restringidos. Su enfoque está en mejorar la salud mental y emocional, promoviendo la calidad de vida de los usuarios en situaciones complicadas. Un ejemplo destacado de su impacto fue durante la pandemia de COVID-19, cuando los adultos mayores enfrentaron restricciones de salida y visitas, y la plataforma les proporcionó una forma de mantenerse conectados, reduciendo la sensación de aislamiento.

Figura 2.

Plataforma web CARINGBRIDGE



Nota: caringbridge.org (consultado en enero de 2025)

Generation Exchange: La propuesta se centra en fomentar la interacción entre jóvenes y personas mayores a través de actividades compartidas, promoviendo así la conexión y reduciendo el aislamiento social que afecta a muchos adultos mayores. A través de esta interacción, los jóvenes tienen la oportunidad de aprender de la experiencia y sabiduría acumulada de los mayores, mientras que los adultos mayores se benefician de la energía y la perspectiva fresca de las nuevas generaciones. Este tipo de conexión no sólo combate el aislamiento, sino que también fortalece los lazos sociales y emocionales entre diferentes grupos de edad, mejorando el bienestar general de ambas partes.

Esta iniciativa se presenta como un claro ejemplo de cómo las relaciones intergeneracionales pueden ser una fuente de enriquecimiento mutuo, donde tanto jóvenes como mayores actúan como maestros y estudiantes. La transferencia de conocimientos y la colaboración entre generaciones contribuyen al aprendizaje compartido y al entendimiento mutuo, cerrando brechas tanto culturales como tecnológicas. En este sentido, uno de los beneficios adicionales de este enfoque es la reducción de la brecha digital entre las generaciones, pues al involucrar a los jóvenes en la formación y acompañamiento de los adultos mayores en el uso de tecnologías, se facilita la inclusión digital y se favorece la integración tecnológica de los mayores en la sociedad moderna.

Figura 3.
Plataforma web Generation Exchange



Nota: generationexchange.org (consultado en enero de 2025)

ElderHelpers: Es una plataforma que conecta a voluntarios jóvenes con personas mayores para brindarles apoyo en tareas diarias, compañía y asistencia, promoviendo el apoyo mutuo entre generaciones. Es un claro ejemplo de cómo la tecnología puede ser utilizada para mejorar el bienestar social, emocional y físico de los adultos mayores, así como también reducir el aislamiento social y la exclusión que pueden llegar a sentir por la diferencia de edad. Independientemente del objetivo central o del grupo de edad, las investigaciones muestran que todos los que participan en actividades intergeneracionales se benefician de su participación (Engaging Older Adults, 2021).

Figura 4.
Plataforma web ElderHelpers



Nota: elderhelpers.org (consultado en enero de 2025)

Otro tipo de soluciones que actualmente funcionan se centran en programas intergeneracionales en centros comunitarios. Muchos centros comunitarios organizan actividades que reúnen a adultos mayores y jóvenes, como talleres de arte, juegos de mesa o clubes de lectura. Estos programas pueden ampliarse para incluir componentes educativos y de tutoría. Actualmente existen varias propuestas a esta solución, una de ellas en la ciudad de Cartagena sobre la vía perimetral para servir a los barrios circundantes, donde se propone crear un espacio que fomente la interacción entre diferentes generaciones (Puello Ramírez, 2024). También existen otras iniciativas como “Los Centros Día”, gestionados por la Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS) en Bogotá, ofrecen atención integral a personas mayores de 60 años en todas las localidades de la ciudad. Los servicios incluyen apoyo alimentario, orientación psicosocial, actividades ocupacionales y recreativas adaptadas a sus gustos y talentos, así como actividades físicas y de interacción social (Alcaldía de Bogotá, 2024). También, promueven encuentros intergeneracionales y la creación de redes de apoyo.

Así mismo en la actualidad existen aplicaciones de aprendizaje gamificadas como: Duolingo, Kahoot, Quizlet y ElderLearn, herramientas flexibles que permiten al usuario adaptarse para estimular el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Estas herramientas, muchas de ellas gratuitas, también pueden integrarse en servicios que promuevan la compañía y el beneficio mutuo entre generaciones.

1.6 La solución

La propuesta diseñada plantea el desarrollo de una plataforma gamificada orientada a promover la agilidad mental de los adultos mayores y a fortalecer la interacción social mediante juegos educativos enfocados en matemáticas y física. Se propone que esta plataforma conecte a los adultos mayores con jóvenes tutores, quienes brindarían acompañamiento en la realización de actividades cognitivas, con el objetivo de mejorar sus habilidades mentales mientras se fomenta el aprendizaje mutuo. Este enfoque intergeneracional se proyecta como una herramienta para combatir el deterioro cognitivo, ofreciendo a la vez beneficios para los jóvenes tutores, quienes podrían adquirir habilidades interpersonales y generar ingresos desempeñando su rol.

La plataforma será accesible, optimizada tanto para dispositivos móviles como para computadoras, con una interfaz intuitiva y personalizable. Los usuarios podrán ajustar el tamaño de la letra y los colores para facilitar la interacción.

Asimismo, se plantea que los juegos sean adaptativos, ajustándose a las capacidades cognitivas de cada usuario, con el propósito de garantizar que los adultos mayores se sientan cómodos y motivados a participar en los ejercicios (Deterding, 2012). La solución también aspira a fomentar la conexión social mediante interacciones virtuales o presenciales entre los adultos mayores y los jóvenes tutores, contribuyendo así a mejorar el bienestar emocional y la calidad de vida de ambos grupos.

El componente de gamificación se concibe como un medio para mantener altos niveles de motivación (Deterding, 2012), presentando los ejercicios de manera divertida y desafiante. Por otro lado, se plantea implementar medidas que resguarden los procesos relacionados con la interfaz accesible y la interacción de los usuarios, asegurando que la metodología de trabajo y los datos personales estén protegidos bajo el secreto empresarial.

1.6.1 Componentes de la solución

La plataforma se diseña teniendo en cuenta los siguientes componentes que agregan valor a sus usuarios:

Plataforma Gamificada: Plataforma digital que combina juegos de matemáticas y física con el objetivo de estimular las habilidades cognitivas de los adultos mayores (Six et al., 2021). Esta plataforma está diseñada con un enfoque lúdico y accesible, permitiendo que los usuarios interactúen y superen desafíos de manera divertida y motivante. La plataforma se adaptará tanto a dispositivos móviles como a computadoras, asegurando que los usuarios puedan acceder a los juegos desde la comodidad de su hogar y en cualquier momento. Este diseño garantiza una experiencia de uso flexible, permitiendo que los adultos mayores se beneficien de la estimulación cognitiva de manera sencilla y accesible (Fleming et al., 2017; Sardi et al., 2017), independientemente de su nivel de familiaridad con la tecnología.

Interacción Intergeneracional: Este componente es fundamental para promover un aprendizaje colaborativo entre adultos mayores y jóvenes tutores. Los jóvenes asumirán el rol de guías, ayudando a los adultos mayores a aprender operaciones matemáticas y físicas, al mismo tiempo que fomentan la creación de vínculos interpersonales. Este proceso beneficiará tanto a los tutores, quienes desarrollan habilidades de enseñanza y comunicación, como a los adultos mayores, quienes mejorarían sus habilidades cognitivas y sociales (News Tercera Edad, 2022). Las interacciones entre los usuarios pueden ser

tanto virtuales como presenciales, dependiendo de la situación y las preferencias de los participantes. En todos los casos, se buscará crear un ambiente de apoyo, empatía y respeto, promoviendo una experiencia de aprendizaje positiva y enriquecedora para ambos grupos (Engaging Older Adults, 2021).

Personalización y Accesibilidad: La plataforma propuesta está diseñada para ser completamente accesible, permitiendo ajustes en la interfaz como el tamaño de la letra y los colores, lo que la hace ideal para adultos mayores con diferentes niveles de capacidad visual o cognitiva. Por otra parte, los juegos se personalizan según el nivel de habilidad de cada usuario, garantizando que los ejercicios sean apropiados y efectivos para mejorar su agilidad mental (Dertding, 2012).

Modelo de Ingresos por Suscripción: Se adopta un modelo de ingresos basado en suscripciones, con diferentes niveles de acceso según el alcance de los servicios. Las suscripciones pueden ser de tipo mensual, trimestral o anual, y ofrecerán beneficios como acceso a juegos exclusivos, tutorías personalizadas y contenido premium. En cuanto a los tipos de suscripción se podría contar con las siguientes alternativas. Suscripción Básica: Acceso a una selección limitada de juegos y funcionalidades. Suscripción Premium: Acceso a todo el contenido de la plataforma, con funciones avanzadas como sesiones personalizadas con tutores y juegos adicionales para mejorar habilidades cognitivas específicas.

Modelo de Ingresos para Estudiantes: Los jóvenes tutores podrían generar ingresos participando en el acompañamiento de los adultos mayores. Este modelo beneficiaría tanto a los estudiantes como a los adultos mayores, creando una fuente de ingresos para los tutores y una oportunidad para mejorar las habilidades interpersonales y de enseñanza, mientras se fomenta el aprendizaje y el bienestar emocional de los adultos mayores (News Tercera Edad, 2022).

Protección de Datos y Ley de Habeas Data: La propuesta asegura la protección de datos personales conforme a la Ley de Habeas Data, garantizando que toda la información recopilada de los usuarios sea manejada de manera confidencial y con el consentimiento explícito de los mismos. La ley protege los derechos de los usuarios sobre su información personal, incluyendo el derecho a conocer, actualizar, rectificar y suprimir sus datos. Así mismo, la plataforma implementará medidas técnicas y organizativas para prevenir accesos no autorizados y garantizar que los datos sean utilizados únicamente para los fines establecidos, como el mejoramiento de la experiencia de aprendizaje y la interacción intergeneracional.

Metodología de formación: La metodología se enfoca en ejercicios de razonamiento basados en áreas STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas), diseñados para estimular las habilidades cognitivas en las personas (ElSayary, 2021; Wu et al., 2022), en este caso en particular, se enfocaría específicamente en adultos mayores que buscan combatir el deterioro cognitivo. Estos ejercicios incluyen problemas de lógica, ecuaciones básicas, patrones numéricos y física aplicada, que progresan en dificultad a medida que los usuarios avanzan. Los juegos interactivos integran conceptos de álgebra, geometría y física, adaptados a las capacidades de cada usuario para mantenerlos desafiados pero accesibles; de esta forma se contemplan las diferencias en los perfiles de los potenciales usuarios (Liao et al., 2022). Los jóvenes tutores guían a los adultos mayores durante el proceso de resolución, promoviendo tanto el aprendizaje de conceptos STEM como la interacción social que beneficia el bienestar emocional.

1.7 Innovación

Esta propuesta es innovadora porque aborda de manera integral una problemática cada vez más relevante: el deterioro cognitivo en los adultos mayores (Boyle et al., 2018). Al utilizar una plataforma gamificada, se introduce una herramienta accesible y atractiva que estimula el cerebro de los adultos mayores de una forma lúdica y desafiante. Los ejercicios de razonamiento basados en áreas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) son especialmente efectivos para promover el pensamiento crítico y las habilidades cognitivas, áreas fundamentales para la salud cerebral. A través de juegos y ejercicios adaptativos, la plataforma espera brindar una experiencia de aprendizaje personalizada (Días et al., 2018; Fleming, et al., 2017; Sardi et al., 2017; Six et al., 2021) que se ajuste a las capacidades de cada usuario, que les permita mantenerse activos mentalmente y prevenir el deterioro cognitivo de manera progresiva.

La propuesta se distingue por su enfoque intergeneracional, un aspecto fundamental que la convierte en una solución innovadora. La interacción directa entre jóvenes tutores y adultos mayores facilita el proceso de enseñanza-aprendizaje y promueve un vínculo emocional que beneficia a ambos grupos. Los jóvenes tutores no sólo enseñan, sino que tienen la oportunidad de desarrollar habilidades interpersonales, liderazgo y empatía (Cordova-Buiza et al, 2022), mientras que los adultos mayores se sienten valorados y apoyados en su proceso de aprendizaje. Esta interacción crea una dinámica de colaboración y apoyo mutuo que va más allá del simple intercambio de conocimientos, mejorando

el bienestar emocional y social de los adultos mayores.

La integración de tecnologías accesibles y de fácil uso, como una interfaz personalizable que adapta el tamaño de letra y colores, asegura que la solución sea inclusiva y adecuada para personas con diversas capacidades cognitivas y visuales. Esta adaptabilidad hace que la plataforma sea fácil de usar para cualquier adulto mayor, independientemente de su nivel de familiaridad con la tecnología. La plataforma estará diseñada de tal forma que permita tanto interacciones virtuales como presenciales entre los tutores y los adultos mayores, lo que facilita la participación de los usuarios en su propio proceso de aprendizaje, sin barreras tecnológicas y logísticas.

La propuesta tiene un modelo económico sostenible basado en suscripciones, lo que permite que los servicios de tutoría y los juegos personalizados se mantengan accesibles a largo plazo. Al mismo tiempo, ofrece a los jóvenes la oportunidad de generar ingresos a través de la tutoría, lo que refuerza el carácter intergeneracional de la solución. El componente de gamificación, combinado con el acompañamiento de los tutores, hace que el proceso de aprendizaje sea atractivo y motivador, creando un ciclo positivo de participación que beneficia tanto a los adultos mayores como a los jóvenes, lo que constituye una propuesta verdaderamente innovadora en términos de diseño, impacto social y viabilidad económica.

1.8 Impacto de la solución

El desarrollo de una plataforma gamificada diseñada para fortalecer la agilidad mental y la interacción social entre adultos mayores y jóvenes tutores tiene el potencial de generar impactos significativos. La propuesta busca mejorar las capacidades cognitivas de los participantes (Giacomucci et al., 2022) y, al mismo tiempo, ofrecer beneficios en términos de inclusión social (News Tercera Edad, 2022), sostenibilidad ambiental y dinamización económica. La interacción intergeneracional, la accesibilidad digital y la metodología de aprendizaje adaptativo configurarían un ecosistema innovador con efectos positivos a largo plazo.

El impacto social de esta iniciativa estaría en la reducción del aislamiento de los adultos mayores y en la creación de nuevas oportunidades de aprendizaje para los jóvenes. Al facilitar conexiones intergeneracionales, se fomentaría el desarrollo de vínculos significativos que fortalecerían la autoestima y la salud mental de los participantes. Los adultos mayores podrían ejercitarse sus habili-

dades cognitivas sin enfrentar barreras tecnológicas (Mak et al., 2018), mientras que los tutores desarrollarían competencias comunicativas y pedagógicas útiles en su crecimiento profesional. La plataforma facilitaría el aprendizaje y promovería una cultura de colaboración y respeto mutuo, generando efectos positivos en la cohesión social.

Desde una perspectiva ambiental, la digitalización de los procesos de enseñanza y acompañamiento contribuiría a la reducción del consumo de recursos físicos asociados con materiales impresos y desplazamientos (Six et al., 2021). Al estar disponible en dispositivos electrónicos, la plataforma minimizaría la necesidad de infraestructura educativa presencial, disminuyendo la huella de carbono generada por el transporte. Adicionalmente, la accesibilidad remota permitiría una mayor eficiencia en el uso de la energía y los recursos tecnológicos, impulsando un modelo de educación sostenible. La implementación de estrategias de optimización energética y el diseño de una interfaz adaptable a diferentes dispositivos ayudarían a reducir el impacto ambiental del desarrollo tecnológico.

En términos económicos, la propuesta podría generar nuevas oportunidades de ingresos para los jóvenes tutores, quienes tendrían la posibilidad de monetizar su tiempo y habilidades a través de un modelo flexible de acompañamiento educativo. La diversificación de las opciones de suscripción facilitaría el acceso a la plataforma por parte de distintos segmentos de la población, asegurando su sostenibilidad financiera a largo plazo. Al fomentar la inclusión digital de los adultos mayores, se ampliarían sus oportunidades de participación en actividades económicas y sociales (Lopes et al., 2021), fortaleciendo su autonomía. El ecosistema generado por la plataforma impulsaría la economía del conocimiento, promoviendo la inversión en educación digital como un sector clave para el desarrollo (Castro Porto et al., 2016).

1.9 Conclusiones

La pérdida cognitiva en la vejez se reconoce como un proceso multifactorial que puede afectar la calidad de vida tanto en el ámbito personal como en el social. Aunque implica limitaciones inevitables debido a los cambios asociados al envejecimiento cerebral, se considera que sus efectos podrían ser minimizados mediante estilos de vida saludables y entornos estimulantes que promuevan la actividad física, mental y emocional. El desafío, tanto a nivel individual como colectivo, radica en proponer herramientas y condiciones que permitan a las personas envejecer con dignidad, manteniendo un grado óptimo de independencia y bienestar.

La propuesta busca ofrecer un enfoque innovador para abordar el deterioro cognitivo en los adultos mayores mediante una plataforma accesible y gamificada que pretende mejorar su agilidad mental y fomentar la interacción social intergeneracional. Este tipo de interacción se proyecta como una vía para beneficiar no solo a los adultos mayores, quienes podrían experimentar mejoras en su bienestar emocional, sino también a los jóvenes, al proporcionarles oportunidades para desarrollar habilidades interpersonales y generar ingresos. Este enfoque aspira a crear un modelo de impacto social positivo y sostenible.

El modelo intergeneracional que se plantea resulta central, al proponerse una dinámica de aprendizaje en la que adultos mayores y jóvenes universitarios se enriquezcan mutuamente. Los adultos mayores tendrían la posibilidad de mantener activas sus capacidades cognitivas mientras fortalecen su conexión social y emocional con las generaciones más jóvenes. Por su parte, los tutores jóvenes podrían experimentar un desarrollo personal y profesional significativo, adquiriendo habilidades como la empatía, la comunicación efectiva y el liderazgo, lo que se prevé que les otorgue ventajas en sus trayectorias académicas y laborales.

La metodología propuesta, basada en áreas STEM, apunta a ser efectiva para estimular el razonamiento lógico y el pensamiento crítico de los adultos mayores (Van der Meer et al., 2021), a través de ejercicios adaptativos que permitan un aprendizaje progresivo y personalizado (Liao et al., 2022). Este enfoque busca contribuir al fortalecimiento de la memoria y las habilidades matemáticas y fomentar una comprensión más profunda de conceptos científicos y tecnológicos (Wu et al., 2022; ElSayary, 2021), lo cual es clave para mantener la mente activa en un entorno crecientemente digitalizado y tecnológicamente avanzado.

Desde una perspectiva económica, se espera que esta plataforma desarrolle un modelo sostenible, basado en suscripciones, que permita ofrecer un servicio continuo y accesible para los adultos mayores, generando a la vez ingresos para los tutores jóvenes. Este modelo tiene el potencial de favorecer la inclusión económica al proporcionar a los tutores una fuente de ingresos flexible, mientras contribuye a un ciclo económico positivo dentro de las comunidades. La propuesta también anticipa que la creación de empleo para jóvenes y la oferta de servicios educativos accesibles para adultos mayores serían elementos clave para su sostenibilidad económica.

Esta iniciativa podría contar con un mayor potencial al involucrar en el pro-

ceso de prototipado y desarrollo de producto mínimo viable a instituciones de educación superior e incluso instituciones clínicas especializadas como un mecanismo para acelerar un hipotético negocio o empresa a partir de espacios de cocreación, colaboración e innovación abierta (Pinilla Manrique et al., 2017). Esta estrategia es ideal entendiendo el componente técnico tan importante que representa el estar acompañado de profesionales con formación de alto nivel en el campo de conocimiento de la solución, lo cual se puede traducir en una iniciativa de alto impacto social y comunitario (Amesquita López et al., 2015; Cordova-Buiza et al., 2023). Lo que también podría favorecer al acceso a inversión de capital tecnológico (Castro Porto et al., 2016).

De igual manera, se proyecta que la implementación de esta solución podría transformar el enfoque hacia el envejecimiento activo, incentivando a los adultos mayores a convertirse en participantes activos dentro de sus comunidades. A medida que la plataforma gane accesibilidad, se espera generar mayor conciencia social sobre la importancia de mantener la mente activa y conectada, contribuyendo a un cambio en las percepciones sociales sobre el envejecimiento, hacia una visión más positiva y proactiva de las personas mayores.

1.10 Reconocimiento y agradecimientos

Con profundo agradecimiento, destacamos el esfuerzo y la dedicación del equipo de estudiantes, docentes e investigadores que hicieron posible esta iniciativa. Integrado por Loren Saeth Barranco García, Laura Callejas Porto, Natalia Patricia Rodríguez Donado, Carlos David Gale Jiménez, Marcela Callejas Porto, Juan Carlos Martínez Torres, Dianys Paola Giraldo Pérez, Graciela Vilamil Villadiego, Andrés Tirado e Ingrid Faneth Cárdenas Cantillo, este grupo fue pieza clave en la materialización de la propuesta presentada en este capítulo, concebida en el marco del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana.

1.11 Bibliografía

Alcaldía de Bogotá (2024). ¿Eres mayor de 60 años? Así puedes acceder a los Centros Día en Bogotá. Recuperado de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/integracion-social/eres-mayor-de-60-anos-asi-puedes-acceder-los-centros-dia-en-bogota>

Amar, P., Martínez-Torres, D.C., Castañeda, J. y Alvarez, R. (2016). La Ciencia, Tecnología e Innovación en el Caribe Colombiano: Una revisión de su

- situación actual y perspectivas en el corto plazo. En Nosotros Los Del Caribe. (1ra. ed., p. 201-234). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Amesquita López, J., Martínez Torres, D. C., y Castro Porto, M. (2015). El rol de las universidades en el desarrollo de las regiones: un análisis de la tercera misión universitaria en el Departamento de Bolívar. Revista Adelante. 6, 13-44.
- Amieva, H., Ouvrard, C., Giulioli, C., Meillon, C., Rullier, L., y Dartigues, J. F. (2015). Self-reported hearing loss, hearing aids, and cognitive decline in elderly adults: a 25-year study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(10), 2099-2104.
- Bernabei, R., Bonuccelli, U., Maggi, S., Marengoni, A., Martini, A., Memo, M., Pecorelli, S., Peracino, A. P., Quaranta, N., Stella, R. y Lin, R. (2014). Hearing loss and cognitive decline in older adults: questions and answers. *Aging clinical and experimental research*, 26, 567-573.
- Boyle, P. A., Yu, L., Wilson, R. S., Leurgans, S. E., Schneider, J. A., y Bennett, D. A. (2018). Person-specific contribution of neuropathologies to cognitive loss in old age. *Annals of neurology*, 83(1), 74-83.
- Castro Porto, M. P., Martínez-Torres, D. C., y Mola Ávila, J. A. (2016). Efecto de la inversión en capital tecnológico sobre la productividad de las empresas en el departamento de Bolívar. *Economía & Región*, 10(2), 45-73.
- Cordova-Buiza, F., Aguirre-Parra, P., Garcia-Jimenez, M. G., y Martinez-Torres, D. C. (2022). Virtual leadership as a development opportunity in business context. *Problems and Perspectives in Management*, 20(2), 248.
- Cordova-Buiza, F., Toribio-Tamayo, G., Garcia-Portuguez, M. A. J., y Martinez-Torres, D. C. (2023). Factors influencing the entrepreneurial intention of university business students: Evidence from Lima-Peru. In European Conference on Innovation and Entrepreneurship (Vol. 18, No. 1, pp. 191-199).
- Cortés Bracho, O., Betancourt Rodriguez, L. B., Mejía Turizo, J., y Beltrán, A. D. C. O. (2023). Learning by doing y rendimiento académico en estudiantes de Administración de Empresas. *Pensamiento Americano*, 16(32), 3.

- Deterding, S. (2012). Gamification: designing for motivation. *interactions*, 19(4), 14-17.
- Dias, L. P. S., Barbosa, J. L. V., y Vianna, H. D. (2018). Gamification and serious games in depression care: A systematic mapping study. *Telematics and Informatics*, 35(1), 213-224.
- ElSayary, A. (2021). Teaching and assessing creativity in STEAM education. In Proceedings of The 12th International Conference on Society and Information Technologies (ICSIT 2021).
- Engaging Older Adults. (2021, septiembre 22). Intergenerational programs: Engaging older and younger people together. Recuperado de <https://www.engagingolderadults.org/blog/2021/9/22/intergenerational-programs-engaging-older-and-younger-people-together>
- Fleming, T. M., Bavin, L., Stasiak, K., Hermansson-Webb, E., Merry, S. N., Cheek, C., Lucassen, M., Ming Lau, H., Pollmuller, B. y Hetrick, S. (2017). Serious games and gamification for mental health: current status and promising directions. *Frontiers in psychiatry*, 7, 215.
- Giacomucci, G., Mazzeo, S., Bagnoli, S., Ingannato, A., Leccese, D., Berti, V., Padiglioni, S., Galdo, G., Ferrari, C., Sorbi, S., Bessi, V. y Nacmias, B. (2022). Plasma neurofilament light chain as a biomarker of Alzheimer's disease in subjective cognitive decline and mild cognitive impairment. *Journal of neurology*, 269(8), 4270-4280.
- Liao, X., Luo, H., Xiao, Y., Ma, L., Li, J., y Zhu, M. (2022). Learning patterns in STEAM education: A comparison of three learner profiles. *Education Sciences*, 12(9), 614.
- Lopes, R. P., Barroso, B., Deusdado, L., Novo, A., Guimarães, M., Teixeira, J. P., y Leitão, P. (2021). Digital technologies for innovative mental health rehabilitation. *Electronics*, 10(18), 2260.
- Mak, W. W., Tong, A. C., Yip, S. Y., Lui, W. W., Chio, F. H., Chan, A. T., y Wong, C. C. (2018). Efficacy and moderation of mobile app-based programs for mindfulness-based training, self-compassion training, and cognitive behavioral psychoeducation on mental health: Randomized controlled noninferiority trial. *JMIR mental health*, 5(4), e8597.

Martínez-Torres, D.C. y Castro-Porto, M.P. (2016). La Investigación en los Programas de Administración en la Fundación Universitaria Colombo Internacional – UNICOLOMBO. En La investigación en los programas de Administración de Empresas de la Región Caribe colombiana. (1ra. ed., p. 497-520).

Martínez-Torres, D.C., Cordova-Buiza, F., Marrugo-Burgos, N. y Riofrio-Carbajal, M. (2023). Binomio Docencia – Investigación como experiencia de internacionalización. Caso Perú-Colombia. En Enseñanza-Aprendizaje en la Educación Superior Latinoamericana. (1st ed., p. 30-42). CEDU y Universidad del Norte.

News Tercera Edad. (2022, 31 de marzo). Mais vivida: la plataforma que conecta jóvenes y ancianos, finalista de los premios Fundación MAPFRE a la innovación social. <https://www.news3edad.com/2022/03/31/mais-vivida-la-plataforma-que-conecta-jovenes-y-ancianos-finalista-de-los-premios-fundacion-mapfre-a-la-innovacion-social/>

Pinilla Manrique, J. D., Martínez-Torres, J. C., y Cabarcas, J. C. (2017). Capacidades de innovación del sector salud en Barranquilla: un análisis prospectivo a 2025.

Puello Ramirez, J. J. (2024). Centro de Atención Comunitario Intergeneracional. [Repositorio digital]. Recuperado de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/34775>

Sardi, L., Idri, A., y Fernández-Alemán, J. L. (2017). A systematic review of gamification in e-Health. *Journal of biomedical informatics*, 71, 31-48.

Six, S. G., Byrne, K. A., Tibbett, T. P., y Pericot-Valverde, I. (2021). Examining the effectiveness of gamification in mental health apps for depression: systematic review and meta-analysis. *JMIR mental health*, 8(11), e32199.

Soto, M. E., Secher, M., Gillette-Guyonnet, S., van Kan, G. A., Andrieu, S., Nourhashemi, F., Rollanda, Y. y Vellas, B. (2012). Weight loss and rapid cognitive decline in community-dwelling patients with Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 28(3), 647-654.

Tait, J. L., Aisbett, B., Corrigan, S. L., Drain, J. R., y Main, L. C. (2024). Re-

covery of cognitive performance following multi-stressor military training. *Human Factors*, 66(2), 389-403.

Van der Meer, L., Jonker, T., Wadman, H., Wunderink, C., Van Weeghel, J., Pijnenborg, G. H. M., y Van Setten, E. R. (2021). Targeting personal recovery of people with complex mental health needs: the development of a psychosocial intervention through user-centered design. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 635514.

Wu, C. H., Liu, C. H., y Huang, Y. M. (2022). The exploration of continuous learning intention in STEAM education through attitude, motivation, and cognitive load. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 35.

Capítulo 2.

Té de aguacate: revalorización de los residuos del aguacate

Luis Ángel Castillo-Gracia⁶

Oscar Rodríguez-Rodríguez⁷

Dr. Juan Carlos Martínez-Torres⁸

Mg. Diana Carolina Martínez-Torres⁹

Dianys Paola Giraldo-Pérez¹⁰

Resumen

El objetivo de este trabajo es abordar el problema del desperdicio de subproductos del aguacate, específicamente la cáscara y el hueso, mediante su revalorización para crear un producto funcional y sostenible. Se propone la producción de un té antioxidante utilizando molienda criogénica para extraer los compuestos bioactivos de estos residuos, con beneficios para la salud como propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y digestivas. El té se presenta en un empaque biodegradable, eliminando la necesidad de plásticos. La metodología empleada incluye la transformación de los subproductos en polvo, su formulación en té y la implementación de un sistema de distribución. Los resultados destacan que esta solución contribuye a la reducción de desechos y la contaminación, promueve la salud de los consumidores y crea nuevas oportunidades económicas en la industria alimentaria, impulsando un modelo de economía circular y sostenibilidad.

Palabras clave: Aguacate; Revalorización de residuos; Sostenibilidad.

⁶ Universidad de Cartagena

⁷ Corporación Universitaria Americana

⁸ Corporación Universitaria Americana

⁹ Fundación Universitaria Colombo Internacional

¹⁰ Corporación Universitaria Reformada

2.1 Introducción

El aguacate o palta, como es conocido en algunas regiones, se ha convertido en uno de los alimentos favoritos a nivel mundial debido a su sabor y propiedades nutricionales que lo convierten en uno de los más importantes miembros de la categoría de superfoods. No sorprende que las previsiones sobre el tamaño de la industria demuestre una tendencia positiva. De hecho, se espera que su valor supere los 26.000 millones de dólares estadounidenses en 2030 (Statista, 2024).

México, como líder mundial en la producción de aguacate, alcanzó en 2022 un volumen de 2.602.446 toneladas, lo que subraya la magnitud de esta industria (FAO, 2022). En 2023, la producción mundial de aguacates alcanzó los 8,98 millones de toneladas. América Latina mantuvo su liderazgo en la producción de esta fruta, con cinco de los diez principales países productores pertenecientes a esta región. Entre ellos, México destacó al registrar 2,97 millones de toneladas (Statista, 2025).

No obstante, este auge productivo trae consigo desafíos significativos relacionados con los residuos generados, principalmente la cáscara y el hueso (carozo), que representan una parte sustancial del fruto y a menudo carecen de un destino productivo claro.

La acumulación de estos residuos plantea un problema ambiental creciente. De acuerdo con Serna (2023), la agroindustria del aguacate genera alrededor del 30% de subproductos y desechos, de los cuales aproximadamente 200 toneladas se convierten en problemas ecológicos.

En muchos casos, los desechos derivados del aguacate son descartados sin un manejo adecuado, lo que puede contribuir a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, además de ocupar espacio en rellenos sanitarios. Dado el volumen masivo de producción, estas prácticas resultan insostenibles a largo plazo y exigen una mayor atención por parte de los sectores involucrados.

Entre los componentes aprovechables del aguacate se encuentra el aceite presente en la pulpa del fruto. Este aceite puede ser procesado y convertido en un subproducto agroindustrial, el cual puede ser utilizado en la cadena productiva del aguacate. Esta práctica contribuye al desarrollo de avances biotecnológicos, ya que los aceites juegan un papel fundamental en este campo de investigación (Monsalve-Valderrama y Ramos-García, 2019).

Aunque los esfuerzos se han concentrado en optimizar la comercialización de la pulpa del aguacate, los subproductos asociados al cultivo y procesamiento del fruto continúan siendo un aspecto relegado en la cadena de valor.

El impacto económico de esta problemática no debe ser subestimado. La industria del aguacate representa una fuente significativa de ingresos para países productores como México, Perú y Colombia y genera empleo en comunidades rurales y urbanas (FAO, 2022). Sin embargo, la falta de estrategias claras para gestionar los desechos limita el aprovechamiento integral de este recurso natural y crea una dependencia en métodos de eliminación que no agregan valor. Este enfoque reduccionista podría estar frenando oportunidades de crecimiento económico sostenible, especialmente en regiones donde la producción de aguacate es un motor de desarrollo.

Por otro lado, es importante reconocer que los residuos del aguacate contienen compuestos que podrían tener aplicaciones más allá de su estado actual de desecho. Estudios preliminares han identificado que la cáscara y el hueso contienen una alta concentración de antioxidantes, fibra y otros componentes bioactivos (Conexión Cinvestav, 2023; Isaza y Jaramillo 2020) con posibles beneficios industriales y comerciales. Sin embargo, esta riqueza química contrasta con la realidad de su disposición final, lo que evidencia una desconexión entre la investigación científica y la práctica industrial. Así, la falta de mecanismos para incorporar estos subproductos en cadenas productivas representa un desafío que trasciende lo ambiental, afectando también aspectos económicos, sociales y tecnológicos.

La creciente preocupación por la salud y el bienestar ha impulsado la demanda de productos alimenticios que satisfacen el paladar, ofrezcan beneficios para la salud.

Uno de los principales problemas identificados es la subutilización de subproductos del aguacate, que a menudo terminan en vertederos. Según investigaciones recientes, el aguacate es uno de los frutos más consumidos en el mundo, pero sus desechos, como la cáscara y el hueso, son generalmente desecharados, contribuyendo significativamente a la generación de residuos (Pérez y López, 2023).

De acuerdo con lo anterior, el presente capítulo busca diseñar un producto funcional y sostenible a base de subproductos del aguacate, mediante la producción de un té antioxidante obtenido por molienda criogénica, con el propósito de revalorizar residuos agroindustriales, reducir el impacto ambiental y fomentar la salud y la economía circular en el sector alimentario.

2.2 El desafío: aguacate.

El cultivo de aguacate ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas debido a su alta demanda tanto en mercados locales como internacionales. Este fruto, valorado por su perfil nutricional y sus propiedades funcionales, se ha consolidado como un pilar en la dieta y la industria alimenticia de numerosos países.

Pese a la gran popularidad de la *Persea Americana* en todo el mundo, su plantación ha sido tradicionalmente limitada, lo que explica su elevado precio en ciertos mercados (Statista, 2024). Por otro lado, la producción creciente de aguacate a nivel mundial plantea un desafío mayor, asociado al manejo de recursos generados.

Los desechos de la industria de procesamiento de aguacate son las cáscaras y las semillas, las cuales constituyen del 21% al 30% del material procesado, la mayor parte de esta biomasa residual se desperdicia y carece de aplicaciones de valor comercial (Caballero- Sánchez et al., 2023).

Estos desechos provenientes del aguacate representan una oportunidad significativa para el desarrollo de productos con valor agregado, tales como colorantes, biopolímeros, antioxidantes naturales y aceites (Conexión Cinvestav, 2023). Tanto la cáscara como el hueso del aguacate contienen compuestos bioactivos que podrían ser utilizados en sectores industriales, alimenticios y medicinales. El hueso del aguacate, por ejemplo, es una fuente importante de compuestos fenólicos debido a su capacidad antioxidante (Serna, 2023).

Aprovechar estos subproductos promueve la sostenibilidad, impulsa la innovación (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022), la cual contribuye a reducir el impacto ambiental y fomenta una economía circular dentro de la cadena de valor del aguacate.

Abordar el tema de la revalorización de los residuos del aguacate resulta esencial desde una perspectiva económica, ambiental y social (Ghisellini et al., 2016). En primer lugar, el alto volumen de residuos generados por la industria del aguacate plantea un problema ambiental significativo si no se gestionan adecuadamente. Al encontrar usos innovadores para la cáscara y el hueso, se podría mitigar la acumulación de desechos y fomentar prácticas más sostenibles en la industria agroalimentaria.

La investigación científica de alto nivel desarrollada al interior de universidades, así como la articulación entre actores de los sistemas de innovación bajo el liderazgo del tejido empresarial (Martínez-Torres et al., 2017; Amar et al., 2016 y Martínez-Torres et al., 2023), tienen en conjunto el potencial de generar productos de alto valor, como ingredientes funcionales, cosméticos naturales o suplementos nutracéuticos, y de contribuir al desarrollo de sectores emergentes. Esta revalorización incentiva la economía circular (Ghisellini et al., 2016), fortalece cadenas de valor locales y globales y promueve soluciones más respetuosas con el medio ambiente. Por tanto, estudiar y desarrollar estrategias para aprovechar estos residuos es una iniciativa clave para maximizar los beneficios del cultivo del aguacate.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Molienda criogénica

La molienda criogénica es una técnica que utiliza temperaturas extremadamente bajas para la reducción del tamaño de partículas. Generalmente, se logra enfriando los materiales con líquidos criogénicos, como nitrógeno líquido (-196 °C) o dióxido de carbono sólido (Kumar et al., 2021). Este método es especialmente útil en productos agrícolas y alimentos, ya que preserva características organolépticas, reduce pérdidas de compuestos volátiles y mejora la eficiencia del proceso de molienda (Singh y Goswami, 1999). En este contexto, los productos que tienen una alta elasticidad o contenido de humedad, como semillas, especias, y hierbas, se vuelven frágiles a bajas temperaturas, facilitando su trituración.

Uno de los beneficios más destacados de la molienda criogénica es la preservación de compuestos bioactivos y nutrientes (Junghare et al., 2017). En productos agrícolas como el café, las especias y ciertas semillas oleaginosas, las altas temperaturas generadas por los métodos tradicionales de molienda pueden descomponer compuestos volátiles, como aceites esenciales, y alterar la calidad del producto final. Por el contrario, el enfriamiento extremo reduce estas pérdidas, lo que resulta en productos con mayor contenido de nutrientes, mejor aroma y sabor (Mahantesh et al., 2018). Esto es particularmente importante en la industria de alimentos y bebidas, donde la calidad sensorial es un factor crítico.

Además de la preservación de compuestos, la molienda criogénica permite una reducción uniforme del tamaño de las partículas, lo que mejora la textura

y homogeneidad de los productos procesados (Rifna et al., 2024). En el caso de harinas especiales derivadas de productos agrícolas, como harinas de arroz o maíz utilizadas en alimentos sin gluten, este método asegura un tamaño de partícula controlado, mejorando las propiedades funcionales, como la capacidad de absorción de agua o el comportamiento en mezclas. La uniformidad también es esencial en la formulación de suplementos alimenticios y en productos donde la biodisponibilidad depende del tamaño de partícula (Allam et al., 2011).

En términos de manipulación, la molienda criogénica también minimiza problemas asociados a la molienda convencional, como la formación de grumos o la adhesión de partículas debido a la humedad (Barnwall et al., 2014). Por ejemplo, algunos materiales como la cúrcuma o el jengibre, ricos en aceites esenciales, pueden generar aglomeraciones bajo métodos tradicionales. En un ambiente criogénico, el material se enfriá lo suficiente para reducir su plasticidad y adhesión, facilitando un procesamiento más limpio y eficiente. Esto tiene implicaciones directas en la optimización de la logística y almacenamiento de productos agrícolas procesados (Mahato et al., 2021).

Desde una perspectiva económica y de sostenibilidad, la molienda criogénica también ofrece ventajas significativas. Aunque el costo inicial puede ser más alto debido al uso de nitrógeno líquido o equipos especializados, la mayor calidad del producto final puede justificar esta inversión en mercados premium (Kumar et al., 2021). Por otro lado, la reducción de residuos y la mejor conservación de nutrientes contribuyen a una cadena de suministro más eficiente, disminuyendo desperdicios y aumentando la vida útil de los productos agrícolas procesados.

Esta técnica tiene aplicaciones emergentes en el desarrollo de productos innovadores en sectores como la nutracéutica, cosmética y farmacéutica. Por ejemplo, en el caso de las semillas de plantas con alto contenido de aceites esenciales o fitoquímicos, la molienda criogénica facilita su procesamiento sin alterar las propiedades químicas deseadas (Sharna et al., 2015). Esto permite su utilización en productos especializados con valor agregado, como suplementos dietéticos y cosméticos naturales.

2.3.2 *La cadena de suministros agrícola*

La cadena de suministros agrícola abarca todas las actividades, procesos y actores involucrados en la producción, almacenamiento, distribución y comer-

cialización de productos agrícolas. Es un sistema integrado que conecta a los agricultores con los consumidores finales, pasando por intermediarios como procesadores, transportistas y minoristas (Mejía y Ayala, 2023). Una característica esencial de esta cadena es la alta dependencia de factores externos, como las condiciones climáticas, la estacionalidad de los cultivos y las fluctuaciones del mercado, que influyen significativamente en su funcionamiento. De esta manera, su eficiencia es crucial para garantizar la seguridad alimentaria, reducir el desperdicio y mantener precios competitivos (Mejía y Ayala, 2023).

Etapas clave de la cadena de suministros agrícola: La cadena de suministros agrícola se divide en varias etapas críticas: producción, postcosecha, procesamiento, distribución y consumo.

La etapa de producción incluye actividades como la preparación del terreno, siembra, riego y cosecha. Posteriormente, en la postcosecha, se realizan procesos como la limpieza, clasificación y almacenamiento de los productos, con el objetivo de preservar su calidad (Albarracín, 2024). El procesamiento añade valor a los productos mediante la transformación en bienes terminados o semiacabados, como harinas, aceites o alimentos enlatados. Finalmente, la distribución garantiza que los productos lleguen a los puntos de venta o consumo. Cada etapa requiere una coordinación efectiva para minimizar las pérdidas, optimizar recursos y satisfacer la demanda del mercado (Albarracín, 2024).

Retos y desafíos de la cadena de suministros agrícola: Uno de los principales desafíos de la cadena de suministros agrícola es la perecibilidad de los productos. Los alimentos frescos, como frutas y verduras, tienen una vida útil limitada, lo que exige sistemas logísticos rápidos y eficientes, así como infraestructura de almacenamiento en frío. Otro desafío importante es la variabilidad de la oferta, que depende de factores climáticos y estacionales, generando fluctuaciones en la disponibilidad de productos. De esta forma, la cadena agrícola enfrenta problemas estructurales como la falta de acceso a tecnología avanzada, financiamiento limitado para pequeños agricultores y deficiencias en la infraestructura rural, que dificultan la competitividad de muchos productores (Rojas, 2021).

Importancia de la sostenibilidad en la cadena de suministros agrícola: La sostenibilidad es un pilar fundamental en la gestión moderna de la cadena de suministros agrícola (Mejía y Ayala, 2023). Esto implica adoptar prácticas que reduzcan el impacto ambiental, como el uso eficiente del agua, la disminución de emisiones de carbono en el transporte y la reducción del desperdicio

alimentario. También se promueve la adopción de tecnologías como la agricultura de precisión y la digitalización de la logística, que permiten un mejor seguimiento de los productos y una planificación más eficiente. Al integrar principios de sostenibilidad, las cadenas agrícolas contribuyen a la conservación del medio ambiente y también fortalecen la resiliencia frente a crisis como el cambio climático o la volatilidad de los mercados globales (Castillo, 2024).

2.4 Metodología

El capítulo plantea una propuesta metodológica orientada a la revalorización de los residuos agroindustriales del aguacate, particularmente la cáscara y el hueso, mediante su transformación en un té antioxidante funcional. La metodología se estructura desde un enfoque cualitativo de carácter exploratorio, que parte del análisis de procesos técnicos documentados en la literatura científica sobre extracción de compuestos bioactivos y aprovechamiento de residuos vegetales. A partir de dicha revisión, se plantea el uso de la molienda criogénica como técnica idónea para preservar las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias del material, lo que permite formular un producto natural con beneficios para la salud y con potencial de inserción en mercados sostenibles.

En la revisión del estado del arte, se identificaron estudios y desarrollos experimentales relacionados con la obtención de infusiones naturales a partir de subproductos agroalimentarios. Estos antecedentes evidencian la viabilidad técnica y científica del aprovechamiento del aguacate, especialmente por su contenido en polifenoles y compuestos antioxidantes. La propuesta metodológica retoma estos fundamentos, pero los adapta hacia una solución de bajo impacto ambiental, integrando también la dimensión del diseño sostenible mediante el uso de empaques biodegradables y procesos productivos que minimizan el desperdicio.

El desarrollo del proyecto se centra en la formulación conceptual del producto y en la definición de los procesos de transformación, empaque y distribución, sin llegar a la fase de validación empírica. Sin embargo, la propuesta metodológica evidencia una clara orientación hacia la economía circular, al convertir residuos en productos de valor agregado que contribuyen tanto a la sostenibilidad ambiental como al fortalecimiento de nuevas líneas de negocio en la industria alimentaria. De esta forma, el capítulo ofrece un marco metodológico coherente con los principios de innovación responsable, salud preventiva y desarrollo sostenible.

2.5 Estado del arte

La creciente popularidad del aguacate, fruto altamente valorado tanto en la alimentación como en la industria cosmética por su riqueza en nutrientes y propiedades funcionales, ha dado lugar a un incremento significativo en su producción a nivel global. No obstante, este aumento plantea un reto ambiental importante: el manejo y valorización de los residuos generados, particularmente la cáscara y el hueso, que suelen quedar desprovistos de un uso eficiente. Este desafío es especialmente evidente en países como México, principal productor mundial, que en 2022 alcanzó una producción de más de 2,6 millones de toneladas de aguacate. La gestión inadecuada de estos desechos representa una problemática ambiental y evidencia la necesidad de implementar estrategias innovadoras para su aprovechamiento, contribuyendo así al desarrollo de prácticas sostenibles que reduzcan el impacto ecológico de esta industria.

Orozco et al. (2024) se centran en el uso de los residuos de piel y semilla de aguacate para la remoción de contaminantes en el agua. Este enfoque interdisciplinario busca aprovechar los subproductos de manera eficiente, al mismo tiempo que contribuye a resolver problemas ambientales críticos, mostrando la capacidad de los desechos agroindustriales para impactar positivamente en la calidad ambiental y la sostenibilidad global.

Asimismo, Herrera-Rodríguez et al. (2023) desarrollaron un análisis ambiental utilizando un algoritmo de reducción de residuos (WAR) para evaluar la producción de biochar y aceite a partir del aguacate criollo en el norte de Colombia. Los resultados de este estudio demuestran que el proceso es ambientalmente amigable y viable, resaltando su atractivo para el establecimiento de plantas de valorización en la región. Este tipo de iniciativas subraya la importancia de incorporar metodologías científicas que promuevan el aprovechamiento eficiente de los desechos.

Por su parte, Serna (2023), analiza la gestión de residuos en la industria del aguacate, destacando que cada semana se generan alrededor de 192.000 kg de residuos de aguacate, como cáscaras y huesos. Estos desechos, a menudo descartados sin aprovechar su potencial, contienen compuestos de alto valor, como aceites y antioxidantes, que pueden ser extraídos y utilizados en diversas aplicaciones. Este tipo de investigación es clave para desarrollar procesos de extracción eficientes que transforman los subproductos de aguacate en ingredientes valiosos, tales como aceites esenciales, polvo de aguacate y otros derivados que pueden tener aplicaciones en la cosmética, la farmacéutica y la nutrición.

Según Lozano y García (2022), el concepto DIY aplicado al aprovechamiento de residuos del aguacate, busca reducir el impacto ambiental y agregar valor a la industria mediante la creación de materiales funcionales y accesibles. Estos materiales, elaborados a partir de subproductos como cáscaras y semillas, tienen el potencial de ser utilizados en diversas aplicaciones, desde la elaboración de bioplástico. Esta propuesta no se limita únicamente a los beneficios medioambientales; también fomenta el desarrollo económico y social. Por un lado, las iniciativas de materiales DIY promueven la sostenibilidad al reducir la cantidad de desechos y la dependencia de recursos no renovables. Por otro lado, estas prácticas fortalecen la economía circular al involucrar a diversos actores, incluyendo productores locales, pequeñas empresas y consumidores, en un modelo de producción más inclusivo.

Por otro lado, Tovar y Osorio (2021) analizan las potencialidades de reutilizar estos subproductos industriales, enfocándose en su contribución a la producción de almidón de yuca, un compuesto de gran relevancia en sectores como el alimentario, el farmacéutico y el bioplástico. De esta manera, se enfatiza la importancia de la innovación tecnológica para transformar estos residuos en insumos valiosos, reduciendo así la dependencia de materias primas vírgenes y contribuyendo al desarrollo de sistemas productivos.

La investigación refleja un panorama talentoso para el desarrollo de nuevas aplicaciones de los subproductos de la yuca, destacando el impacto positivo en términos económicos y ecológicos. Este enfoque fomenta la eficiencia en la cadena de valor del cultivo y alinea la producción agrícola con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, abriendo la puerta a modelos de negocio más inclusivos y responsables.

Isaza y Jaramillo (2020), investigan la actividad antioxidante presente en los residuos de mora y aguacate, identificando compuestos fenólicos y antioxidantes en estos subproductos que podrían ser útiles en la fabricación de ingredientes con aplicaciones industriales. Esta investigación resalta el potencial de estos residuos para el desarrollo de productos funcionales, abriendo la posibilidad de su aprovechamiento en industrias como la alimentaria, cosmética y farmacéutica, en donde los antioxidantes desempeñan un papel crucial en la preservación.

Por último, desde una perspectiva biotecnológica, Casas y Sandoval (2014), destacan el papel de las enzimas en la transformación de residuos agroindustriales, entre ellos los derivados del aguacate. Según su análisis, la diversidad

de desechos generados por el procesamiento del fruto puede ser optimizada para obtener productos de valor agregado, siempre y cuando se potencian las variedades disponibles y las tecnologías asociadas.

2.6 La solución

La propuesta presentada para abordar la problemática es un té funcional que surge como una innovación sostenible en la industria alimentaria, aprovechando los compuestos bioactivos presentes en los residuos del aguacate, específicamente su cáscara y hueso (carozo), en estudios realizados por Salvador-Reyes et al. (2014) muestran el interés de este tipo de investigación en las nuevas fuentes de productos naturales con potencial para el bienestar del ser humano. Mediante un proceso de molienda criogénica, se obtiene un polvo fino rico en polifenoles y flavonoides, componentes conocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Moya et al., 2017). Este té ofrece beneficios para la salud, como mejorar la digestión y el bienestar cardiovascular, y representa un enfoque sostenible para la gestión de subproductos agroindustriales.

En este contexto, se presenta un té antioxidante y funcional que aprovecha compuestos bioactivos derivados de la cáscara y el hueso del aguacate. A pesar de sus beneficios para la salud, como sus propiedades antioxidantes y digestivas, el desarrollo de esta propuesta también pone de manifiesto varios problemas que deben ser abordados en la industria alimentaria.

El empaque del té destaca por su carácter innovador y ecológico, al ser completamente biodegradable y soluble en agua caliente. Este diseño elimina la generación de residuos plásticos, un problema común en el consumo masivo de productos envasados. Un estudio realizado por Courtene-Jones et al. (2024) muestra el efecto que tienen este tipo de envases y cómo la búsqueda de un material biodegradable puede plantearse como una solución tentativa. Al disolverse durante la preparación del té, el empaque facilita su uso, minimiza el impacto ambiental y se alinea con prácticas sostenibles, promoviendo una experiencia de consumo responsable.

Esta propuesta aborda el problema del desaprovechamiento de los residuos del aguacate (Caballero- Sánchez et al., 2023), transformando lo que tradicionalmente se considera desecho en un producto de alto valor agregado. Al integrar la cáscara y el hueso en su formulación, reduce la acumulación de residuos agroindustriales y promueve un modelo de economía circular (Ghisellini et al.,

2016; Lozano y García, 2022) que maximiza el uso de los recursos disponibles. Esta revalorización genera impactos ambientales positivos y crea oportunidades económicas para los sectores productivos relacionados con el cultivo y procesamiento del aguacate.

En última instancia, esta solución redefine la sostenibilidad en la industria alimentaria al vincular la salud humana con la protección ambiental. El té de aguacate ofrece un producto funcional que mejora la calidad de vida del consumidor y, al mismo tiempo, contribuye a mitigar la problemática ambiental generada por los desechos del aguacate (Serna, 2023). De esta manera, el té se presenta como una potencial respuesta innovadora que equilibra los objetivos de sostenibilidad (Mejía y Ayala, 2023), salud (Pérez y López, 2023) y desarrollo económico (Ghisellini et al., 2016).

2.6.1 Componentes de la solución

La solución propuesta se compone de varios elementos interrelacionados que, en conjunto, garantizan tanto su funcionalidad como su sostenibilidad. En primer lugar, el polvo funcional derivado de la cáscara y el hueso del aguacate constituye el componente central del producto, utilizando los subproductos que normalmente se desperdiciarían en la industria agroalimentaria (Caballero- Sánchez et al., 2023).

Este proceso se complementa con la molienda criogénica, que permite obtener un polvo fino y de alta calidad, preservando los compuestos bioactivos de los residuos (Kumar et al., 2021).

A su vez, el empaque biodegradable, diseñado para disolverse en agua caliente, elimina el uso de plásticos, ofreciendo una solución ecológica que refuerza el compromiso con la sostenibilidad. De otra parte, el acceso a los residuos del aguacate se asegura mediante alianzas estratégicas con productores, procesadoras y puntos de venta, lo que permite una gestión eficiente y continua del suministro de los subproductos.

El aspecto comercial se ve fortalecido por alianzas con grandes superficies, tiendas naturistas y otros espacios de distribución, facilitando su llegada a un público amplio y consciente de la salud y el medio ambiente. Estos cinco componentes conforman el núcleo de la propuesta, ofreciendo una solución integral que conecta la salud, la sostenibilidad y la economía circular. A continuación, se presentan a detalle cada uno de estos componentes:

Acceso al aguacate a través de alianzas estratégicas: El acceso a los residuos del aguacate es fundamental para la producción de té de aguacate y se gestionará mediante alianzas estratégicas con diferentes actores de la cadena de suministro (Castillo, 2024). Esto incluirá acuerdos con productores de aguacate, cooperativas y fincas, quienes podrán proporcionar cáscaras y huesos como subproductos. Asimismo, las procesadoras de aguacate, como las dedicadas a la producción de guacamole u otros derivados, generarán grandes volúmenes de estos residuos, facilitando su recolección y aprovechamiento. Estas alianzas garantizarán un suministro constante de los subproductos necesarios y contribuirán a la economía circular, integrando prácticas sostenibles en el proceso de producción. También se explorarán acuerdos con supermercados y mercados locales para establecer puntos de recolección, ampliando el acceso a los residuos de aguacate y optimizando la gestión de los recursos (Mejía y Ayala, 2023).

Polvo funcional elaborado a partir de cáscara y hueso de aguacate: El producto central del té de aguacate se obtiene a partir de la molienda criogénica de la cáscara y el hueso del aguacate. Este proceso especializado permite preservar los compuestos bioactivos presentes en estos subproductos, como los polifenoles y flavonoides, que son fundamentales para las propiedades saludables del té (Barnwall et al., 2014; Junghare et al., 2017).

Al utilizar partes del aguacate que normalmente se desecharían, sin embargo, la intención es transformar estos residuos en un producto de valor agregado, ofreciendo una solución sostenible que aprovecha al máximo los recursos disponibles, sin comprometer la calidad del producto final.

Proceso de molienda criogénica: La molienda criogénica es una técnica avanzada que enfriá la cáscara y el hueso del aguacate a temperaturas extremadamente bajas, facilitando su desintegración en un polvo fino (Kumar et al., 2021). Este proceso mejora la textura del polvo y conserva los compuestos bioactivos en su forma más pura, preservando sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Junghare et al., 2017; Singh y Goswami, 1999). Gracias a la criogenia, el polvo obtenido de los residuos del aguacate mantiene su funcionalidad y se integra de manera óptima en el producto final, garantizando una alta calidad en cada dosis del té.

Empaque biodegradable soluble en agua caliente: El empaque del té de aguacate está diseñado para ser completamente biodegradable y soluble en agua caliente, eliminando la necesidad de plásticos tradicionales y reduciendo la

huella ambiental del producto. Este empaque innovador facilita la preparación del té y se disuelve sin generar residuos adicionales, ofreciendo una experiencia de consumo ecológica (Courtene-Jones et al., 2024). La disolución del empaque en el agua caliente asegura que no se produzca desperdicio, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular, y promoviendo una mayor conciencia ambiental en los consumidores.

Comercialización y alianzas estratégicas: Para asegurar una distribución eficaz y alcanzar un público más amplio, la comercialización de este producto se centrará en formar alianzas estratégicas (Castillo, 2024) con grandes superficies, como supermercados y tiendas de productos orgánicos, así como con espacios de distribución especializados, tales como tiendas naturistas y centros de bienestar. Estas alianzas facilitarán que el té llegue a consumidores interesados en productos saludables y sostenibles. De igual manera, la colaboración con redes de tiendas naturistas permitirá posicionar el té de aguacate en el nicho de consumidores conscientes de la salud, que buscan alternativas funcionales y ecológicas en sus hábitos de consumo. La combinación de estos canales de distribución fortalecerá la presencia del producto en el mercado, alcanzando tanto a clientes masivos como a aquellos más orientados hacia el consumo responsable y saludable.

2.6.2 Detalle del proceso de elaboración del té

El proceso de elaboración del té a partir de la cáscara y la semilla del aguacate mediante molienda criogénica inicia con la clasificación y selección de la materia prima, donde se identifican las cáscaras y semillas en buen estado, libres de contaminantes y residuos orgánicos no deseados. Una vez seleccionadas, se lleva a cabo un pretratamiento que consiste en el lavado con agua potable para eliminar impurezas y posibles microorganismos, seguido de un secado controlado que reduce la humedad y facilita la posterior molienda. Posteriormente, las cáscaras y semillas se someten a un proceso de trituración primaria con el fin de reducir su tamaño y optimizar la eficiencia de la molienda criogénica. En esta etapa, se utilizan equipos como molinos de impacto o trituradores de cuchillas para obtener partículas de menor tamaño.

La molienda criogénica se lleva a cabo en un ambiente de baja temperatura, lo que mejora la fragilidad del material y permite una reducción de tamaño más eficiente sin degradar los compuestos bioactivos presentes en la cáscara y la semilla. Para ello, se emplean molinos de impacto o de bolas, junto con el uso de nitrógeno líquido u otros agentes criogénicos que enfrián el material hasta

el punto en que se vuelve quebradizo y facilitan su pulverización. Este proceso evita la oxidación y conserva las propiedades.

Posterior a la molienda, se realiza una separación del material para obtener un polvo de granulometría uniforme, asegurando que sea lo suficientemente fino como para disolverse completamente en agua caliente. En esta etapa, se emplean tamices vibratorios o clasificadores de aire para eliminar partículas de mayor tamaño. Finalmente, el polvo obtenido es envasado en condiciones controladas para evitar la absorción de humedad y garantizar su estabilidad. De esta manera, se logra un té soluble con las propiedades antioxidantes y beneficiosas de la cáscara y la semilla del aguacate.

2.7 Innovación

Esta propuesta es una solución innovadora porque aborda de manera eficaz una problemática ambiental y de aprovechamiento de recursos mediante la revalorización de los subproductos del aguacate, como la cáscara y el hueso (Pérez y López, 2023; Serna, 2023). El uso de estos residuos, que tradicionalmente se desechan, optimiza los recursos disponibles y permite su transformación en un producto funcional que ofrece beneficios para la salud. Esta aplicación del concepto de economía circular, al recuperar lo que sería un desperdicio y convertirlo en un producto de valor, representa un avance significativo en la sostenibilidad dentro de la industria alimentaria.

La innovación también se refleja en el proceso de molienda criogénica, que asegura que los compuestos bioactivos del aguacate, como los polifenoles y flavonoides, se mantengan intactos (Junghare et al., 2017; Kumar et al., 2021). Este enfoque tecnológico mejora la calidad del producto final, permitiendo que los beneficios antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos sean maximizados. Al integrar una técnica avanzada y poco común en la producción de té funcional, el té se destaca como una alternativa innovadora frente a los tés convencionales.

Otro aspecto innovador es el empaque biodegradable que se disuelve en agua caliente (Courtene-Jones et al. 2024). En un mundo cada vez más consciente del impacto ambiental de los plásticos, esta solución elimina la necesidad de envases plásticos, contribuyendo a la reducción de la contaminación y promoviendo una experiencia de consumo completamente ecológica (Ghisellini et al., 2016). Esta característica, que une funcionalidad y responsabilidad ambiental, ubica esta propuesta como un referente en términos de productos que

respetan tanto la salud del consumidor como la del planeta.

La propuesta ofrece una solución innovadora al integrar alianzas estratégicas con grandes superficies, tiendas naturistas y otros canales de distribución (Castillo, 2024; Mejía y Ayala, 2023). Esto facilita el acceso al producto y fomenta una mayor conciencia del consumidor sobre las opciones saludables y sostenibles disponibles en el mercado. Al conectar salud, sostenibilidad y conveniencia, esta solución responde a una necesidad emergente y de manera innovadora, dinámica y alineada con las tendencias actuales del consumo responsable.

2.8 Impacto de la solución

El desarrollo de esta propuesta tiene el potencial de impactar diversas dimensiones clave, convirtiendo un problema ambiental en una oportunidad para mejorar la calidad de vida, reducir la generación de desechos y fortalecer modelos económicos sostenibles. La revalorización de subproductos agroindustriales y la implementación de empaques biodegradables permitirían optimizar el uso de recursos y generar efectos positivos en la sociedad, el medio ambiente y la economía (Ghisellini et al., 2016).

Desde una perspectiva social, esta innovación impulsaría un modelo de consumo más consciente y saludable. La incorporación de compuestos bioactivos en el té podría contribuir al bienestar de los consumidores al ofrecer beneficios antioxidantes y digestivos, promoviendo hábitos alimenticios que ayudarían a prevenir enfermedades crónicas. Además, la iniciativa fomentaría la educación ambiental y nutricional, sensibilizando a las personas sobre el impacto de sus decisiones de compra. Al involucrar a comunidades productoras de aguacate, se generaría oportunidades de empleo y colaboración, fortaleciendo el tejido social en zonas agrícolas y permitiendo que pequeños productores accedan a mercados especializados con valor agregado.

El impacto ambiental se reflejaría en la reducción de residuos agroindustriales (Pérez y López, 2023; Serna 2023) y el uso de empaques ecológicos (Courtenne-Jones et al. 2024). La transformación de la cáscara y el hueso del aguacate en un producto funcional evitaría que toneladas de estos subproductos terminaran en vertederos, donde su descomposición podría generar emisiones contaminantes (Mejía y Ayala, 2023). Adicionalmente, la implementación de empaques solubles en agua disminuiría significativamente el uso de plásticos, mitigando la contaminación derivada del consumo masivo de envases conven-

cionales. Este enfoque promovería la economía circular (Ghisellini et al., 2016) y reforzaría la transición hacia una industria alimentaria más responsable con el entorno.

Desde el punto de vista económico, la propuesta representaría una estrategia de valorización de residuos con alto potencial comercial (Caballero- Sánchez et al., 2023; FAO, 2022). Al aprovechar insumos de bajo costo provenientes de la agroindustria, se optimizarían los costos de producción y se incrementaría la competitividad del producto en el mercado de alimentos funcionales. La integración de productores y procesadores de aguacate en la cadena de valor generaría nuevas fuentes de ingresos y fomentaría la diversificación económica en sectores agrícolas y comerciales. Asimismo, la tendencia creciente hacia productos naturales y sostenibles fortalecería la demanda, facilitando la expansión de esta propuesta en mercados nacionales e internacionales.

2.9 Conclusiones

El problema abordado en este trabajo gira en torno al desperdicio de subproductos generados durante la producción de aguacate, como la cáscara y el hueso, que suelen ser desechados sin aprovecharse, a pesar de sus propiedades nutritivas y funcionales. La propuesta presentada busca solucionar este problema mediante la revalorización de estos residuos a través de un proceso de molienda criogénica, convirtiéndolos en un polvo rico en compuestos bioactivos que se utiliza para crear un té funcional, que ofrece propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y digestivas. De esta manera, la solución se acompaña de un empaque biodegradable, eliminando así los plásticos de un solo uso y contribuyendo a la sostenibilidad.

Es importante tener en cuenta que la propuesta resuelve un problema ambiental al reducir los residuos de aguacate y que adicionalmente introduce una práctica innovadora que podría convertirse en una tendencia dentro de la industria alimentaria y cosmética, donde la sostenibilidad es cada vez más valorada. Esto demuestra que la revalorización de subproductos, utilizando procesos tecnológicos avanzados, tiene un potencial significativo para transformar la industria y reducir la huella ecológica.

De otra parte, la solución ofrece beneficios directos para la salud de los consumidores, proporcionando un producto funcional con propiedades comprobadas que pueden mejorar la digestión, reducir la inflamación y combatir el estrés oxidativo. Esto refleja una tendencia creciente de los consumidores ha-

cia productos naturales y saludables que beneficien su bienestar y tengan un impacto positivo en el medio ambiente, alineándose con el concepto de salud integral.

La integración de un empaque biodegradable para el té funcional resalta la importancia de la sostenibilidad en el diseño del producto y establece un estándar para el futuro de los productos alimentarios, reduciendo la dependencia de plásticos y fomentando un modelo de consumo más responsable. Esto demuestra que pequeñas innovaciones en el diseño de empaques pueden tener un gran impacto en la reducción de la contaminación, promoviendo un cambio hacia un mercado más consciente y respetuoso con el medio ambiente.

Esta solución tiene un impacto económico considerable al generar una nueva fuente de ingresos a través de la transformación de los subproductos del aguacate, lo cual beneficia directamente a los productores de aguacate y abre camino a nuevas oportunidades para nuevas empresas y alianzas estratégicas en el sector alimentario y natural, impulsando la economía circular. Finalmente, esta propuesta de revalorización de residuos demuestra cómo la innovación puede contribuir al bienestar ambiental y social y aportar al crecimiento económico, creando valor donde antes solo existía desperdicio.

2.10 Reconocimiento y agradecimientos

Expresamos un especial agradecimiento al destacado equipo de estudiantes, docentes e investigadores conformado por Joel José Cantillo Barraza, Lina Carolina Padilla Caballero, María Alejandra García Cabrera, Yovana María Feria Almanza, Vianis Narváez Villa, Óscar Rodríguez Rodríguez, Johanna Carolina Martínez Juvene, Marcela Callejas Porto, Diego Mauricio Duarte Rey, Kedyn Nadín Guzmán Peñaranda y Juan Carlos Martínez Torres. Su dedicación y esfuerzo fueron clave para el desarrollo de la iniciativa presentada en este capítulo, la cual, en el marco del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana, obtuvo el segundo lugar a nivel nacional en la categoría de innovación.

2.11 Bibliografía

Albarracín, O. (2024). Impacto de los procesos de industrialización en la cadena de suministro agroalimentaria: Una revisión sistemática. *SAGA - Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(4), 126–137.

- Allam, A. N., El gamal, S. S., y Naggar, V. F. (2011). Bioavailability: A Pharmaceutical Review Bioavailability. *Novel Drug Deliv Tech*, 1(1), 77–93.
- Amar, P., Martínez-Torres, D.C., Castañeda, J. y Alvarez, R. (2016). La Ciencia, Tecnología e Innovación en el Caribe Colombiano: Una revisión de su situación actual y perspectivas en el corto plazo. En Nosotros Los Del Caribe. (1ra. ed., p. 201-234). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Barnwall-, P., Kumarl, P., Singh2, K. K., Mohitel, A., Saxena, S. N., y Zachariaha, T. J. (2014). Grinding characteristics of coriander, fenugreek and black pepper under cryogenic and ambient grinding conditions. *International J, Seed Spices*, 4(September 2016), 63–70.
- Caballero- Sánchez, L., Lázaro- Mixteco, P. y Castro-Montoya, A. (2023). La semilla de aguacate, un desecho para la producción de biocombustible. *Revista C+tec: divulgación para transformar*. México. Recuperado de <https://ctecicti.com/index.php/CTec/article/view/147/16>
- Casas Godoy, L., Sandoval Fabián. y G. C. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. Artículo de la revista digital universitaria, 1.
- Castillo, A. (2024). La cadena de suministro: Una revisión de la literatura 2018-2023. *Revista Científica Disciplinares*, 3(1), 47–66. [https://revistas.unsa.edu.pe/index.php/disciplinares/article/view/151](https://revistas.unsa.edu.pe/index.php/disciplinares/article/view/151/197)
- Conexión Cinvestav (2023, 4 de septiembre). La cáscara de aguacate resguarda múltiples propiedades medicinales. Recuperado de <https://conexion.cinvestav.mx/Publicaciones/la-c225scara-de-aguacate-resguarda-m250ltiples-propiedades-medicinales>
- Courtene-Jones, W., Burgevin, F., Munns, L., Shillam, M. B., De Falco, F., Burchard, A., ... y Hanley, M. E. (2024). Deterioration of bio-based polylactic acid plastic teabags under environmental conditions and their associated effects on earthworms. *Science of the Total Environment*, 934, 172806.
- FAO (2022). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2211>
- FAO. (2022). Producción y comercio de aguacates a nivel global. Recuperado

de: <http://fao.org>

Ghisellini, P., Cialani, C., y Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Herrera Rodríguez, T., Parejo Palacio, V., y González Delgado, Á. (2023). Evaluación ambiental mediante algoritmo de reducción de residuos WAR de la producción de aceite y biochar a partir de aguacate criollo en el Norte de Colombia. *Revista Ing-Nova*, 2(1), 11-22.

Isaza Misas, S. P. y Jaramillo Rojas, M. A. (2020). Actividad antioxidante en subproductos de mora y aguacate; identificación preliminar de su potencial en el desarrollo de ingredientes con aplicaciones industriales.

Junghare, H., Hamjade, M., Patil, C. K., Girase, S. B., y M. Lele, M. (2017). A Review on Cryogenic Grinding International Journal of Current Engineering and Technology A Review on Cryogenic Grinding. *International Journal of Current Engineering and Technology*, July, 2347 – 5161. <http://inpressco.com/category/ijcet>

Kumar, A., Chandra, H., Sunil, S., y Kulkarni, G. (2021). Application of cryogenics in grinding of spices for value addition: A Review. *Nat Volatiles & Essent. Oils*, 8(5), 10580–10593.

Lozano, G. C. y Garcia, C. A. (2022). Potenciamiento de la industria del aguacate mediante el desarrollo de materiales-DIY= Strengthening the avocado industry through developing diy-materials. *Base Diseño e Innovación*, 7(7), 126-147.

Mahantesh, P., Hegde, N., Gangadharappa, P., Laxminarayan, H., Hiremath, J., y Shivakumar, K. (2018). Cryogenic technique in value addition of spices. ~ 251 ~ *International Journal of Chemical Studies*, 6(5), 251–254.

Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Dhyani, A., Pathak, B., Jang, H., Park, S., Pashikanti, S., y Cho, S. (2021). Biotransformation of citrus waste-i: Production of biofuel and valuable compounds by fermentation. In *Processes* (Vol. 9, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/pr9020220>

- Martínez-Torres, D.C., Cordova-Buiza, F., Marrugo-Burgos, N. y Riofrio-Carbajal, M. (2023). Binomio Docencia – Investigación como experiencia de internacionalización. Caso Perú-Colombia. En Enseñanza-Aprendizaje en la Educación Superior Latinoamericana. (1st ed., p. 30-42). CEDU y Universidad del Norte.
- Martínez-Torres, D.C., Miranda-Redondo, R., Amar, P., Rodríguez, I., Quintero, V. y Melamed, E. (2017). Dinámicas de innovación y relacionamiento Universidad-Empresa-Estado para el desarrollo de turismo de negocios. En Turismo Corporativo y TIC: Una puerta a la competitividad. (1ra. ed., p. 150-171). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Martínez-Torres, J. C., y Vega-Jurado, J. (2022). El impacto de los agentes intermedios en el proceso de cooperación para innovar: el papel moderador del tamaño de la empresa. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 2-16.
- Mejía, I., y Ayala, S. (2023). Revisión de literatura sobre gestión de cadenas de suministro sostenibles e innovaciones disruptivas en Pymes. *Revista Universidad & Empresa*, 25(44), 1-35.
- Monsalve-Valderrama, C. y Ramos-Garcia, Y. (2019). Estudio de pre-factibilidad en la cadena productiva del aguacate para aprovechamiento de residuos del fruto en la industria cosmética. 8(5), 55. Recuperado de <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/906>
- Moya, J. R. V., Reyes, R. F. S., Romo, S. H. M., y Sánchez, C. B. V. (2017). Complemento nutricional granulado a partir de la semilla de *Persea americana*. *Revista Uniandes Episteme*, 4(3), 355-364.
- Orozco, S., Espino, J. y Rivero, M. (2024) Materiales a partir de residuos agroindustriales de aguacate para la remoción de contaminantes en agua. *Materiales Avanzados*, (40), 79-83.
- Rifna, E. J., Niranjan, T., y Madhuresh, D. (2024). Cryogenic grinding of pomegranate peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-03072-x>
- Rojas, L. (2021). STATE OF ART: REVIEW OF THE CHALLENGES OF GREEN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN COLOMBIA WITH REGARD TO THE BRICS COUNTRIES.

- Salvador-Reyes, R., Sotelo-Herrera, M., y Paucar-Menacho, L. (2014). Estudio de la Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) como edulcorante natural y su uso en beneficio de la salud. *Scientia Agropecuaria*, 5(3), 157-163.
- Serna Soto, S. C. (2023). Aprovechamiento de los residuos del aguacate hass (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).
- Sharna, L., Rathore, S., y Saxena, S. (2015). Effect of cryogenic grinding on volatile oil, oleoresin content and anti-oxidant properties of coriander (*Coriandrum sativum* L.) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 568–573. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1004-0>
- Singh, K. K., y Goswami, T. K. (1999). Design of a cryogenic grinding system for spices. *Journal of Food Engineering*, 39(4), 359–368. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00172-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00172-1)
- Statista (2024, septiembre 10). El mercado del aguacate en Latinoamérica y el Caribe - Estadísticas y datos. Recuperado de <https://es.statista.com/temas/8451/la-industria-del-aguacate-en-america-latina/#topicOverview>
- Statista (2025, 2 de enero). Principales países productores de aguacate del mundo en 2023. <https://es.statista.com/estadisticas/528382/produccion-de-aguacate-en-el-mundo/>
- Tovar, C. G., y Osorio, L. L. D. R. (2021). Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca. *Prospectiva*, 19(2), 3.



Capítulo 3.

Remanufactura de escombros: transformando residuos en materiales reutilizables para nuevos proyectos civiles.

Cinthia Carolina Llerena Caraballo¹¹

Leidys Johana Borja González¹²

Jesus David Echavarría Villa¹³

Mg. Milton de la Hoz¹⁴

Resumen

El objetivo del documento es abordar la gestión de residuos en la industria de la construcción mediante un enfoque basado en la economía circular y el uso de tecnologías modulares para la trituración y separación de materiales. La metodología propuesta incluye la remanufactura en sitio de los escombros generados durante la demolición, lo que permite su clasificación y reutilización eficiente en proyectos de construcción, minimizando costos y el impacto ambiental. Los resultados indican que este enfoque podría reducir la necesidad de transporte de materiales, disminuyendo las emisiones de carbono y optimizando la calidad de los materiales reciclados. La implementación de esta solución depende de la sensibilización sobre la gestión de residuos, la mejora de las regulaciones y la accesibilidad de tecnologías limpias.

Palabras clave: Escombros; Innovación, Remanufactura; Residuos.

¹¹ Corporación Universitaria Americana

¹² Corporación Universitaria Americana

¹³ Corporación Universitaria Americana

¹⁴ Corporación Universitaria Americana

3.1 Introducción

Los residuos de construcción y demolición (RCD) o también conocidos como escombros se les conoce a aquellos elementos sobrantes que quedan a partir de un trabajo de construcción, demolición, excavación o remodelación de zonas urbanas (Kabirifar et al., 2020). El uso inadecuado de estos materiales puede incurrir en un factor de deterioro ambiental, contaminación de recursos naturales como el aire, el agua, entre otros y a su vez causar problemas de salud en las poblaciones aledañas a estos residuos.

Los procesos de remanufactura de escombros de construcción se caracterizan por su capacidad de operar en el sitio cuyo objetivo principal es funcionar como una solución sostenible para abordar el impacto ambiental de los residuos generados en la construcción y demolición. Este proceso consiste en la recuperación y transformación de materiales como concreto, ladrillos, metales, vidrio y madera, que son procesados mediante sistemas especializados como trituración, limpieza y acondicionamiento para convertirlos en nuevos insumos (Abdullah, 2024).

Los materiales reciclados se integran en la fabricación de pavimentos, rellenos y estructuras, reduciendo la demanda de materias primas vírgenes y la cantidad de desechos enviados a los vertederos. Así, la remanufactura de escombros mitiga los efectos negativos de los residuos y adicionalmente fomenta una economía circular en la industria de la construcción (Khan et al., 2024). De acuerdo con lo anterior, el presente capítulo busca diseñar un sistema de gestión de residuos para la industria de la construcción fundamentado en los principios de la economía circular, mediante la aplicación de tecnologías modulares de trituración y separación que posibiliten la remanufactura y reutilización de materiales en sitio.

3.2 El desafío: Escombros

En las ciudades de todo el mundo la destrucción de estructuras urbanas, viviendas y rutas de caminos públicos o privados generan escombros o residuos que representan un problema ambiental (Papamichael et al., 2023). Estos eventos crean un impacto negativo en el medio ambiente, por lo que surge la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías limpias que permitan manejar estos residuos de manera adecuada y a bajo costo, enfocándose en aquellos que no son peligrosos.

Tocar el problema de los residuos de construcción y demolición es importante debido al impacto ambiental que generan en el entorno. Estos materiales, al no ser biodegradables, permanecen en el entorno por largos períodos, afectando la calidad del aire, el agua y el suelo (Kabirifar et al., 2020). De esta manera, su acumulación en vertederos aumenta la presión sobre los recursos naturales y contribuye al cambio climático. En este sentido, desarrollar soluciones innovadoras es esencial para mitigar estos efectos, contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

La implementación de tecnologías limpias y la optimización en los procesos de reciclaje pueden reducir los costos asociados con la disposición final de estos materiales y fomentar la creación de mercados para productos derivados (Zhang et al., 2023). Al promover soluciones creativas e innovadoras, se pueden generar alternativas accesibles y de bajo costo que beneficien tanto a las comunidades como a las empresas, contribuyendo al desarrollo sostenible y la transición hacia economías circulares.

3.3 Marco teórico

El manejo de los escombros en la construcción representa un desafío ambiental y logístico que requiere soluciones fundamentadas en marcos teóricos sólidos. La iniciativa SCOMB: Remanufactura de escombros se basa en principios establecidos en diversas teorías, las cuales permiten estructurar estrategias viables y sostenibles. A continuación, se presentan las principales teorías que sustentan este enfoque.

3.3.1 Teoría de la Economía Circular

La economía circular ha ganado relevancia en las últimas décadas como un modelo regenerativo que busca reducir la dependencia de recursos no renovables y minimizar los impactos ambientales. Según Geissdoerfer et al. (2017), este sistema promueve la reutilización y reciclaje de materiales con el fin de extender su ciclo de vida y reducir la generación de residuos. En el contexto de la remanufactura de escombros, este modelo permite transformar materiales de demolición, como concreto y ladrillos, en nuevos insumos para la construcción. Además, favorece la reducción de la extracción de recursos naturales y del consumo energético, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y económica del sector (Korhonen et al., 2018).

3.3.2 Teoría del Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible es un concepto clave para garantizar un equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental. Sachs (2015) destaca la importancia de esta aproximación al asegurar el bienestar presente sin comprometer los recursos de las generaciones futuras. En el contexto de los escombros de construcción, esta teoría permite enmarcar la gestión de residuos como una estrategia que mejora la calidad de vida y reduce la huella ambiental. La remanufactura de escombros impulsa una construcción más responsable al minimizar las emisiones de carbono, optimizar el uso de materiales reciclados y generar nuevas oportunidades laborales. Este enfoque se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 12 (producción y consumo responsables) y el ODS 13 (acción por el clima) (United Nations, 2020).

3.3.3 Teoría de la Innovación Abierta

La innovación abierta, enfatiza la importancia de la colaboración y el intercambio de conocimientos para fomentar soluciones innovadoras (Chesbrough 2003 y Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022). En el caso de SCOMB, este enfoque permite la cooperación entre diferentes actores tales como estudiantes, investigadores y empresas, lo cual es indispensable para fomentar una cultura de innovación (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022) y para encontrar alternativas sustentables y eficientes en la reutilización de residuos. West y Bogers (2014) destacan que la innovación abierta amplía el acceso a ideas y recursos, aumentando las probabilidades de éxito de proyectos de economía circular. La implementación de nuevas tecnologías y procesos optimizados para la gestión de residuos se ve favorecida por esta colaboración multidisciplinaria, promoviendo soluciones escalables y replicables en distintas regiones.

3.4 Metodología

El capítulo trabaja desde un enfoque cualitativo-descriptivo, la propuesta parte del análisis documental de soluciones académicamente validadas relacionadas con la economía circular y el uso de tecnologías modulares aplicadas a la reutilización de materiales de demolición. A partir de esta revisión, se plantea un modelo conceptual que integra procesos de trituración, clasificación y separación in situ, permitiendo que los materiales resultantes sean reincorporados en nuevos proyectos civiles. Este enfoque metodológico busca demostrar la viabilidad técnica y ambiental del aprovechamiento de residuos como insu-

mos productivos, promoviendo la eficiencia de recursos y la sostenibilidad en la cadena constructiva.

El desarrollo metodológico del proyecto se estructura en tres fases: diagnóstico, formulación y diseño. En la primera, se identifican los tipos de residuos más comunes en obras civiles y sus posibilidades de reaprovechamiento según la literatura especializada. En la segunda, se conceptualiza el sistema modular de trituración y separación, integrando elementos técnicos extraídos de casos documentados que han probado la eficacia de equipos similares. En la tercera fase, se configura el prototipo conceptual de remanufactura, que articula componentes tecnológicos con criterios de sostenibilidad y adaptabilidad al contexto local.

Aunque el proyecto no alcanza la fase de validación práctica, el enfoque metodológico ofrece una base sólida para futuras pruebas piloto y estudios de factibilidad. Su aporte radica en la integración de criterios técnicos, ambientales y económicos que permiten visualizar una solución replicable y adaptable a distintos entornos constructivos.

3.5 Estado del arte

El problema de la generación de escombros y residuos de construcción ha sido ampliamente estudiado debido a su impacto ambiental y a la necesidad de desarrollar estrategias para su reutilización. Dado que estos materiales no son biodegradables, su gestión eficiente resulta crucial para mitigar sus efectos negativos. En este apartado se analizan estudios previos que han explorado distintos métodos para transformar estos residuos en insumos útiles, promoviendo la optimización de recursos y la innovación en procesos constructivos.

3.5.1 Reutilización de residuos de construcción

Diversas investigaciones han abordado el potencial de los residuos de construcción y demolición (RCD) como materia prima para nuevos proyectos. Silva et al. (2014) realizó un análisis de 236 publicaciones a lo largo de 38 años, concluyendo que estos residuos pueden incorporarse en la fabricación de hormigón con un desempeño aceptable.

Por su parte, Akhtar (2018) identificó que la generación de RCD asciende a 3.000 millones de toneladas anuales y que países como China e India han avanzado en su aprovechamiento, aunque con ciertos desafíos en la calidad

del material reciclado. Si bien la combinación de componentes adicionales permite mejorar sus propiedades mecánicas, se destaca la necesidad de seguir investigando para garantizar su uso estándar en la construcción.

3.5.2 Economía circular

En términos de economía circular, Galvez-Martos (2018) en su publicación resalta los beneficios de los residuos de construcción y la regulación en la Unión Europea ha propuesto nuevos objetivos y metas para el flujo de residuos en el paquete de economía circular, se tiene en cuenta la reducción del ciclo de trabajo debido que uno de los principales componente está es la elaboración en el sitio y no es necesario el traslado de este disminuyendo la contaminación ambiental, el costo de transporte y optimizar el desempeño ambiental de los métodos de tratamiento.

De otra parte, en la investigación realizada por Xiao (2018), se plantea un punto clave para el porcentaje de uso de del polvo reciclado (RP) como recurso elaborado de cemento dejando un lado al cemento portland, se obtiene como resultado que la utilización de un 15% al 30% no afecta las propiedades mecánicas del hormigón, más sin embargo se observa que un porcentaje superior al 45% reducen significativamente las propiedades mecánicas las cuales pueden traer afectaciones como la trabajabilidad del hormigón y el agrietamiento temprano. En general el estudio sugiere el uso del polvo reciclado como un porcentaje parcial al cemento convencional el cual tiene el plus de generar economía circular en el proceso de construcción.

De igual manera, Aslam y Cui (2020) analizan la gestión de los residuos de construcción y demolición en China, identificando desafíos similares a los previamente mencionados, así como oportunidades para fortalecer la sostenibilidad en la edificación de viviendas urbanas. Su estudio considera las regulaciones implementadas en Estados Unidos como referentes para impulsar una economía circular más eficiente, tomando en cuenta variables como el producto interno bruto (PIB) y el desarrollo de tecnologías emergentes.

Por su parte, Alhawat (2022) revisa la producción de geopolímeros y destaca su potencial para reemplazar al cemento Portland ordinario (CPO), dado que reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y facilita el reciclaje de residuos. El autor resalta que estos materiales poseen una alta disponibilidad y un elevado contenido de sílice y álumina, lo que los convierte en una alternativa viable como materia prima. En este estudio, al

igual que en otros similares, se evalúan las propiedades mecánicas y la durabilidad de los geopolímeros elaborados a partir de residuos de construcción y demolición (RCD), así como los costos y el impacto ambiental asociados a su uso, demostrando la eficacia de su aplicación bajo condiciones de curado convencional.

Así mismo, de Andrade Salgado y de Andrade Silva (2022), examinan la producción y el uso de agregados de concretos reciclados, su importancia en la construcción y su impacto ambiental positivo a través de la reducción del consumo de recursos naturales y la reducción de las necesidades de espacio para desechos. Cuando se utiliza agregado reciclado, la constructibilidad y resistencia del concreto pueden verse algo reducidas debido a su alta tasa de absorción de humedad y baja densidad, pero se han desarrollado métodos para mejorar la calidad. En este sentido, se ha demostrado en proyectos reales la viabilidad de utilizar hormigón reciclado en estructuras. Esta revisión busca promover el uso de áridos reciclados en la ingeniería civil centrándose en estudios publicados desde el año 2000.

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) es crucial debido a su impacto ambiental. Estudios como los de Silva et al. (2014) y Akhtar (2018) sugieren que los RCD pueden ser reutilizados en la construcción, aunque se necesita más investigación para garantizar su calidad. La economía circular, promovida por Galvez-Martos (2018) y Xiao (2018), ofrece estrategias para reducir costos y el impacto ambiental, como el uso de polvo reciclado como sustituto del cemento.

3.6 La solución

Ante la problemática de los residuos de construcción y demolición surge de la necesidad de repensar el ciclo de vida de los materiales empleados en las obras civiles; es por ello que se plantea SCOMB, un modelo de remanufactura en sitio, que transforma los escombros generados durante la ejecución de proyectos en insumos reutilizables para nuevas construcciones. Este enfoque busca incorporar prácticas sostenibles que reduzcan los costos asociados al transporte y disminuyan las emisiones derivadas del manejo ineficiente de los residuos. Al intervenir directamente en el lugar donde se generan los desechos, el proceso promueve una gestión más responsable, eficiente y alineada con los principios de la economía circular.

La propuesta se fundamenta en la aplicación de tecnologías limpias y modu-

lares, capaces de adaptarse a las distintas condiciones de obra y a los diversos tipos de materiales presentes en los residuos. Este modelo de trabajo introduce un cambio estructural en la forma de concebir la gestión de escombros, ya que desplaza el tratamiento de materiales desde las plantas externas hacia los espacios de intervención urbana. A partir de ello, se optimiza el tiempo de respuesta en los procesos constructivos, se fomenta la reutilización de los recursos disponibles y se promueve una cultura de aprovechamiento sostenible en la industria de la construcción.

Además, la solución integra una visión estratégica que articula la innovación tecnológica con la educación ambiental. Su implementación favorece la adopción de nuevas prácticas de gestión dentro de las empresas constructoras y sensibiliza a los actores del sector sobre la importancia del aprovechamiento de los materiales. De este modo, la propuesta impulsa una transformación gradual hacia un modelo constructivo más consciente del entorno y de los recursos empleados, fortaleciendo la sostenibilidad como eje transversal de las actividades productivas.

Esta iniciativa representa una alternativa viable y coherente con las metas establecidas en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11, orientado a la creación de ciudades y comunidades sostenibles. La remanufactura de escombros se proyecta como una estrategia que conjuga eficiencia técnica, compromiso ambiental y responsabilidad social. Su planteamiento demuestra que la innovación en el manejo de residuos puede convertirse en un factor determinante para el desarrollo urbano sostenible y la reducción de la huella ecológica de la industria de la construcción.

3.6.1 Componentes de la solución

La gestión de residuos en la industria de la construcción es un reto importante tanto desde el punto de vista ambiental como logístico, debido a la gran cantidad de escombros generados durante cada fase de un proyecto. Este problema requiere soluciones innovadoras que permitan mitigar su impacto. Una propuesta eficaz es la implementación de un modelo de remanufactura en sitio, que facilita la transformación de los residuos en nuevos insumos para la construcción a través de un proceso organizado, eficiente y con base en tecnologías avanzadas. Esta estrategia, fundamentada en los principios de la economía circular, busca gestionar de manera óptima los materiales desechados e integrarlos nuevamente en la cadena productiva de forma sostenible.

El enfoque de economía circular aplicado a este proceso promueve la reutilización de los materiales generados durante las obras, desde su recolección y clasificación hasta su transformación y adaptación para nuevos usos. Al incorporar tecnología avanzada y optimizar los procedimientos operativos, se maximiza la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos. Esto se traduce en una reducción de costos, junto con una disminución del impacto ambiental asociado al manejo tradicional de los residuos en la construcción. A continuación, se expone una descripción detallada de los elementos clave que componen esta solución innovadora:

Remanufactura en sitio: Esta estrategia propone aprovechar los escombros directamente en el lugar donde se generan, con el propósito de reducir los costos asociados al transporte de materiales, uno de los gastos más significativos en las operaciones de demolición. Al eliminar la necesidad de trasladar los residuos a largas distancias, se disminuye la emisión de gases contaminantes y se optimiza el uso de recursos. De esta manera, el proceso se consolida como una alternativa más eficiente, sostenible y coherente con las responsabilidades ambientales y sociales del sector de la construcción.

Economía circular: La solución se centra en convertir los escombros en nuevos materiales de construcción, evitando que estos se conviertan en desechos inútiles. Este modelo permite un uso más eficiente de los recursos, al reincorporar los materiales reciclados en la cadena productiva, lo que reduce la necesidad de materias primas vírgenes. De esta manera, se favorece la creación de un sistema de producción más responsable y menos dependiente de los recursos naturales, contribuyendo a una industria más sostenible.

Adaptabilidad: El sistema propuesto incluye equipos modulares y procesos flexibles que se pueden ajustar a diferentes tipos de escombros y condiciones específicas de cada obra. Esto permite que la tecnología pueda implementarse en una amplia gama de proyectos, desde pequeñas remodelaciones hasta grandes desarrollos urbanos, adaptándose a las diversas necesidades de cada proyecto y garantizando su viabilidad en distintos contextos.

Sostenibilidad: El principal beneficio ambiental de esta propuesta es la reducción significativa de los residuos enviados a los vertederos, lo que también implica una disminución de la extracción de recursos naturales. La reutilización de materiales reciclados no solo evita el desecho masivo de estos, sino que también reduce la demanda energética asociada a la producción de nuevos insumos de construcción. En este sentido, el modelo se alinea con los objeti-

vos globales de sostenibilidad y promueve una construcción responsable, con un bajo impacto ambiental y un uso eficiente de los recursos.

3.5.2 Etapas del proceso de remanufactura

Recolección: Se implementa un sistema de acopio en el sitio de obra para reunir los escombros generados. Este proceso inicial es crucial, ya que permite centralizar los residuos y evitar su dispersión, facilitando su posterior procesamiento y garantizando que se puedan recuperar la mayor cantidad de materiales posibles.

Clasificación: Una vez recolectados, los escombros se separan según su tipo, distinguiendo entre materiales como hormigón, metálicos, maderas y plásticos. Este paso es esencial para garantizar que cada material reciba el tratamiento adecuado y que los residuos contaminantes o no aptos para el reciclaje sean gestionados correctamente.

Trituración y procesamiento: Los materiales seleccionados pasan por un proceso de trituración y refinamiento, adaptando su tamaño y características según los estándares requeridos para su reutilización. Este procedimiento es clave para transformar los residuos en agregados de calidad, listos para ser reincorporados en nuevas mezclas de concreto o como base para otros elementos constructivos.

Adecuación y modificación: Dependiendo del tipo de material, se pueden aplicar tratamientos adicionales, como estabilización química o compactación, para mejorar su resistencia y durabilidad. Esta etapa permite que los productos reciclados cumplan con las normativas de construcción y puedan ser usados con la misma seguridad y eficiencia que los materiales convencionales.

Reutilización o traslado: Finalmente, los materiales procesados se emplean en la misma obra o se transportan a centros especializados para su distribución en otros proyectos. De esta manera, se cierra el ciclo de aprovechamiento de los residuos, asegurando que la mayor cantidad posible de material tenga una segunda vida útil dentro del sector de la construcción.

3.5.3 Elementos tecnológicos y operativos

Equipos de trituración y separación modular: La propuesta incorpora maquinaria diseñada para procesar distintos tipos de escombros de manera

eficiente, con la posibilidad de adaptarse a diferentes escalas de obra. Su modularidad permite su implementación en diversas condiciones y facilita su transporte e instalación en sitios con espacio reducido.

Sistemas de clasificación de materiales: Se integran tecnologías de separación automatizada y manual, que facilitan la identificación de materiales reutilizables y optimizan el proceso de reciclaje. Estos sistemas garantizan una mayor eficiencia en la recuperación de insumos y reducen la cantidad de residuos no aprovechables.

Infraestructura temporal para almacenamiento y reciclaje: Se propone la creación de espacios específicos dentro de las obras para el acopio y tratamiento de escombros, asegurando que el proceso sea ordenado y seguro. Estas zonas pueden incluir contenedores segmentados y áreas de procesamiento equipadas con las herramientas necesarias para cada tipo de material.

Productos reciclados derivados: Como resultado del proceso de remanufactura, se pueden generar nuevos productos como bloques de construcción, adoquines o pavimentos ecológicos. Estos productos pueden ser utilizados en la misma obra o comercializados, creando un nuevo mercado de materiales reciclados que fortalece la economía circular en el sector.

Según las necesidades del proyecto, esta solución sigue las directrices del ODS - 11. A diferencia de otras propuestas que pueden enfocarse únicamente en el reciclaje de escombros en plantas lejanas, esta solución se distingue por su enfoque en la remanufactura en sitio. Esto reduce costos de transporte, limita las emisiones de carbono asociadas y acelera el proceso de reutilización. Además, permite una evaluación más efectiva de la calidad y el tipo de materiales directamente en el lugar de origen.

3.7 Innovación

La solución es innovadora debido a que a diferencia de enfoques tradicionales que requieren transporte de escombros a plantas de reciclaje lejanas, esta permite que la remanufactura ocurra en sitio, minimizando costos y tiempos de transporte, así como emisiones de carbono asociadas. Al procesar los escombros en el sitio, se acelera el ciclo de reutilización de materiales, lo que es valioso en la construcción pues requieren adaptaciones rápidas y flexibilidad en el suministro de materiales. Se alinea con las directrices del ODS 11, promueve la construcción de ciudades y comunidades sostenibles, promoviendo

a su vez la articulación entre actores (Amar et al., 2016).

Al fomentar la reutilización de recursos, se contribuye a la minimización de residuos y al uso eficiente de materiales. El uso de equipos de trituración y separación modulares permite que la tecnología se adapte a diversos entornos de construcción y a distintos volúmenes de escombros, haciendo que la solución sea viable para proyectos de cualquier tamaño. Implementar este proceso en construcción, sirve como una herramienta educativa para trabajadores y la comunidad, promoviendo prácticas de construcción más sostenibles y responsables.

Es importante destacar que este proyecto requiere de una importante inversión, que no solamente contempla aspectos técnicos u operativos sino también los relacionados con la propiedad intelectual, elemento que normalmente se asocia con una barrera de entrada al mercado y en sí mismo representa un obstáculo para la innovación, (Cordova-Buiza et al., 2023, Llinares-Paternina et al., 2021; Martínez-Torres y Martínez-Torres 2022;).

3.8 Impacto de la solución

La propuesta tecnológica modular para la trituración y separación de materiales tiene el potencial de optimizar el aprovechamiento de residuos de construcción y generar un impacto significativo en tres dimensiones clave: social, ambiental y económica. Estos efectos podrían manifestarse a través de un enfoque que integre la remanufactura en sitio, la economía circular y la adaptabilidad a diversos contextos de obra.

El impacto social de esta iniciativa se reflejaría en la mejora de la calidad de vida de las comunidades involucradas en proyectos de construcción, así como el incremento de sus habilidades de liderazgo (Porto-Solano et al., 2022). Al fomentar la reutilización de materiales reciclados, la tecnología reduciría la acumulación de residuos en áreas urbanas y promovería la creación de empleos verdes relacionados con el manejo y procesamiento de escombros. Esto generaría oportunidades de capacitación en nuevas habilidades tecnológicas para los trabajadores del sector, contribuyendo al fortalecimiento de la economía local y al avance de la sostenibilidad en las actividades urbanísticas.

En términos de impacto ambiental, la solución representaría un avance significativo hacia la reducción de la huella ecológica de la industria de la construcción. La remanufactura en sitio evitaría el transporte de grandes volúmenes de residuos, disminuyendo así las emisiones de carbono asociadas. A su vez,

el reciclaje y la reutilización de materiales reducirían la necesidad de extraer recursos naturales, favoreciendo la conservación del medio ambiente y alineándose con los principios de la economía circular. Esta estrategia permitiría mitigar la sobrecarga de vertederos y limitar el agotamiento de recursos no renovables, protegiendo los ecosistemas naturales.

Desde el punto de vista económico, la propuesta podría transformar el sector de la construcción mediante la reducción de costos asociados tanto a la gestión de residuos como a la adquisición de materiales nuevos. La optimización del proceso de clasificación y reutilización en el lugar de los escombros disminuiría significativamente los gastos logísticos y de transporte, lo que facilitaría un aprovechamiento más eficiente de los recursos disponibles. Además, este modelo fomentaría la creación de una cadena de valor basada en el reciclaje, estimulando nuevas inversiones en tecnologías limpias, fortaleciendo la competitividad del sector y promoviendo un crecimiento económico sostenible.

3.9 Conclusiones

El proyecto SCOMB: remanufactura de escombros es una solución con impacto innovador y sostenible para la gestión de residuos de construcción y demolición en zonas urbanas, abordando uno de los desafíos propuestas por el reto para contribuir al sector de la construcción con una iniciativa que pretende a la generación excesiva de desechos y su impacto ambiental. A través de un proceso estructurado con diferentes fases de recogida, clasificación, trituración, modificación y transporte a centros de acopio, se logra transformar materiales que tradicionalmente se consideraban desperdicio en insumos reutilizables para nuevos proyectos. Esto no solo permite optimizar el uso de recursos, sino que también reduce costos, minimiza el impacto ambiental y fomenta una economía circular dentro del sector.

Uno de los aspectos más valiosos de este enfoque es su capacidad para generar oportunidades laborales en distintas fases del proceso, desde la recolección hasta la infraestructura y reducción de los materiales. Esto puede beneficiar directamente a la comunidad, creando empleos y promoviendo un sentido de responsabilidad compartida en la gestión de residuos. Es así como se fomenta una mayor conciencia sobre la importancia del reciclaje y la sostenibilidad, incentivando la adopción de prácticas responsables en la construcción y remodelación de espacios urbanos.

Desde una perspectiva ambiental, podría contribuir significativamente a la

reducción de emisiones de carbono, ya que disminuye la necesidad de transportar escombros a largas distancias y evita la explotación de nuevos recursos naturales. Al remanufacturar estos materiales en su lugar de origen, se reduce la cantidad de residuos que terminan en vertederos, lo cual disminuye la contaminación del suelo y la degradación ambiental causada por la acumulación de desechos. Además, el uso de materiales reciclados en nuevas construcciones permite mejorar la infraestructura comunitaria sin generar una mayor presión sobre el medio ambiente.

En términos económicos, este modelo se proyecta como una alternativa rentable para empresas del sector de la construcción, ya que reduciría costos asociados a la compra de materiales nuevos, el transporte de escombros y el pago de tasas de disposición en vertederos. Al mismo tiempo, se promovería la creación de cadenas de suministro más sostenibles, en las que los materiales reciclados se convierten en una opción viable y de calidad para el desarrollo de proyectos arquitectónicos y de infraestructura.

Este enfoque basado en la remanufactura y reutilización de escombros permite avanzar hacia un modelo de construcción más sostenible, alineado con los principios de la economía circular y la mitigación del cambio climático. Implementar este tipo de estrategias no solo beneficia a las empresas y comunidades involucradas, busca ser precedente en la industria de la construcción, demostrando que es posible desarrollar proyectos con un menor impacto ambiental y un mayor beneficio social.

3.10 Reconocimiento y agradecimientos:

Reconocemos y valoramos el esfuerzo de quienes participaron activamente en la construcción de la solución durante la competencia, en especial a los estudiantes del semillero Salma Cohen, Mariana Paniza, Felix Guillermo Beltrán Bueno, César Augusto Arrauth López y Cinthia Carolina Llerena Caraballo, junto a los líderes mentores Andrea Carolina Prieto Royet, Milton José De La Hoz Toscano, Miguel Charris, Ingrid Faneth Cárdenas Cantillo y Andrés Tirado. Su dedicación y compromiso fueron esenciales para el desarrollo de la iniciativa destacada en este capítulo, concebida en el contexto del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana.

3.11 Bibliografía

- Abdullah, Z. (2024). Remanufacturing construction and demolition waste and incineration ashes into eco-blocks: Quantitative sustainability assessment. *Results in Engineering*, 24(103242).
- Akhtar, A., y Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 186, 262-281.
- Alhawat, M., Ashour, A., Yildirim, G., Aldemir, A., y Sahmaran, M. (2022). Properties of geopolymers sourced from construction and demolition waste: a review. *Journal Of Building Engineering*, 50.
- Amar, P., Martínez-Torres, D.C., Castañeda, J. y Alvarez, R. (2016). La Ciencia, Tecnología e Innovación en el Caribe Colombiano: Una revisión de su situación actual y perspectivas en el corto plazo. En Nosotros Los Del Caribe. (1ra. ed., p. 201-234). Ediciones Universidd Simón Bolívar.
- Chesbrough, H. W. (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Harvard Business School.
- Cordova-Buiza, F., Toribio-Tamayo, G., Garcia-Portuguez, M. A. J., y Martínez-Torres, D. C. (2023). Factors influencing the entrepreneurial intention of university business students: Evidence from Lima-Peru. In European Conference on Innovation and Entrepreneurship (Vol. 18, No. 1, pp. 191-199).
- de Andrade Salgado, F., y de Andrade Silva, F. (2022). Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 52, 104452.
- Gálvez-Martos, J., Styles, D., Schoenberger, H., y Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources Conservation and Recycling*, 136, 166-178.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., y Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

- Kabirifar, K., Mojtabaei, M., Wang, C., y Tam, V. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner*
- Khan, Z., Balunaini, U., Costa, S., y Nguyen, N. (2024). A review on sustainable use of recycled construction and demolition waste aggregates in pavement base and subbase layers. *Cleaner Materials*, 13(100266).
- Korhonen, J., Honkasalo, A., y Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.
- Llinares-Paternina, M., García-Leones, D., Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2021). Impacto de los principales obstáculos de innovación sobre el desempeño innovador en la industria manufacturera de Colombia. En *Propuestas innovadoras para las regiones. una interpretación desde los semilleros de investigación en Colombia* (1st ed., p. 106). Red Colombiana De Semilleros De Investigación – Redcols.
- Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2022). Cultura corporativa orientada a la innovación: un análisis del contexto empresarial colombiano. En *Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos de la administración* (1st ed., pp. 9–36). Universidad del Valle de Puebla.
- Martínez-Torres, J. C., y Vega-Jurado, J. (2022). El impacto de los agentes intermediarios en el proceso de cooperación para innovar: el papel moderador del tamaño de la empresa. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 2-16.
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., y Zorpas, A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management y Research*, 41(12), 1728-1740.
- Porto-Solano, C., Murillo-Gutiérrez, A., Martínez-Torres, D.C. y Lidueñas-Bastidas, Y. (2022). Estilo de liderazgo del Consejo comunitario de Villa Gloria en Cartagena de Indias. En *Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos en la Administración*. (1ra. ed., p. 86-106). Universidad del Valle de Puebla.
- Sachs, J. D. (2015). *The age of sustainable development*. Columbia University Press.

Silva, R. V., de Brito, J., y Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201-217.

United Nations. (2020). Sustainable Development Goals. Retrieved from Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>

West, J., y Bogers, M. (2014). Open Innovation: A Research Agenda. In *Open Innovation 2.0* (pp. 261-276). Springer.

Xiao, J., Ma, Z., Sui, T., Akbarnezhad, A., y Duan, Z. (2018). Mechanical properties of concrete mixed with recycled powder produced from construction and demolition waste. *Journal Of Cleaner Production*, 188, 720-731.

Zhang, N., Konyalioglu, A., Duan, H., Feng, H., y Li, H. (2023). The impact of innovative technologies in construction activities on concrete debris recycling in China: a system dynamics-based analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 14039-14064.

Capítulo 4.

AVOPROTEC: revalorizar los residuos del aguacate

Mg. Melissa Soledad Caro Soto¹⁵

Yuly Castro Asmar¹⁶

Mariana Caro Soto¹⁷

Jorge Duran Pedroza¹⁸

Ingrid Cárdenas Cantillo¹⁹

Resumen

El aguacate es una baya que contiene una sola semilla y presenta múltiples beneficios para la salud debido a su composición rica en nutrientes esenciales. Sin embargo, uno de los mayores retos asociados a la producción masiva es la generación de residuos orgánicos, principalmente cáscara y semilla, que constituyen aproximadamente el 30% del peso total del fruto. En este sentido, el reto asumido por el equipo Guadalupanos en Colombia busca revalorizar los residuos del aguacate mediante el desarrollo de productos innovadores que permitan su aprovechamiento eficiente y sostenible. En este capítulo, se plantea el desarrollo de un bioplástico biodegradable a partir del almidón extraído de la semilla y la cáscara, con el fin de proporcionar valor agregado, sustituir los plásticos convencionales que demoran cientos de años en degradarse y contribuir al cuidado del medio ambiente, apuntando a las tendencias actuales encaminadas a la aplicación de principios de la economía circular.

Palabras clave: Agroindustria; Aguacate; Aprovechamiento; Residuos; Revalorización.

¹⁵ Corporación MAVI

¹⁶ Corporación Universitaria Americana

¹⁷ Corporación MAVI

¹⁸ Corporación Universitaria Americana

¹⁹ Corporación Universitaria Americana

4.1 Introducción

El aguacate, conocido en distintos países como “palta” en Argentina y Chile, “avocado” en los Estados Unidos y “abacate” en Brasil, es una fruta de alto valor nutricional y económico. Su popularidad ha crecido en los últimos años debido a su versatilidad culinaria y beneficios para la salud, generando un aumento significativo en su producción y exportación a nivel global. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2021 se produjeron aproximadamente 8,5 millones de toneladas de aguacate en todo el mundo, siendo México el principal productor con más del 30% de la producción global (Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023).

Colombia, por su parte, ha experimentado un crecimiento exponencial en la producción de aguacate Hass, alcanzando más de 800,000 toneladas anuales, con un enfoque en la exportación hacia mercados como Estados Unidos y Europa (Ministerio de Agricultura [Minagricultura], 2023), lo que le ha permitido posicionarse como el tercer exportador global, alcanzando ingresos superiores a los 200 millones de dólares en exportaciones en 2022 (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera, [SIAP], 2023; ProColombia, 2023). No obstante, el crecimiento de la industria ha generado preocupaciones ambientales relacionadas con el manejo de residuos como la cáscara y la semilla, que representan un reto en términos de sostenibilidad y gestión de desechos.

La contaminación derivada de la producción de aguacate se ha convertido en una preocupación creciente. La generación de residuos orgánicos, principalmente cáscara y semilla, constituye aproximadamente el 30% del peso total del fruto, lo que implica grandes volúmenes de desechos que requieren estrategias de gestión eficientes (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2023). Estudios recientes han identificado que estos subproductos contienen compuestos bioactivos con potencial de reutilización en industrias como la cosmética y la alimentaria, pero su disposición inadecuada sigue representando un problema ambiental significativo (FAO, 2023).

Más aún, el impacto ambiental de la producción de aguacate Hass en Colombia y México ha sido objeto de análisis por parte de entidades gubernamentales y académicas. Se ha documentado que el uso excesivo de agua para el riego, el empleo de agroquímicos y la deforestación asociada a la expansión de cultivos han generado consecuencias negativas para los ecosistemas locales (Recamier,

2024). Así mismo, la gestión inadecuada de residuos sólidos provenientes del procesamiento del aguacate ha llevado a la contaminación de cuerpos de agua y suelos en regiones productoras clave.

Los retos ambientales que enfrenta la industria del aguacate están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas, en particular con el ODS 12 sobre producción y consumo responsables y el ODS 13 sobre acción climática. La adopción de estrategias innovadoras para la reutilización de residuos del aguacate, como la semilla y la cáscara, representa una oportunidad para mitigar el impacto ambiental de esta industria y promover prácticas sostenibles (Organización de las Naciones Unidas, [ONU], 2023).

La implementación de soluciones efectivas requiere un enfoque colaborativo entre los sectores público y privado, así como la participación de instituciones académicas y centros de investigación. En este sentido, el reto asumido por el equipo Guadalupanos en Colombia busca revalorizar los residuos del aguacate mediante el desarrollo de productos innovadores que permitan su aprovechamiento eficiente y sostenible. La propuesta presentada en el marco de este reto tiene como objetivo transformar la cáscara y la semilla del aguacate en materiales de alto valor agregado, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y la generación de oportunidades económicas en comunidades productoras.

La propuesta Avoprotec se basa en un enfoque de economía circular, promoviendo la reutilización de residuos agroindustriales para la fabricación de bioplásticos biodegradables y otros productos sostenibles. Así mismo, la implementación de este proyecto podría ser replicada en otras regiones productoras, contribuyendo a la sostenibilidad de la industria y al cumplimiento de normativas ambientales cada vez más estrictas.

El presente capítulo plantea diseñar un bioplástico biodegradable a partir del almidón extraído de la semilla y la cáscara del aguacate, con el propósito de revalorizar los residuos orgánicos generados en su producción, sustituir los plásticos convencionales y promover prácticas sostenibles alineadas con los principios de la economía circular.

4.2 El desafío

El consumo de aguacate (palta) tiene múltiples beneficios para la salud debido

a su composición rica en nutrientes esenciales, como grasas saludables, vitaminas y antioxidantes (Setyawan et al., 2021). De igual manera, su uso trasciende el ámbito alimenticio (Duarte et al., 2017), ya que en otras industrias se aprovechan sus propiedades funcionales y nutracéuticas, contribuyendo al desarrollo de diversos productos.

Sin embargo, uno de los mayores retos asociados a la producción masiva de aguacates es la gestión de los desechos, particularmente de la semilla (carozo) y la cáscara, que representan un porcentaje significativo del fruto (Duarte et al., 2017). Estos residuos, a menudo desechados como basura, poseen un enorme potencial para ser revalorizados en diversas aplicaciones industriales, alimenticias y medicinales.

La literatura reciente ha destacado que la cáscara y la semilla del aguacate contienen compuestos bioactivos, como antioxidantes, fibras y aceites esenciales, que pueden ser transformados en productos de alto valor agregado (Setyawan et al., 2021). En el sector alimenticio, estos subproductos se emplean como ingredientes funcionales para enriquecer alimentos (Bangar et al., 2022). Por otro lado, en el sector salud, el aguacate puede aprovecharse para desarrollar extractos con propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias (Duarte et al., 2017). Mientras que, en la industria cosmética esta fruta se utiliza como la base de exfoliantes naturales, aceites nutritivos y otros productos sostenibles (Bhuyan et al., 2019).

Por otro lado, su aplicación no se limita a las áreas mencionadas: también existe un creciente interés en utilizarlos como materia prima para bioplásticos, biocombustibles y fertilizantes orgánicos (Merino et al., 2021), lo que representa una oportunidad para fomentar la economía circular y reducir el impacto ambiental de la producción de este fruto.

El desafío actual radica en diseñar estrategias innovadoras que permitan transformar estos residuos en recursos útiles, promoviendo la sostenibilidad y generando nuevas oportunidades económicas. Esta tarea requiere un enfoque interdisciplinario que combine conocimientos en biotecnología, ingeniería de materiales y economía circular para maximizar el aprovechamiento de estos subproductos. De esta forma, la revalorización de los desechos contribuiría a mitigar los problemas ambientales e impulsaría el desarrollo de soluciones prácticas y sostenibles en diversas industrias.

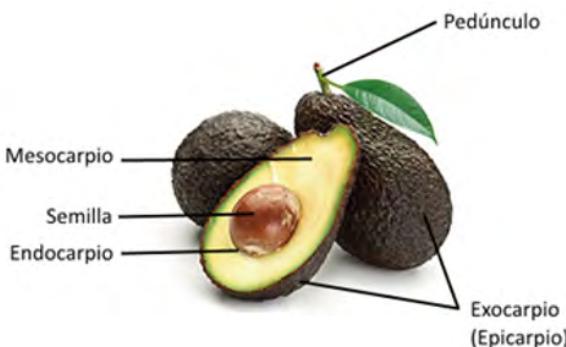
4.3 Marco teórico

4.3.1 Generalidades del aguacate

El aguacate es el fruto del árbol *Persea americana*, perteneciente a la familia Laurácea, originario de Mesoamérica, específicamente de la región central de México y algunas áreas altas de Guatemala (Ortega, 2003). Su distribución natural abarca desde México hasta Perú, atravesando Centroamérica, Colombia, Venezuela y Ecuador (Téliz, 2000).

Este fruto es una baya que contiene una sola semilla y varía en forma dependiendo de su raza, variedad o cultivo (Ipri, 1995). Es considerado altamente nutritivo, rico en fibras, grasas saludables, magnesio, potasio, aminoácidos, proteínas, minerales y vitaminas A, B, C, D, E y K (Serna, 2023). Su composición abarca el endocarpio (semilla), mesocarpio (pulpa), exocarpio (cáscara o piel), como se puede observar en la figura 1.

Figura 1.
Fisiología del aguacate



Nota: Tomado de polania (2014)

4.3.2 Variedades del aguacate

El aguacate está representado por tres razas principales, conocidas como la antillana, la guatemalteca y la mexicana y sus cruces han dado origen a la mayoría de las variedades existentes actualmente. Entre estas variedades destacan el Hass, Lorena, Trinidad, Fuerte y Choquette. Siendo las variedades Hass y Lorena especialmente reconocidas y con una alta demanda en el mercado mundial (Monsalve y Ramos, 2019). Cabe señalar que existen otras variedades de aguacate que también ofrecen características particulares, adaptándose a

diversas necesidades y preferencias.

4.3.3 Producción del aguacate en Colombia

El aguacate es un fruto altamente demandado a nivel mundial y producido en diversas regiones del mundo. En este contexto, Colombia se destaca como uno de los principales productores de aguacate a nivel mundial, ocupando el tercer lugar como exportador global (ProColombia, 2023; SIAP, 2023). De acuerdo con el informe de Datos Abiertos (2022), entre los años 2007 y 2018, se observó un crecimiento en el área cultivada, toneladas producidas y rendimiento por departamento del cultivo de aguacate. Los departamentos que presentaron el mayor incremento fueron Tolima, Antioquia, Caldas y Santander, destacándose Tolima por tener la mayor área cultivada. Este aumento en las hectáreas cultivadas ha tenido un impacto positivo en la generación de empleo rural a nivel regional (Redagrícola, 2022).

Según el Instituto Colombiano Agropecuario, para el año 2022 se reportaron 79,832 hectáreas dedicadas al cultivo de aguacate en diversas variedades, de las cuales el 50% corresponde a la variedad Hass, siendo el 31% de las hectáreas destinadas al mercado de exportación según la información registrada ante el ICA (ICA, 2022).

4.3.4 Residuos sólidos orgánicos del aguacate

En el sector del aguacate, la generación de residuos sólidos orgánicos es un tema de gran preocupación, ya que, si no se gestionan de manera adecuada, pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente. Estos residuos, que incluyen la pulpa, la cáscara, las ramas y las hojas, contienen compuestos bioactivos y nutrientes valiosos, que podrían aprovecharse para la producción de compost y otros productos orgánicos, lo cual ayudaría a mitigar su impacto ambiental y favorecer a la sostenibilidad del cultivo (Serna, 2023).

Un estudio realizado por Monsalve y Ramos (2019) mostraron que las pérdidas por daños en la calidad del aguacate fueron del 5% al 7%, debido a factores como variaciones de temperatura y golpes durante el transporte, lo que genera un impacto económico considerable al desechar los aguacates no procesados. Una solución prometedora para aprovechar estos residuos es la producción de bioplástico, ya que contienen componentes que permiten fabricar bioplásticos biodegradables, con un menor impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales (Serna, 2023).

4.3.5 Bioplásticos

Según Pizá et al. (2018), los bioplásticos son polímeros con alto peso molecular obtenidos de fuentes renovables, principalmente vegetales. Las razones por las que se ha incrementado su uso se enfocan en el alto precio de las resinas derivadas del petróleo, que son utilizadas para producir plásticos convencionales y la creciente concientización sobre los problemas climáticos que enfrenta la sociedad.

Es importante destacar que existen dos tipos de bioplásticos: aquellos elaborados a partir de recursos renovables (biomasa) y los que se sintetizan mediante biotecnología, como es el caso de la obtención de la insulina. Algunos ejemplos de bioplásticos son los polímeros a base de almidón, la polilactida (PLA), los polihidroxialcanoatos (PHA), el alcohol polivinílico (PVOH), las poliamidas (PA), entre otros (Rimac, 2019).

4.4 Metodología

El capítulo AVOPROTEC aborda la problemática ambiental derivada del desperdicio de subproductos del aguacate, planteando una alternativa sostenible basada en la transformación de su semilla y cáscara en bioplástico biodegradable. El enfoque metodológico propuesto se orienta hacia la identificación de procesos de aprovechamiento de biomasa residual, priorizando la revisión de literatura científica que documenta técnicas de extracción de almidón y su conversión en materiales poliméricos. Con ello, se busca demostrar la viabilidad técnica y ambiental de una propuesta que se fundamenta en la innovación orientada al aprovechamiento de residuos agroindustriales.

El análisis de antecedentes permitió evidenciar una tendencia creciente en el desarrollo de bioplásticos a partir de fuentes naturales como el maíz, la yuca o la papa, lo cual aporta referentes clave para adaptar dichas técnicas al caso del aguacate. Esta comparación técnica sirve como punto de partida para diseñar un modelo de aprovechamiento de residuos que incorpore variables de sostenibilidad, eficiencia energética y reducción de desechos. A partir de este enfoque, el capítulo propone la conceptualización de un biopolímero de origen vegetal que no solo sustituya materiales contaminantes, sino que contribuya a fortalecer prácticas productivas más limpias.

La propuesta se consolida como un ejercicio investigativo que une ciencia aplicada, economía circular y responsabilidad ambiental. Aunque el proyecto se

encuentra en fase conceptual, plantea un marco técnico y metodológico sólido para futuras etapas de experimentación. El propósito último es revalorizar los residuos del aguacate como recurso estratégico, integrando la innovación biotecnológica con una perspectiva sostenible que responda a las demandas globales de reducción de plásticos y conservación ambiental.

4.5 Estado del arte

En los últimos años, la investigación sobre el aprovechamiento de los residuos del aguacate ha ganado relevancia debido a su impacto ambiental y potencial económico.

Estudios como el de Chávez et al. (2024) han demostrado el potencial antioxidante de polifenoles extraídos de la cáscara de aguacate Hass, optimizados mediante extracción asistida por ultrasonido y encapsulación con maltodextrina. Este aditivo natural, desarrollado como una solución para extender la vida útil de productos cárnicos, aumentó en un 66% la durabilidad de la carne de cerdo refrigerada, mostrando su potencial para reemplazar antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria. Asimismo, Zaldivar et al. (2023) destacan las propiedades nutracéuticas y funcionales en los residuos del aguacate (cáscara y semilla), evidenciando su potencial como agentes antioxidantes, antimicrobianos, antiinflamatorios, antidiabéticos y anticancerígenos, posicionándolos como ingredientes funcionales valiosos para la industria alimentaria y cosmética, al mismo tiempo que contribuyen al desarrollo sostenible al reducir los residuos.

En otra investigación, Garcete et al. (2022) analizaron el método óptimo para la extracción de aceite de aguacate (*Persea americana Mill*) destinado a productos de la industria cosmética en la ciudad de Villarrica, departamento del Guairá (Paraguay) y determinaron que el aceite extraído presentó un alto contenido de ácido oleico y vitamina E, propiedades que lo posicionan como un ingrediente clave en productos de cuidado personal gracias a sus beneficios antioxidantes y su capacidad para nutrir la piel y el cabello.

Por otro lado, Iglesias et al. (2021) identificaron que las hojas de aguacate (*Persea americana Mill.*) Son una fuente rica en polifenoles como flavonoides y taninos, que les confieren una alta capacidad antioxidante. En su estudio, un extracto acuoso de estas hojas logró inhibir hasta un 86,1% del radical libre DPPH, lo que resalta su potencial como ingrediente natural en las industrias alimentaria y farmacéutica.

Monsalve y Ramos (2019) concluyeron que la producción de aceite cosmético a partir de residuos de aguacate es económicamente viable mediante el prensado mecánico, un método eficiente que garantiza altos rendimientos y calidad.

En cuanto a las investigaciones realizadas en Colombia, destaca el estudio llevado a cabo por Lozano y Ayala (2022), quienes demostraron el potencial de los residuos del aguacate Hass (cáscara y semilla) para generar materiales biodegradables mediante procesos experimentales iterativos, los cuales permiten avanzar hacia la implementación de mecanismos de diseño circular.

En el departamento de Bolívar, Mallarino et al. (2020), investigaron la viabilidad de transformar la semilla del aguacate en bio-carbón, material con múltiples aplicaciones. Entre sus posibles usos resaltan su aprovechamiento como precursor energético o, al ser convertido en carbón activado se puede utilizar en la producción de filtros para agua potable debido a su capacidad de absorción.

Así mismo, en Bogotá, Rodríguez y Parra (2021), plantearon el desarrollo y caracterización de galletas funcionales a partir de harina de semilla de aguacate. Para ello, se realizaron cuatro formulaciones con el fin de sustituir parcial o totalmente la harina de trigo, sin embargo, aunque se evidenció un alto potencial para ser usada como harina de sustitución, también se identificaron afectaciones en las propiedades organolépticas de los productos finales, tales como la textura, crujencia, dureza y fracturabilidad de los mismos.

Es importante mencionar que la revalorización de residuos agroindustriales enfrenta desafíos como la escalabilidad y los altos costos de implementación, que limitan su adopción industrial. Aunque las tecnologías emergentes para extraer compuestos bioactivos y convertir residuos en bioplásticos ofrecen gran potencial, requieren más desarrollo técnico para ser viables económica y ambientalmente. Superar estas barreras implica implementar procesos sostenibles y eficientes que reduzcan costos, maximicen el uso de residuos y promuevan un modelo de economía circular, contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo.

4.6 La solución

En la búsqueda de revalorizar los residuos del aguacate generados de actividades agroindustriales se propone el diseño de un bioplástico con el fin de proporcionar valor agregado y contribuir con el cuidado del medio ambiente

reduciendo los desperdicios y apuntando a las tendencias actuales encaminadas a la economía circular.

En este orden de ideas, el desarrollo del producto denominado “Avoprotec” tiene un enfoque innovador y sostenible al aprovechar las propiedades de la semilla y la cáscara del aguacate variedad Hass, que son desechadas por los consumidores. Estas partes del fruto representan un 18,29% y 13,48% del peso total, respectivamente, y se destacan como fuentes significativas de almidón. Este almidón posee características que lo hacen ideal para ser utilizado como materia prima en la fabricación de polímeros biodegradables, espesante, gelificante e incluso como vehículo en fármacos (Alves et al., 2017; Chel et al., 2016). Asimismo, al combinar el almidón obtenido con glicerol y ácido acético, se busca mejorar las propiedades del producto en mención con el fin de que se diferencie de los demás desde su fabricación.

Cabe resaltar, que uno de los grandes beneficios que trae consigo la utilización de la semilla y la cáscara de aguacate como fuente de almidón para la producción de bioplástico es su alta disponibilidad, ya que estudios geológicos indican que Colombia posee una tierra ideal para la producción óptima del aguacate.

Por otra parte, el bioplástico resultante tendrá el potencial de biodegradarse en entornos naturales, lo que reduce su impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales. Es así, como la combinación de baja densidad y alta resistencia hace que este material sea versátil y adecuado para diversas aplicaciones convirtiéndolo en materia prima de interés para diversas industrias como la de alimentos y cosmética.

4.6.1 Componentes de la solución

Esta solución contempla tres componentes principales, las Semillas y cáscara de aguacate variedad Hass, Glicerol y Ácido Acético, a continuación, se detallan cada uno de estos elementos.

Semillas y cáscara de aguacate variedad Hass: Presentan un bajo uso industrial y comercial, por lo que, usar este residuo es una innovación importante y sostenible. Su alto contenido de almidón, el cual está compuesto por una proporción significativa en amilosa y amilopectina, se distingue por sus propiedades espesantes, su alta pureza, su capacidad para formar pastas viscosas y su bajo costo (Chel et al., 2016).

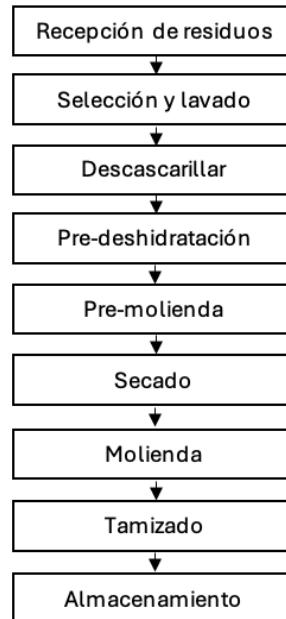
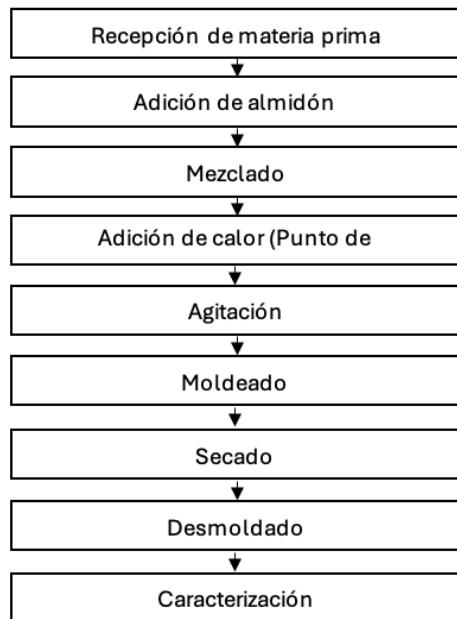
Glicerol: Es un alcohol con fórmula $C_3H_8O_3$, considerado no tóxico, económico y un excelente agente plastificante utilizado en la fabricación de plástico a partir del almidón. Este compuesto ofrece beneficios como la reducción de la retrogradación de los productos termoplásticos y al actuar, como lubricante, facilita la movilidad de las cadenas poliméricas del almidón (Alves et al., 2019).

Ácido Acético: Bajo el marco de la química verde se propone la utilización de esta materia prima al ser una sustancia amigable con el medio ambiente en comparación con ácidos orgánicos como el ácido clorhídrico (HCl). Su objetivo es disolver la celulosa presente en la semilla del aguacate con el fin de alcanzar propiedades que cumplan con los estándares de calidad establecidos para los plásticos de un solo uso en Colombia (Higuera et al., 2021)

2.1.1 Proceso de elaboración del prototipo

El proceso de elaboración del prototipo de bioplástico a partir de residuos del aguacate se llevará a cabo en dos fases según lo descrito por Armojis (2021), con algunas modificaciones, como se muestra a continuación:

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón de la obtención del bioplástico



Nota: Elaboración propia, adaptado de Armojis (2021)

FASE 1. Descripción del proceso de extracción del almidón: Para la extracción del almidón, inicialmente se realizará la recepción de los residuos del aguacate (semilla y cáscara) variedad Hass, donde las semillas deben ser de gran tamaño y aspecto agradable. Luego, se procederá a realizar la limpieza y desinfección de estos mediante un lavado por inmersión en una solución desinfectante. Seguidamente, se procederá al descascarillado para eliminar el tegumento de las semillas y realizar el proceso de pre-molienda a través de un proceso de rallado. El producto obtenido se pasará a un secador de bandeja a 30°C con el fin de alcanzar una humedad menor al 45% y posteriormente, pasará a la fase de molienda con el fin de obtener materias primas con características deseadas. Por último, se realizará el tamizado del almidón y se almacenará en un lugar impermeable, fresco y libre de humedad para conservar su vida útil (Ver Figura 2) (Armojis, 2021).

FASE 2. Descripción del proceso de la obtención del bioplástico prototipo: En esta fase, se pesarán 5 g de almidón de aguacate Hass y se colocarán en un vaso de precipitado, al cual se le añadirán 40 mL de agua destilada, 4 mL de glicerina 50% (v/v) y 4 mL de ácido acético 0,1 M. Posteriormente, la mezcla se colocará en un baño de maría durante aproximadamente 10 minutos, agitando continuamente, hasta que se adquiera una consistencia viscosa. Luego, se verterá la mezcla en una bandeja de poliestireno expandido (EPS) y se secará en una estufa a una temperatura de 30 °C hasta observar la formación de una película (Armojis, 2021).

Se prepararán tres formulaciones diferentes, variando la concentración de plastificante y cada una será expuesta a una temperatura constante variando los tiempos de secado, por lo que, se obtendrán tres resultados de cada formulación y cada uno serán sometido a un análisis de sus características cualitativas con el fin de seleccionar los mejores resultados (Ver Figura 3) (Armojis, 2021).

4.7 Innovación

La propuesta de Avoprotec plantea una solución innovadora y sostenible al aprovechar semillas y cáscaras de aguacate, residuos agroindustriales de lenta biodegradabilidad que contribuyen a la acumulación en vertederos y la emisión de gases de efecto invernadero, problemática especialmente relevante en países productores como México, Colombia y Perú, donde el impacto ambiental y los desafíos en la gestión de desechos son significativos.

Quintero et al. (2019) destacan que un manejo eficiente de los residuos agroindustriales, como los generados por el cultivo de aguacate, puede contribuir significativamente a mitigar los impactos ambientales. Así mismo, el aprovechamiento de estos fomenta la integración del conocimiento local con la innovación tecnológica (Martínez-Torres y Martínez-Torres, 2022), agregando valor a las cadenas productivas agropecuarias y promoviendo su sostenibilidad y competitividad.

La innovación de Avoprotec también se orienta hacia el desarrollo de materiales para empaques biodegradables, una solución con beneficios significativos en comparación con los plásticos convencionales, que tardan cientos de años en degradarse y generan contaminación en ecosistemas terrestres y marinos. Según el capítulo 1 del libro Innovación en biomateriales sustentables para un mundo mejor, los biomateriales basados en micelio y residuos agroindustriales, como el bagazo de agave, ofrecen propiedades funcionales similares a los plásticos tradicionales, pero con un menor impacto ambiental. Su producción requiere menos energía y no utiliza químicos peligrosos, posicionándolos como una alternativa viable y respetuosa con el medio ambiente.

Estudios recientes, como los de Gil et al. (2024) resaltan que el aprovechamiento de residuos agrícolas, como los generados por el cultivo de aguacate, representa una oportunidad estratégica para impulsar la sostenibilidad en la agroindustria. Destacan que la aplicación de tecnologías innovadoras permite transformar estos desechos en productos de valor agregado, reduciendo el impacto ambiental y fomentando una economía circular más sostenible. En este sentido, el valor agregado de esta alternativa radica en que la transformación de residuos en productos de alto valor fomenta un cambio en la percepción de los desechos, posicionándolos como recursos estratégicos para nuevas industrias.

De Dios et al. (2023) destacan que las semillas y cáscaras de aguacate, a menudo considerados desechos agroindustriales, tienen un alto valor por su rica composición en compuestos bioactivos, vitaminas, minerales y antioxidantes. Estos componentes ofrecen un gran potencial para aplicaciones industriales y contribuyen a la reducción del impacto ambiental de los residuos sólidos. Subrayan la importancia de utilizar tecnologías sostenibles para maximizar su aprovechamiento, lo que podría beneficiar tanto a mercados emergentes como a cadenas globales de valor sostenible, estableciendo un modelo replicable para otros sectores agroindustriales.

Asimismo, Bermeo et al. (2020) señalan que la transferencia tecnológica en la agrocadena del aguacate en el Tolima ha permitido identificar y optimizar procesos críticos en la gestión de residuos agrícolas. De igual manera destacan que el uso de tecnologías avanzadas mejora la trazabilidad y eficiencia operativa, al mismo tiempo que impulsa la sostenibilidad mediante la valorización de subproductos y la integración de buenas prácticas agrícolas que fomentan una economía más circular y competitiva.

En definitiva, el modelo Avoprotec integra sostenibilidad e innovación tecnológica para enfrentar desafíos locales y globales. Su replicabilidad y escalabilidad lo convierten en una solución adaptable a regiones con alta producción de aguacate, como México, Colombia y Perú, y establece precedentes para otras industrias agroalimentarias que buscan reemplazar materiales convencionales con alternativas biodegradables. Este enfoque reduce los costos ambientales, y promueve un desarrollo más limpio y competitivo a nivel internacional.

4.8 Impacto de la solución

El desarrollo de “Avoprotec” tiene el potencial de generar impactos significativos en tres dimensiones: social, ambiental y económica. Cada uno de estos aspectos está estrechamente relacionado con la innovación detrás del bioplástico basado en residuos de aguacate, el cual busca contribuir al cuidado del medio ambiente mientras genera valor agregado en la cadena productiva.

En este sentido esta iniciativa representa un potencial modelo de negocio que, teniendo una base de conocimiento académico, repercute en la generación de una spinoff (Amézquita López et al., 2015; Cordova-Buiza et al., 2023) de influencia social, ambiental y económica. Para lo cual se requiere de un sistema de relacionamiento importante con instituciones especializadas que a través de la innovación y la colaboración (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022) den cabida a iniciativas de este tipo, al mismo tiempo que reducen los niveles de incertidumbre respecto de fases de incubación y fortalecimiento de un potencial negocio o empresa (Llinares-Paternina et al., 2021).

El impacto social de esta iniciativa se proyecta en la valorización de residuos agroindustriales, lo que permitiría transformar un problema ambiental en una oportunidad económica. Al aprovechar los residuos del aguacate, específicamente la semilla y la cáscara, se podrían generar nuevas fuentes de empleo en comunidades agrícolas y agroindustriales, fomentando el desarrollo local, así como la articulación entre actores de dicho sistema de innovación (Amar

et al., 2016). Además, al tratarse de un producto biodegradable, “Avoprotec” ofrecería una alternativa más segura para la salud humana y los ecosistemas cercanos, lo que contribuiría a mejorar la calidad de vida de las personas y a fortalecer la sostenibilidad de las comunidades.

Desde el punto de vista ambiental, el impacto del bioplástico radicaría en su capacidad de biodegradarse en entornos naturales, a diferencia de los plásticos convencionales que pueden permanecer durante siglos en el medio ambiente. La solución propuesta no solo ayudaría a reducir la acumulación de residuos plásticos, sino que también apoyaría las tendencias hacia la economía circular, reincorporando recursos naturales al ciclo productivo en lugar de generar más desechos. El uso de materiales reciclados y la sustitución de plásticos de origen petroquímico contribuirían a la disminución de la huella de carbono de la industria del plástico.

El impacto económico se proyecta en varios frentes, principalmente en la apertura de nuevos mercados y la creación de productos innovadores que agreguen valor a residuos agrícolas previamente descartados, como producto de procesos de investigación que se desarrollan al interior de universidades y su relacionamiento con otros actores (Martínez-Torres y Castro-Porto, 2016 y Martínez-Torres et al., 2017). Al utilizar recursos locales y abundantes, como la semilla y la cáscara de aguacate, se facilitaría la reducción de costos de producción y se potenciaría la competitividad en industrias como la alimentaria y cosmética. Este modelo de negocio basado en el aprovechamiento de residuos no solo podría diversificar la economía local, sino que también serviría como referente para la adopción de soluciones sostenibles a nivel global.

4.9 Conclusiones

En el sector del aguacate, la generación de residuos sólidos orgánicos (semilla y cáscara) es un tema de gran preocupación, ya que representan alrededor del 30% del peso total del fruto y su disposición generalmente es hacia los vertederos, sin una gestión adecuada, lo que genera un impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, es importante destacar que estos residuos contienen compuestos bioactivos, como antioxidantes, fibras y aceites esenciales, que pueden ser aprovechados y transformados en productos de alto valor agregado.

La solución propuesta se enfoca en la revalorización de los residuos del aguacate orientándose a un modelo de economía circular que promueve su reuti-

lización para la fabricación de bioplásticos biodegradables. Lo anterior, surge como respuesta para mitigar los impactos ambientales generados por plásticos convencionales, cuya degradación puede tardar años. Para efectos de este estudio, se seleccionó como materia prima el aguacate variedad Hass, al ser un producto altamente producido en Colombia y presentar una cantidad significativa de almidón en sus residuos (semilla y cáscara), el cual es fundamental para la formación del bioplástico.

El impacto social de esta propuesta es multifacético abarcando desde la generación de empleo y el desarrollo económico local hasta la promoción de prácticas sostenibles y la cohesión comunitaria. Estas iniciativas fortalecen a las comunidades, mejoran la calidad de vida de sus miembros y fomentan un sentido de responsabilidad compartida hacia la protección del medio ambiente.

En cuanto al impacto ambiental, la revalorización de los residuos del aguacate reduce la cantidad de desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero, y al mismo tiempo promueve prácticas agrícolas sostenibles y eficientes. Esta solución integral ayuda a proteger el medio ambiente, conservar los recursos naturales y avanzar hacia un modelo de producción más responsable y respetuoso con el planeta. A través de la innovación y la implementación de estrategias sostenibles, se pueden lograr beneficios ambientales significativos que contribuyan a un futuro más verde y saludable.

Avoprotec aporta beneficios ambientales y sociales que también impulsan el crecimiento económico y la creación de valor a largo plazo. La transformación de los residuos en recursos útiles abre nuevas oportunidades de negocio, reduce costos, atrae inversiones y fomenta el desarrollo de industrias sostenibles, contribuyendo a un futuro más próspero y equilibrado.

4.10 Reconocimiento y agradecimientos

Este capítulo busca exaltar el compromiso y la dedicación del equipo de estudiantes, docentes e investigadores que hicieron posible esta iniciativa. Conformado por Marlene Magaña Alanis, Olga Patricia De Los Ríos Gómez, Jesús David Sanjuanelo Vizcaíno, Diego Alonso Cardona Restrepo, María Guadalupe Villegas Cisneros, Graciela Villamil Villadiego, Yuly María Castro Asmar e Ingrid Faneth Cárdenas Cantillo, este grupo fue clave en la materialización de la propuesta destacada en estas páginas, desarrollada en el marco del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana.

4.11 Bibliografía

- Alves, I., Coelho, L., Souza, L., Almeida A., Barros, A y Amorim A. (2019). Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp". Carbohydrate Polymers, (Brasil), 234,115747. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115747>.
- Alves, I., Magnani, M., Medeiros, F., Sabino, K., Aquino J y Queiroga V. (2017). Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. Int. Journal of Food Properties, 20(1), S279–S289 (2017). <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259>.
- Amar, P., Martínez-Torres, D.C., Castañeda, J. y Alvarez, R. (2016). La Ciencia, Tecnología e Innovación en el Caribe Colombiano: Una revisión de su situación actual y perspectivas en el corto plazo. En Nosotros Los Del Caribe. (1ra. ed., p. 201-234). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Amézquita López, J., Martínez Torres, D. C., y Castro Porto, M. (2015). El rol de las universidades en el desarrollo de las regiones: un análisis de la tercera misión universitaria en el Departamento de Bolívar. Revista Adelante. 6, 13-44.
- Armojis, A. y Brito, H. (2021). Obtención de bioplástico a partir del almidón de semillas de yaca (*rtocarpus heterophyllus*) y aguacate Hass (*Persea americana*) para su uso en el recubrimiento de alimentos. Trabajo de investigación para optar el título de Ingeniera Química. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16824/1/96T00729.pdf>
- Bangar, S., Dunno, K., Dhull, S. Siroha, A., Changan, S., Maqsood, S., y amp; Rusu, A. (2022). Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. Food Chemistry: X, 16, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100507>
- Bermeo, H., Tovar, N., Meisel, C., González, D., Beltrán, R., Arenas, O. y Sánchez, J. (2020). Transferencia tecnológica para la agrocadena del aguacate en el Tolima como apoyo a su proceso de internacionalización. Ediciones Unibagué. <https://doi.org/10.35707/9789587543438>.

- Bhuyan, D., Alsherbiny, M., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O., Barooah, M., Guang Li, C. y amp; Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8(10), 426. <https://doi.org/10.3390/antiox8100426>
- Chávez, J., Rendón, R. y Matiacevich, S. (2024). Revalorización de cáscaras de palta (*Persea americana Hass*): Desarrollo de un aditivo antioxidante para carne de cerdo. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(2), e70371-e70371. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n2-091>
- Chel, L., Barbosa, E., Martínez, A., González, E. y Betancur, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *Int. J. Biological Macromol.*, 86, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052>.
- Cordova-Buiza, F., Toribio-Tamayo, G., Garcia-Portuguez, M. A. J., y Martínez-Torres, D. C. (2023). Factors influencing the entrepreneurial intention of university business students: Evidence from Lima-Peru. In *European Conference on Innovation and Entrepreneurship* (Vol. 18, No. 1, pp. 191–199).
- De Dios Ávila, N., Tirado, J., Rios, C., Luna, G., Estrada, M., y Cambero, O. (2023). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607
- Duarte, P., Chaves, M., Borges, C., y amp; Mendonça, C. (2016). Avocado: characteristics, health benefits and uses. *Ciência rural*, 46(4), 747-754. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>
- Garcete, D., Gamarra, L., Vera, C., Cardozo, L. y Vázquez, M. (2022). Obtención de aceite del aguacate (*Persea americana Mill*) para la industria cosmética en la ciudad de Villarrica, departamento del Guairá, año 2021. *Revista Científica de la Universidad Nacional de Villarrica del Espíritu Santo*, 6(2). <https://revistascientificas.unves.edu.py/index.php/rcunves/article/view/23>.
- Gil, J., Clopatosky, S. y Guerrero, E. (2024). Tecnologías innovadoras para el manejo de frutales, énfasis en caducifolios, aguacate y frutas tropicales.

- Revista Ciencia y Tecnología El Higo, 14(1), 173-201. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/elhigo.v14i1.17977>
- Higuera, C., Rodríguez, N. y Zuluaga, K. (2021). Bioplásticos a partir de la semilla de aguacate. Universidad EAN, Bogotá (Colombia). <http://hdl.handle.net/10882/10904>
- ICA. (2022). Con 23 mil kilos de aguacate Hass, Colombia inicia la conquista del mercado de Chile. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-23mil-kilos-aguacate-hass-rumbo-chile>
- Iglesias, G., Abreu, J., Pérez, D. y Cartaya, R. (2021). Estudio fitoquímico preliminar y actividad antioxidante de un extracto acuoso de hoja de aguacate (*Persea americana* Mill.). Ohalikay Revista de Ciencias de la Salud, 5(3). <https://doi.org/10.33936/qkrcs.v5i3.3567> .
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2023). Informe sobre gestión de residuos de aguacate en Colombia. <https://www.ica.gov.co>
- International Plant Genetic Resources Institute [Ipgr]. (1995). Descriptores para aguacate (*Persea* spp.). Italia, Roma: IPGRI.
- Llinares-Paternina, M., García-Leones, D., Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2021). Impacto de los principales obstáculos de innovación sobre el desempeño innovador en la industria manufacturera de Colombia. En *Propuestas innovadoras para las regiones. una interpretación desde los semilleros de investigación en Colombia* (1st ed., p. 106). Red Colombiana De Semilleros De Investigación – Redcols.
- Lozano, G. y Ayala, C. (2022). Potenciamiento de la industria del aguacate mediante el desarrollo de materiales-DIY. *Revistas Académicas Chilenas*. <https://doi.org/10.52611/bdi.num7.2022.791>.
- Mallarino, L., Tejeda, L., Jiménez, M., González, A. y Tejeda, L. (2020). Aprovechamiento sostenible del aguacate (*Laurus persea*) para la obtención de producto de valor agregado en los Montes de María en el departamento de Bolívar -Colombia. SENA Centro Agroempresarial y Minero Regional Bolívar. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/riads/article/view/4280>
- Martínez-Torres, D.C. y Castro-Porto, M.P. (2016). La Investigación en los

- Programas de Administración en la Fundación Universitaria Colombo Internacional – UNICOLOMBO. En La investigación en los programas de Administración de Empresas de la Región Caribe colombiana. (1ra. ed., p. 497-520).
- Martínez-Torres, D.C., Miranda-Redondo, R., Amar, P., Rodríguez, I., Quintero, V. y Melamed, E. (2017). Dinámicas de innovación y relacionamiento Universidad-Empresa-Estado para el desarrollo de turismo de negocios. En Turismo Corporativo y TIC: Una puerta a la competitividad. (1ra. ed., p. 150-171). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2022). Cultura corporativa orientada a la innovación: un análisis del contexto empresarial colombiano. En Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos de la administración (1st ed., pp. 9–36). Universidad del Valle de Puebla.
- Martínez-Torres, J. C., y Vega-Jurado, J. (2022). El impacto de los agentes intermediarios en el proceso de cooperación para innovar: el papel moderador del tamaño de la empresa. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 2-16.
- Merino, D., Bertolacci, L., Paul, U., Simonutti, R., y amp; Athanassiou, A. (2021). Avocado peels and seeds: processing strategies for the development of highly antioxidant bioplastic films. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(32), 38688-38699. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c09433>
- Ministerio de la Agricultura Minagricultura. (2023). Producción de aguacate en Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co>
- Monsalve, C. y Ramos, Y. (2019). Estudio de pre-factibilidad en la cadena productiva del aguacate para aprovechamiento de residuos del fruto en la industria cosmética. Trabajo de grado para optar al título de profesional en Ingeniería Industrial, Universitaria Agustiniana, Bogotá D.C (Colombia). <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/906>.
- Organización de las Naciones Unidas ONU. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Organización para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2023). Avocado production worldwide. <https://www.fao.org>,

- Ortega, M. (2003). Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Congress (Actas V Congreso Mundial Del Aguacate, 741–748. http://209.143.152.63/WAC5/Papers/WAC5_p741.pdf.
- Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., y Zapata, A. (2018). Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las Chifleras de Piura, Perú. Perú: Universidad de Piura.
- Polania, W. (2014). Actividad antioxidante de los residuos del aguacate Hass (Persea americana Mill. var Hass) sometidos a extracciones clásicas y a fluidos presurizados. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).
- ProColombia. (2023). Exportaciones de aguacate Hass. <https://www.procolombia.co>
- Quintero, S., Ruiz, W., Giraldo, D., Vélez, L., Marín, B., Cubillos, S. y Cárdenas, A. (2019). Modelo de transferencia de tecnología para las cadenas productivas agropecuarias: Análisis comparativo de las cadenas del café y el aguacate en Antioquia. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/4899>.
- Recamier, M. (2024). El drama de la expansión del aguacate en México: amenazas a la biodiversidad y comunidades locales. Disponibles en línea: <https://es.mongabay.com/2024/03/expansion-aguacate-mexico-amenazas-biodiversidad-comunidades-locales/>
- Redagrícola. (2022). Futuro con sabor a aguacate Hass. <https://www.redagrícola.com/co/futuro-con-sabor-a-aguacate-hass/#:~:text=gradualmente%20este%20mercado.-,El%20aguacate%20Hass%20es%20una%20manera%20de%20mostrar%20que%20Colombia,el%20ejemplo%20empieza%20por%20casa.>
- Rimac, A. (2019). BIOPLÁSTICOS. Lima, Perú: Universidad Científica del Sur.
- Rodríguez, L.N. y Parra, L.S. (2021). Desarrollo y caracterización de galletas funcionales a partir de harina de semilla de aguacate. Universidad de los Andes. Bogotá D.C. <http://hdl.handle.net/1992/54344>

- Serna, S. (2023). Aprovechamiento de los residuos del aguacate Hass. Trabajo de grado para optar por el título de Tecnólogo en Logística, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bello (Antioquía). <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/19311>
- Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera SIAP. (2023). Estadísticas de producción de aguacate en México. <https://www.gob.mx/siap>.
- Setyawan, H., Sukardi, S., y amp; Puriwangi, C. (2021). Phytochemicals properties of avocado seed: A review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 733, No. 1, p. 012090). IOP Publishing. Doi 10.1088/1755-1315/733/1/012090
- Téliz, D. (2000). El aguacate y su manejo integrado. México: Ediciones Mundiprensa. <http://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblio-number=15514>
- Zaldivar-Ortega, A. K., Barrera-Jiménez, J. A., de Jesús Cenobio-Galindo, A., Pérez-Soto, E., Franco-Fernández, M. J., y Campos-Montiel, R. G. (2023). Potencial uso de la cáscara y semilla de aguacate como fuente de compuestos bioactivos con actividades funcionales para un desarrollo sustentable. Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP, 9(18), 30-33. <https://doi.org/10.29057/icap.v9i18.9058>

Capítulo 5.

Gestión logística de desperdicios alimentarios

Mg. Libnazaret Betancourt Rodríguez²⁰

Jesús David Echavarría²¹

Mg. Johanna Carolina Martínez Juvene²²

Jefferson Pérez Barraza²³

Mg. Oriana Carola Cortés Bracho²⁴

Resumen

La inseguridad alimentaria y la falta de gestión eficiente en la cadena de suministro se asocian a la problemática del desperdicio de alimentos y el hambre mundial. En Latinoamérica, esta situación se acentúa con la falta de espacios convergentes que faciliten la comunicación entre los actores de la cadena de suministro y comunidades vulnerables. Por tal razón, esta solución se presenta como una propuesta estratégica de solución, al digitalizar y optimizar procesos de distribución en una plataforma o aplicación móvil que identifica donaciones cercanas y disponibles, planifica rutas de recolección, facilita la comunicación entre los actores (supermercados, restaurantes, bancos de alimentos y transportistas), contribuye a la sostenibilidad y promueve el bienestar social, reduciendo el desperdicio y reforzando la disponibilidad de alimentos.

Palabras clave: Aplicaciones digitales; Cadena de Suministro; Comunidades vulnerables; Seguridad alimentaria; Sostenibilidad.

²⁰ Corporación Universitaria Americana

²¹ Corporación Universitaria Americana

²² Corporación Universitaria Americana

²³ Corporación Universitaria Americana

²⁴ Corporación Universitaria Americana

5.1 Introducción

El desperdicio de alimentos es una problemática que afecta profundamente a la cadena alimentaria global. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente el 19% de los alimentos disponibles en el mundo se desperdiciaron en 2022, lo que equivale a 1.050 millones de toneladas (UNEP, 2024). Este fenómeno ocurre en los hogares, en comercios minoristas, y también en los puntos clave de la cadena de suministro, desde la cosecha hasta la venta al por menor. La pérdida de alimentos en las primeras etapas de la cadena es especialmente significativa, con un 13% atribuido a fallos en la gestión, como prácticas deficientes de recolección, transporte y almacenamiento (UNEP, 2024). Este problema es un claro reflejo de un sistema alimentario ineficiente que contribuye a una paradoja global: mientras millones de toneladas de alimentos se desperdician, millones de personas en el mundo continúan padeciendo hambre (Durán-Sandoval et al., 2023).

La cadena alimentaria global está cada vez más presionada por el crecimiento de la población (Acevedo-Chedid et al., 2023), que se estima alcanzará los 9.7 mil millones para 2050. Este aumento exacerba la demanda de alimentos, pero la ineficiencia en su distribución y gestión contribuye a la crisis alimentaria y ambiental (Nikolicic et al., 2021; Soysal et al., 2015). La FAO también estima que cerca de 690 millones de personas padecieron de hambre en 2019, cifra que aumenta año tras año debido a la disparidad en la distribución de recursos (FAO, 2020). De otra parte, el desperdicio de alimentos tiene un impacto ambiental significativo, representa el 24% de los vertederos y el 22% de los residuos sólidos urbanos quemados, contribuyendo a las emisiones de gases de efecto invernadero, agravando el cambio climático (Kohli et al., 2024).

La urgencia de abordar las necesidades que se desprenden de esta problemática es impulsada por los devastadores efectos financieros, sociales y ambientales que produce la mala gestión de la cadena alimentaria. En primer lugar, el desperdicio alimentario representa pérdidas económicas directas para el sector gastronómico y de supermercados, estimadas en cientos de miles de millones de dólares al año (Tamasiga et al., 2022). De esta manera, la falta de infraestructura adecuada y la ineficiencia en el transporte de alimentos hacen que productos aptos para el consumo no lleguen a quienes más lo necesitan (Keating, 2013). En términos sociales, este desperdicio profundiza las desigualdades (Mejjad et al., 2023), ya que mientras en algunas regiones abunda el exceso de comida, en otras la escasez es crítica, afectando sobre todo a las comunidades vulnerables.

A nivel ambiental, la mala gestión de residuos alimentarios agrava problemas como la contaminación y el uso innecesario de recursos hídricos y energéticos (Cakar et al., 2020; Kibler et al., 2018). Según el informe de la FAO, el desperdicio alimentario consume alrededor del 24% del agua utilizada en la agricultura y ocupa el 28% de las tierras agrícolas (FAO, 2021). En este sentido, la descomposición de los alimentos en vertederos genera grandes cantidades de metano, un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono. Esta realidad pone de manifiesto la necesidad de soluciones integradas que prevengan el desperdicio y que contribuyan a la sostenibilidad del planeta.

Los supermercados y restaurantes, como actores clave en la generación de excedentes de alimentos, enfrentan barreras logísticas y culturales para canalizar esos recursos hacia bancos de alimentos y comunidades necesitadas (Crowe et al., 2018; Wills, 2017; Pettman et al., 2024). La falta de plataformas de coordinación y la ausencia de incentivos sólidos para la redistribución dificultan la creación de sinergias efectivas (Karki et al., 2020). Como resultado, toneladas de alimentos aptos para el consumo terminan en vertederos, generando los costos económicos, sociales y ambientales que se mencionaron anteriormente. Por consiguiente, los vacíos en la infraestructura logística y la falta de marcos regulatorios adaptados limitan la capacidad de estos actores para trabajar en conjunto, lo que resulta en el desperdicio masivo de alimentos aptos para el consumo, mientras se profundiza las desigualdades sociales relacionadas con el hambre.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo de investigación es diseñar una plataforma digital que conecte comunidades vulnerables que puedan aprovechar los productos alimenticios de actores de la cadena de valor como supermercados, restaurantes, bancos de alimentos y transportistas.

5.2 El desafío: reducción de desperdicios alimentarios

El sector gastronómico y los supermercados presentan un alto nivel de desperdicio alimentario, aun cuando muchos de los productos desechados se encuentran en condiciones de consumo aptas (Margallo et al., 2019). De hecho, para el 2022, se desperdió cerca del 19% de los alimentos disponibles en el mundo, lo que equivale a 1.050 millones de toneladas (UNEP, 2024), poco a poco convirtiendo a este fenómeno en un desafío palpable en todas las etapas de la cadena de suministro de la industria alimentaria. Particularmente, en América Latina, se acentúa por la falta de una gestión eficiente de excedentes, la carencia de infraestructura adecuada y la limitada adopción de tecnologías

avanzadas en los distintos eslabones de la cadena, generando pérdidas financieras significativas (Scholz et al., 2015; Vieira et al., 2024) e intensificando la inseguridad alimentaria, que afecta al 40.6% de la población (FAO, 2022).

Lo anterior conduce a grandes pérdidas económicas, al mismo tiempo que genera evidencia un impacto social negativo al privar de alimentos a poblaciones en situación de vulnerabilidad. Un estudio de Vieira et al. (2024) indicó que el desperdicio alimentario en Latinoamérica proveniente de las ineficiencias en la gestión de inventarios y transporte profundiza la brecha entre la abundancia de alimentos disponibles y las comunidades más vulnerables. A su vez, este hecho muestra los considerables efectos ambientales, debido a que la sobreproducción y el desecho de alimentos incrementan la presión sobre la accesibilidad a los recursos naturales, así como a la emisión de gases de efecto invernadero (FAO, 2022; Wunderlich y Martinez, 2018).

Por lo que, desde este contexto, este desafío contempla una gran necesidad para su abordaje, asociada con una propuesta que articule supermercados y restaurantes con bancos de alimentos y comunidades locales, considerando la necesidad de reducir las ineficiencias presentes en la cadena de suministro (Brinkley, 2017). Se pretende que dicha conexión, potencialmente, fortalezca el tejido social y contribuya a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la ONU, en concreto el objetivo relacionado con la erradicación del hambre y el consumo responsable (Kayikci et al., 2022). En consecuencia, el reto radica en la complejidad que implica crear un sistema logístico integral y equitativo, que sea capaz de mitigar el desperdicio, mientras que pueda responder a las carencias alimentarias de los más necesitados. De allí, la atención inmediata al desafío resulta altamente importante para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro de alimentos, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y promover un sistema alimentario sostenible.

5.3 Marco teórico

La fundamentación teórica de la problemática expuesta implica considerar un enfoque multidimensional de conceptos y supuestos teóricos que siente las bases del análisis, estructuración, gestión y dinámica logística de la disposición de excedentes de alimentarios a través de innovación tecnológica, lo que comprende el desempeño de la operación y la interacción entre los involucrados. Es por ello, que en esta sección se exponen dos grandes perspectivas teóricas que sustentan la solución planteada; por un lado, la perspectiva de la Gestión de la Cadena de Suministro, orientada a la eficiencia en la distribución de los

alimentos; y por el otro, la Teoría del Capital Social, que ayuda a explicar cómo se da la cooperación comunitaria y entre actores.

5.3.1 Perspectiva teórica de la gestión de la cadena de suministro

La Gestión de la Cadena de Suministro (Supply Chain Management - SCM) es una disciplina que estudia la planificación, ejecución y optimización de los flujos de productos, información, materiales y recursos dentro y entre las organizaciones, integrando adquisiciones, operaciones y logística, desde los proveedores hasta el consumidor final (Zhong, 2017). En palabras de Lummus y Vokurka (1999), la definen como el conjunto de acciones sistemáticas y estratégicas que coordinan las funciones tradicionales del negocio y las operaciones a lo largo del suministro para mejorar el desempeño individual y colectivo de las empresas involucradas.

Este proceso es básico para la excelente distribución de los alimentos, en pro de garantizar la calidad, seguridad y sostenibilidad de los productos alimenticios desde la producción hasta el consumidor final. Sin embargo, se hace aún más necesario cuando se trata de la disposición de los residuos de los mismos antes de terminar en los vertederos respectivos, debido a que, una buena gestión de la cadena de suministro permite prolongar la vida útil del producto y distribuirlo al consumidor (Acevedo-Chedid et al., 2023) que se encuentra en comunidades vulnerables con dificultad de acceso a los alimentos, como es el caso de la problemática planteada.

La literatura resalta la importancia de la logística en la cadena de suministro bajo tres grandes aspectos, que son considerados en la propuesta de solución. En primer lugar, los desafíos en la distribución de los productos perecederos, debido a la complejidad de la participación de varios actores, múltiples eslabones en la cadena y las propias características de estos productos (Zagurskiy y Zhurakovska, 2021). En consecuencia, el foco de atención de la gestión de la cadena de suministro está en los puntos críticos del proceso, es decir, optimizar los tiempos de entrega y reducir los eslabones en los que debe transitar el alimento para llegar de los donantes a los bancos de alimentos. Una gestión adecuada de la cadena de suministro reduce la pérdida de alimentos, ofrece mejores alternativas para su aprovechamiento y disposición final (Acevedo-Chedid et al., 2023), así como genera un impacto positivo al momento de reducir los costos operativos por sobreproducción y almacenamiento ineficiente.

En segundo lugar, la racionalización de la logística optimizando los flujos de

materiales, ya sea en tiempos de traslados, en la trazabilidad y seguimiento del producto de manera automatizada, entre otros aspectos que generan una marcada adaptación a un mercado en constante cambio mientras se minimizan los costos (Kush et al., 2020). El resultado más relevante es la garantía de llevar los alimentos donados en condiciones frescas y óptimas a los bancos de alimentos, así como a las comunidades vulnerables.

En tercer lugar, cada característica adyacente a los procesos logísticos y de suministro, enmarcan una ruta hacia las ventajas competitivas en estos servicios y en contexto globales, especialmente, enfocado en la flexibilidad, tiempos de entrega condicionados, suministros confiables y de calidad, así como el manejo de los precios que los productos van adhiriendo a lo largo de la cadena de suministro (Zagurskiy y Zhurakovska, 2021).

Así pues, la gestión de la cadena de suministro debe trabajar de la mano procesos de optimización, sea bajo modelos matemáticos o algoritmos, programas de asistencia social para la distribución de alimentos (Granillo-Macías, 2020), integración de redes logística local como un enfoque social activo (Bosona y Gebresenbet, 2011), así como la coordinación y alineación de actores bajo los principios de una comunicación efectiva en tiempo real, asignación eficiente de recursos y una respuesta rápida ante la disponibilidad de excedentes.

5.3.2 Teoría del Capital Social

El papel que juegan los aportes de la teoría del capital social a la comprensión de las cadenas de suministro de alimentos se desprende del desempeño que tienen las relaciones y las redes creadas para mejorar la seguridad alimentaria. Con ella se puede identificar el valor de las redes sociales y los recursos que contienen, para la acción colectiva y beneficios individuales y grupales. Esta concepción, cuyo origen está en los trabajos de Pierre Bourdieu y James Coleman, abarca diversas entidades que conforman las estructuras sociales y las acciones dentro de las mismas (Burt, 2000). Frecuentemente, los términos de estructuras de red y recursos sociales, que brindan beneficios como información, influencia, control y solidaridad social (Lu y Hampton, 2017), son empleados para definir el capital social.

En este sentido, el capital social se refiere a los recursos intangibles creados a través de las relaciones de confianza, normas compartidas y redes de cooperación dentro de una comunidad (Storberg, 2002). Así, Zola et al. (2022) argumentan que el capital social es un factor de desarrollo de sociedades co-

hesionadas, donde la interacción entre individuos y organizaciones fomenta la resolución de problemas colectivos de manera más eficiente, como se proyecta para la solución presentada.

En esta teoría subyace el supuesto del intercambio de conocimientos y productos dentro de comunidades (sean poblaciones o actores de una industria), que fundamenta la mejora de la disponibilidad, accesibilidad y utilización de los recursos. Para el caso del sector alimentario, mejora la seguridad alimentaria dando apertura a que las familias vulnerables tengan mayor posibilidad de nutrición (Nosratabadi et al., 2020). Igualmente, el impulso de las conexiones y reciprocidad de los miembros de la comunidad y cadena de suministro que se estudia como parte del capital social, permite fomentar el desarrollo comunitario a través de sistemas alimentarios. Lo anterior, se convierte soporte para la sostenibilidad y escalabilidad a otros sectores o contextos (Glowacki-Dudka et al., 2013), no obstante, se resalta que la confianza y objetivos unificados podrían debilitar los sistemas.

En otros sectores asociados, como el de la pesca, que funcionan con cadenas cortas de suministro de alimentos (CCSA), el capital social es empleado para desarrollar gobernanza estructural y de redes en los territorios locales para ayudar a localizar la producción de alimentos y a aumentar la cuota de mercado del sector (Freeman et al., 2023), contribuyendo a su sostenibilidad en el tiempo. Igualmente, cuando se habla de cadenas de suministro que enfocan sus actividades a las prácticas socialmente responsables, los postulados teóricos del capital social mejoran el desempeño al promover valores compartidos, comunicación y reciprocidad, y como consecuencia se mejoran los ingresos económicos de los involucrados (Alghababsheh y Gallear, 2020; Liu et al., 2023). Así como, desde un panorama territorial, en las regiones en desarrollo como Latinoamérica, el capital social es una alternativa para explicar el desarrollo de innovación y la eficiencia de la logística, a través de la capacidad de absorción que se genera en el aprovechamiento de nuevas ideas y conocimientos entre los agentes de la cadena de suministros (Nguyen et al., 2024).

Por todo lo anterior, estudiar el manejo de la distribución de las cadenas de suministro, la aplicación de la tecnología, con el componente social incluye la conducción de los valores compartidos y la colaboración de los involucrados para garantizar el éxito de su implementación, por tal razón, los conceptos asociados al capital social facilita la comprensión de la forma como se presenta la colaboración que deben tener los diferentes actores (empresas, bancos de alimentos, transportistas y comunidades) y los aspectos indispensables

(confianza, reciprocidad, colaboración, comunicación, cohesión social, valores compartidos, entre otros) para que se obtengan los resultados esperados a favor del fortalecimiento de la seguridad alimentaria y la reducción del desperdicio de alimentos.

5.4 Metodología

Este capítulo propone una alternativa innovadora frente a la pérdida masiva de alimentos en las cadenas de suministro, enfocándose en el diseño de una plataforma digital para la redistribución eficiente de excedentes alimentarios. La propuesta integra herramientas tecnológicas de geolocalización, planificación de rutas y comunicación en tiempo real, con el fin de conectar de manera ágil a supermercados, restaurantes, bancos de alimentos, transportistas y comunidades vulnerables. Desde una perspectiva de sostenibilidad, el enfoque combina la transformación digital con la responsabilidad social, orientando la innovación hacia la reducción del desperdicio y la mitigación del hambre.

La revisión del estado del arte permitió identificar experiencias internacionales exitosas que aplican modelos similares de logística inversa y economía circular en la gestión alimentaria. Estos referentes sustentan la pertinencia técnica del proyecto, al demostrar que la digitalización de los procesos de distribución es un factor determinante para incrementar la eficiencia y trazabilidad en la recuperación de alimentos. En este sentido, la solución propuesta se basa en procesos y metodologías previamente validadas, adaptadas al contexto latinoamericano y a las particularidades de los sistemas logísticos urbanos.

La propuesta culmina con la construcción de un mockup funcional, concebido como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones logísticas y de articulación social. Este modelo conceptual busca optimizar la distribución y reducir los costos operativos al mismo tiempo que se orienta a fomentar una cultura colaborativa entre los actores de la cadena alimentaria. Así, el capítulo se consolida como un ejercicio de innovación tecnológica con impacto ambiental y social, que promueve un sistema alimentario más justo, eficiente y sostenible.

5.5 Estado del arte

Los avances tecnológicos en el área logística han permitido desarrollar diversas soluciones para mitigar el desperdicio alimentario en diferentes etapas de su cadena de suministro, de las cuales se puede resaltar el uso de plataformas digitales que optimizan la gestión de inventarios y el transporte de ali-

mentos donados. Como se puede apreciar en el estudio de Papargyropoulou et al. (2019), estas tecnologías han reducido la cantidad de alimentos que se desperdician en supermercados y restaurantes rastreando en tiempo real los inventarios y priorizando los próximos a vencer. Igualmente, Remondino y Zanin (2022) señalan que la digitalización de la logística alimentaria mejora la optimización de rutas de transporte, reduciendo el desperdicio de alimentos durante su distribución y entrega.

Otro avance relevante en la reducción del desperdicio alimentario es la creación de aplicaciones móviles que facilitan la donación de excedentes alimentarios. Según un estudio de Mullick et al. (2020), aplicaciones digitales han generado un impacto positivo al conectar a consumidores con comercios que desean donar o vender, con precios reducidos, productos a punto de vencer. De otra parte, Cane y Parra (2020) mencionan que estas plataformas promueven una mayor conciencia sobre la importancia de reducir el desperdicio y generan una red de colaboración que facilita el acceso de alimentos para comunidades vulnerables.

En cuanto a soluciones más recientes, estudios como los de Tarallo et al. (2019) destacan el uso de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático para predecir la demanda de alimentos y evitar el sobreabastecimiento en los comercios minoristas. Esta tecnología ha demostrado ser efectiva en la reducción de desperdicios a través de la optimización de pedidos y la mejora en la planificación de inventarios. En sí, la IA está siendo utilizada para mejorar la gestión de residuos alimentarios al prever cuándo un producto está en riesgo de expirar (Batat, 2021) mejorando la planificación de su redistribución a bancos de alimentos o consumidores interesados. Así también, la utilización de la tecnología blockchain ha comenzado a ser implementada en la cadena de suministro alimentaria para mejorar la trazabilidad de los alimentos y asegurar su distribución eficiente (Krishna y Rekha, 2022). Estas innovaciones representan un avance significativo en la lucha contra el desperdicio de alimentos y constituyen un ejemplo de cómo las nuevas tecnologías pueden ser aprovechadas para resolver problemas complejos.

Una de las empresas líderes en la lucha contra el desperdicio alimentario es Too Good To Go, una aplicación con sede en Dinamarca que permite a los usuarios comprar excedentes de comida a precios reducidos de restaurantes y supermercados. Según Vo-Thanh (2021), esta app ha logrado rescatar más de 100 millones de comidas en Europa, reduciendo considerablemente el desperdicio alimentario. Además de su impacto en la reducción de residuos, Too

Good To Go también sensibiliza a los consumidores sobre la importancia de minimizar el desperdicio y el impacto ambiental que esto conlleva.

Otra iniciativa destacada es OLIO, una plataforma británica que conecta a vecinos y comercios locales para compartir excedentes de alimentos de manera gratuita. OLIO ha establecido una red global que permite a las personas compartir alimentos que de otro modo se desperdiciarían. De acuerdo con un estudio de Papargyropoulou et al. (2019), la app ha sido un éxito en países como el Reino Unido y España, con millones de usuarios que han contribuido a redistribuir toneladas de alimentos. Esta plataforma también colabora con grandes cadenas de supermercados para facilitar la donación de productos próximos a vencer a personas que los necesiten.

En Estados Unidos, la empresa Food Rescue US ha desarrollado una plataforma que conecta a restaurantes y supermercados con organizaciones sin fines de lucro que distribuyen alimentos a personas en situación de vulnerabilidad. Según Espejo (2020), esta plataforma ha rescatado millones de libras de alimentos y ha fortalecido las redes de apoyo comunitarias en más de 40 ciudades. Al utilizar voluntarios para recoger y distribuir los alimentos, Food Rescue US reduce los costos operativos y maximiza el impacto social y ambiental de sus operaciones.

En Latinoamérica, la app Nilus ha logrado un impacto considerable en la lucha contra el desperdicio alimentario, particularmente en Argentina y México. Nilus utiliza un modelo de logística colaborativa para recoger alimentos excedentes de comercios y distribuidores y entregarlos a comunidades vulnerables (Dol et al., 2017). A través de la tecnología de geolocalización, optimiza las rutas de entrega y garantiza que los alimentos lleguen frescos a su destino. Nilus ha rescatado más de 2,000 toneladas de alimentos y ha beneficiado a miles de familias en situación de vulnerabilidad, contribuyendo a mejorar la seguridad alimentaria en la región.

Uno de los competidores directos de la app propuesta es Too Good To Go, que ya opera en más de 15 países, incluidos varios en Europa y América del Norte. Esta aplicación ofrece a los usuarios la posibilidad de adquirir alimentos a punto de caducar a precios muy reducidos. Su enfoque en la conexión entre restaurantes y consumidores finales para evitar el desperdicio de alimentos le da una ventaja competitiva al crear un sistema sostenible basado en la compraventa de excedentes (Vo-Thanh et al., 2021). Aunque su enfoque está en la venta de alimentos, el modelo de gestión de inventarios y optimización de recursos es similar al de la app que se propone.

OLIO también representa un competidor importante, especialmente en mercados como el Reino Unido, donde ha logrado una fuerte presencia. OLIO permite la redistribución gratuita de alimentos excedentes entre vecinos y pequeños comercios, generando una comunidad de colaboración que evita el desperdicio. Según Papargyropoulou et al. (2019), OLIO tiene una estructura basada en la economía colaborativa, lo que la convierte en una plataforma eficiente para el intercambio de alimentos. La diferencia clave con la app propuesta es que OLIO se centra en la redistribución a nivel local y no integra la logística de transporte a gran escala.

Por su parte, en Colombia, una de las iniciativas más destacadas en la lucha contra el desperdicio alimentario es EatCloud, una plataforma digital que conecta a restaurantes, supermercados y otros generadores de alimentos con bancos de alimentos y organizaciones sociales. EatCloud utiliza tecnología avanzada de inteligencia artificial y big data para optimizar la distribución de excedentes alimentarios, mejorando la eficiencia de las donaciones y reduciendo el desperdicio. Según la Fundación Éxito (2021), EatCloud ha logrado rescatar más de 10.000 toneladas de alimentos en Colombia, distribuyéndolos a comunidades vulnerables y contribuyendo a la reducción del hambre en el país.

Otro ejemplo relevante en Colombia es Cívico, una plataforma que originalmente se centraba en ofrecer información sobre servicios locales, pero que ha evolucionado para incluir la redistribución de alimentos a través de la función de economía colaborativa. A través de su red, Cívico permite que negocios pequeños y supermercados donen alimentos próximos a caducar a personas o instituciones que los necesitan, fomentando la participación ciudadana y reduciendo los desperdicios. Aunque Cívico tiene un enfoque más amplio, su impacto en la reducción del desperdicio alimentario ha sido significativo, especialmente en grandes ciudades como Bogotá.

Cada una de estas iniciativas demuestran que en Colombia ya se están tomando medidas innovadoras para combatir el desperdicio alimentario, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y generando un impacto tanto social como ambiental, todo ello como producto de la articulación entre actores clave para el desarrollo socioeconómico como las universidades, empresa, Estado (Amar et al., 2016 y Martínez-Torres et al., 2017). No obstante, hay una oportunidad de integrar más herramientas tecnológicas, como las propuestas en la app FoodLink, para mejorar la colaboración y optimización de recursos a nivel nacional.

Las apps y la tecnología están ayudando a que menos comida se desperdicie en el mundo. Plataformas como Too Good To Go y OLIO conectan a tiendas y restaurantes con personas que quieren aprovechar los alimentos que se iban a tirar, evitando que se pierdan. En Colombia, apps como EatCloud y Cívico hacen algo similar, rescatando toneladas de comida y llevándolas a quienes más lo necesitan. Con una nueva app llamada FoodLink, se busca mejorar aún más este sistema, usando tecnología para que la comida llegue a donde se necesita de manera más rápida y eficiente. Así, todos ganamos: el planeta, las personas que tienen hambre y las empresas que evitan perder dinero.

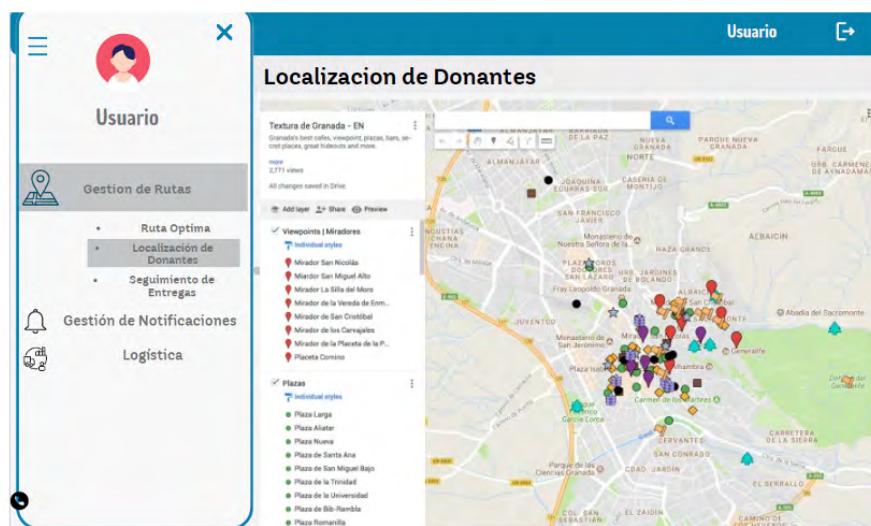
5.6 La solución

La solución a este reto consiste en una aplicación de gestión y logística para la recolección de alimentos, conectando actores clave en el proceso de distribución, esta propuesta se diferencia de las existentes al integrar en un solo lugar la gestión de donaciones, optimización logística e impacto social y ambiental, maximizando la eficiencia de la cadena de suministro alimentaria.

La combinación de tecnología avanzada, un modelo de donación adaptable y un enfoque en RSE hace que esta solución sea capaz de reducir el desperdicio de alimentos y contribuir a combatir el hambre de manera eficiente, escalable y sostenible.

Figura1.

Interfaz de la aplicación móvil.



La app permite a los donantes publicar los alimentos disponibles, a los bancos de alimentos gestionar sus necesidades, y a los transportistas coordinar la logística de entrega de manera eficiente y en tiempo real, asegurando que los alimentos lleguen a comunidades vulnerables, como se aprecia en la ilustración 1.

La app se desarrollará para dispositivos móviles y los actores involucrados podrán registrar su perfil, contará con: geolocalización para optimización de rutas mostrando las ubicaciones de donantes y bancos de alimentos en tiempo real reduciendo el tiempo y costo de transporte (Perdana et al., 2023); sistema de notificación, que dará alerta automática sobre nuevas donaciones con fecha de vencimiento y solicitudes de los bancos de alimentos, priorizando la rotación de alimentos más cercanos a vencer; con chat interno para facilitar la comunicación entre los actores claves; con función de asignación de distribución y logística el sistema puede sugerir automáticamente transportistas disponibles; cada donación realizada puede tener un seguimiento de su estado y confirmación de entrega.

5.6.1 Componentes de la solución

A continuación, se describen los componentes que caracterizan al prototipo de la aplicación base:

Articulación de actores clave: Si bien es cierto una cadena de suministro normal integra a ciertos actores del sector alimentos que son clave dentro de esta solución, es importante entender que dichos actores deben encontrar un beneficio para integrarse en esta iniciativa (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022) al mismo tiempo que se genera un impacto de tipo social, de allí que lograr alianzas estratégicas, y procesos de colaboración y articulación con diferentes actores es vital para el desarrollo de la solución y su implementación.

Interfaz para Actores Clave: En la app se podrá encontrar un panel de control donde unifica la información de cada actor (donantes, bancos de alimentos y transportistas), sin embargo, la función y datos relevantes varían según el rol, facilitando la adopción y aumentando la eficiencia del sistema (Narayana, 2021). la plataforma gozaría de una interfaz amigable de fácil apropiación y que utilice herramientas que hagan que la experiencia de usuario sea ideal (Martínez-Torres, y Callejas-Porto, 2022), incluso explorando funcionalidades gamificadas (Martínez-Torres, 2022) que favorezcan el uso y consumo de la herramienta.

Mejora continua e innovación: como toda solución tecnológica la herramienta debe contemplar una cultura basada en la innovación (Martínez-Torres y Martínez-Torres, 2022), en la que se generen cambios orientados a la mejora de la experiencia de los diferentes tipos de usuarios, de allí que la colaboración y articulación con esos actores clave sea fundamental en el desarrollo de mejoras (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022) y avances sobre la solución inicial en términos de producto mínimo viable (MVP). En este sentido los donantes, los bancos de alimentos (receptores de donaciones) y los transportistas como canal de distribución de las donaciones representan figuras esenciales para materializar la solución propuesta y para dar respuesta al reto planteado.

Interfaz especializada para el Actor “donantes” (restaurantes, supermercados): la app permite gestionar sus excedentes alimentarios de forma rápida y eficiente, pueden publicar los alimentos disponibles en tiempo real, lo que activa las notificaciones automáticas para que los bancos de alimentos y transportistas puedan coordinar la recolección y distribución. Esto reduce el desperdicio, y mejora la imagen pública de las empresas, que se benefician de incentivos fiscales y de marketing al adoptar prácticas socialmente responsables (Zhao, 2023).

Interfaz especializada para el Actor “bancos de alimentos”: Utilizan la app para gestionar sus inventarios y recibir notificaciones sobre donaciones cercanas. Gracias a la geolocalización pueden identificar las mejores rutas para maximizar la eficiencia de las entregas y asegurar que los alimentos lleguen a las comunidades vulnerables antes de su vencimiento. Lo anterior se vuelve indispensable en un contexto donde la demanda supera la oferta, y la capacidad de los bancos de alimentos para responder a emergencias alimentarias es limitada (Tarasuk et al., 2014).

Interfaz especializada para el Actor “transportistas”: Ellos desempeñan un papel esencial en la logística de la recolección y entrega de alimentos. A través de la aplicación, pueden acceder a información en tiempo real sobre las rutas más eficientes, optimizando así el uso de sus recursos y reduciendo la huella de carbono de sus operaciones. Según Gharehgozli et al. (2017), el transporte representa uno de los mayores desafíos logísticos en la cadena alimentaria, y una mejor gestión de las rutas puede reducir las emisiones hasta en un 20%.

Geolocalización y Optimización de Rutas: El servicio de geolocalización facilita la identificación de la ubicación de cada actor en tiempo real y calcula las rutas óptimas en pro de la reducción de costos y tiempos (Brito et al., 2024).

Este proceso tiene en cuenta factores como distancias, tráfico y urgencia de la donación, tal como se aprecia en la ilustración 2, lo que garantiza que los alimentos lleguen en condiciones adecuadas y con la mayor rapidez posible.

Figura 2.
Geolocalización y Optimización de Rutas.

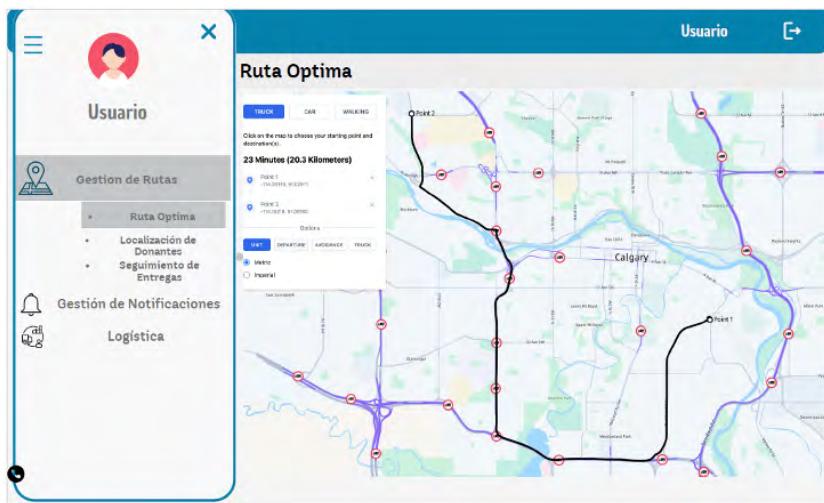
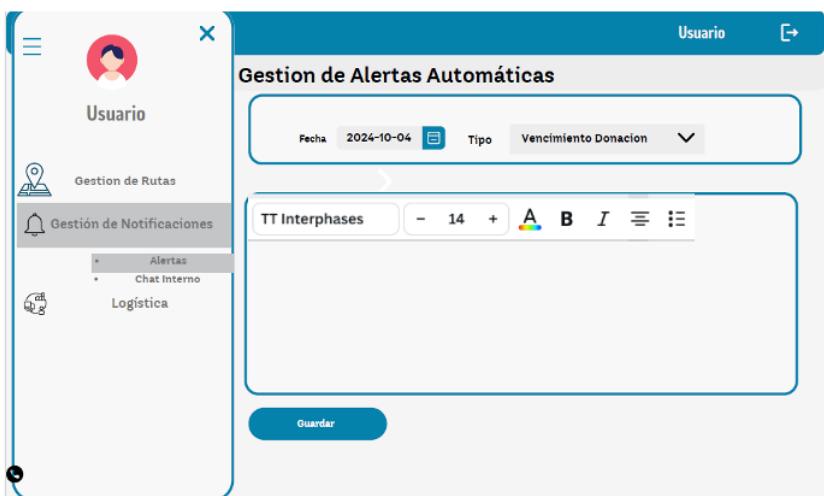


Figura 3.
Sistema de Notificaciones



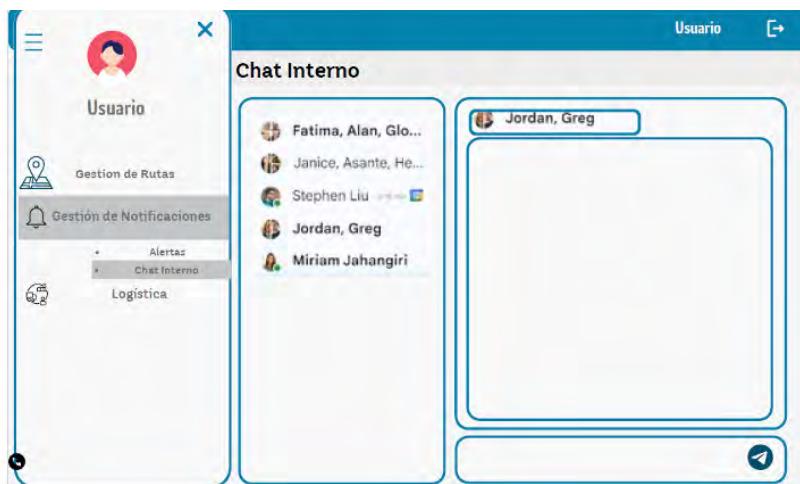
Sistema de Notificaciones: Se cuenta con un sistema de alertas automáticas que informa a los usuarios sobre nuevas donaciones, fechas de vencimiento

próximas y solicitudes pendientes, posibilitando una respuesta oportuna ante la disponibilidad de excedentes o la necesidad inmediata de productos (Magalhaes et al., 2023). Con ello, se prioriza la rotación de alimentos cercanos a expirar, maximizando el aprovechamiento de los recursos y minimizando el desperdicio, la ilustración 3 muestra cómo se ve este sistema.

Chat Interno: La plataforma incorpora un chat interno que facilita la comunicación en tiempo real entre los distintos actores. Esta herramienta se puede observar en la ilustración 4, está diseñada para ajustar cantidades, horarios y condiciones de entrega, reduciendo errores y fomentando la colaboración y transparencia en todo el proceso de redistribución de alimentos. Según Vernier et al. (2021), la comunicación fluida en la cadena de suministro es clave para evitar pérdidas de alimentos debido a la falta de coordinación.

Figura 4.

Chat Interno de la app



Asignación de Distribución Automática: Basados en la ubicación, disponibilidad y capacidad de carga, se realiza la asignación de transportistas de forma automatizada, de manera que se optimicen los desplazamientos y demoras innecesarias (Ganji et al., 2020). Esta funcionalidad agiliza la cadena logística, permitiendo una respuesta rápida ante donaciones urgentes y un mejor aprovechamiento de los recursos humanos y materiales involucrados.

Seguimiento de Donaciones: El seguimiento es una función que registra cada etapa de la donación, desde la publicación del excedente hasta la entrega en el banco de alimentos o comunidad beneficiaria (Manogna et al., 2021). A través

de un estado visible (pendiente, en curso, entregado), todos los participantes pueden monitorear el progreso de los envíos, reforzando la confiabilidad del sistema, la trazabilidad de los productos y la evaluación del impacto social y ambiental. En la siguiente ilustración se puede evidenciar un ejemplo de seguimiento.

Figura 5.
Seguimiento de donaciones



5.7 Innovación

La innovación es el poder de crear, adoptar y extender soluciones inéditas capaces de generar valor y responder a desafíos emergentes en la sociedad (Tidd y Bessant, 2020). En esta línea, las aplicaciones o plataformas digitales representan un tipo de innovación específico que establece ambientes de interacción y colaboración entre múltiples actores, permitiendo el intercambio de datos y optimización de recursos (Yablonsky, 2018). Por tal motivo, estas plataformas reconfiguran procesos tradicionales, en cambios sistémicos y automatizados en el sector económico en el que se aplica, por medio de la combinación de tecnología avanzada y un diseño centrado en el usuario.

Dentro de este contexto, la implementación de una aplicación digital que facilite la gestión y distribución de alimentos representa una propuesta innovadora al conectar y optimizar la colaboración entre varios actores (Del Río et al., 2019). Esto se da a través de funciones de interacción integradas en un ecosistema eficiente y digitalizado, superando las limitaciones de coordinación que generan altos niveles de desperdicio alimentario (Haas et al., 2022).

Es importante resaltar que, actualmente, los procesos de distribución están desorganizados y son ejecutados manualmente. En este sentido, Vandana et al. (2024) indican que una cadena de suministro eficiente debe emplear la adopción de soluciones digitales para la sincronización de datos en tiempo real y optimización de rutas.

Asimismo, la aplicación destaca la inclusión de notificaciones automáticas y asignación inteligente de transportistas promoviendo la trazabilidad y transparencia de los procesos (Brito et al., 2024), lo que facilita la resiliencia del sistema frente a la inseguridad alimentaria y las demandas ambientales. Por consiguiente, todas las funciones que integra la aplicación hacen de esta una innovación oportuna al desafío presentado.

5.8 Impacto de la solución

La solución está encaminada a generar un impacto en el ámbito ambiental que se espera de la reducción del desperdicio y las emisiones de gases de efecto invernadero y, como consecuencia, la disminución de la huella de carbono. Por su parte, el impacto social esperado se proyecta hacia la promoción de una sociedad más sostenible y preocupada por la redistribución de alimentos a poblaciones vulnerables y con dificultades de acceso a estos. Mientras que, la puesta en marcha de la aplicación se dirige a la optimización de los recursos alimentarios, dando como resultado eficiencia económica. Impulsar las prácticas propuestas en la cadena de suministro y la inclusión social proyectada, apunta directamente ODS 2, Hambre Cero; 12, Producción y Consumo Responsables; y 13, Acción por el Clima.

En concreto, la solución propuesta apunta a la sustentabilidad ambiental directamente con la reducción del desperdicio alimentario, una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, se ha comprobado que el desperdicio de alimentos genera entre el 8 y 10% de las emisiones mundiales de estos gases (UNEP, 2021); por lo que, al evitar que grandes cantidades de alimentos terminen en los vertederos y reducir el consumo de hidrocarburos con transporte innecesario, la aplicación facilita la disminución considerablemente de las emisiones de CO₂, alineándose con el ODS 13 relacionados con la acción climática.

Igualmente, con el uso de la geolocalización, se busca optimizar las rutas de distribución (recogida y entrega de alimentos), la huella de carbono del transporte de alimentos, así como también facilitar el uso eficiente de los recursos,

es decir, se ejerce menor presión sobre los recursos naturales, al evitar que grandes volúmenes de alimentos aptos para el consumo no logren ser consumidos, lo que maximiza el aprovechamiento de los mismos antes de su vencimiento. Por consiguiente, se impulsa una práctica sostenible a largo plazo que alinea la tecnología con objetivos de desarrollo ambiental.

La propuesta presenta un impacto social al momento de responder a una necesidad urgente: el desperdicio de alimentos y el hambre (Ishangulyyev et al., 2019). Cuando se pensó en conectar restaurantes, supermercados, bancos de alimentos y transportistas, se buscó crear un espacio que fortaleciera la colaboración y solidaridad comunitaria, redistribuyendo los recursos que se encuentran detenidos entre la brecha de poblaciones con abundancia de excedentes y la escasez en áreas marginadas (Purnomo et al., 2014); preocupación que evidencia la FAO (2022), cuando indica que el 6.4% de la población en América Latina vive en situación de hambre crónica.

Es así como, se espera que la implementación de esta solución coadyuve a reducir dicha cifra y que a largo plazo mejore la seguridad alimentaria del continente, desaparezca el hambre, mientras se fortalece el tejido social y empresarial involucrado, es decir, que con la participación activa de los actores se establezcan bases sólidas de confianza, cooperación y comunicación permanente que aumente el sentido de responsabilidad compartida y cohesión comunitaria (Diallo et al., 2005; Khaile et al., 2022). De esta forma, la iniciativa sienta las bases para relaciones más equitativas y duraderas en el entorno social.

Por otro lado, a nivel empresarial, las empresas donantes pueden apreciar un valor social agregado al tener la garantía de realizar donaciones eficientes como cuota de actividades de responsabilidad social corporativa, contribuir a construir comunidades más equitativas e inclusivas, y entre tanto, prácticas sostenibles a largo plazo (Brito et al., 2024; Martínez-Torres et al., 2019).

La Aplicación propone una solución eficiente y digitalizada que reduce costos económicos asociados con la mala gestión de la cadena de suministro que lleva al desperdicio de alimentos, estos costos se desarrollan en términos de los costos de la logística de donaciones y coordinación de la distribución con los transportistas, por consiguiente, en costos de almacenamiento y transporte de excedentes.

Por su parte, la implementación de la Aplicación no requiere grandes inversiones iniciales, pues puede operar bajo acuerdos con los donantes que tienen su

propia flota de transporte que podrían destinar un porcentaje de su capacidad para trasladar los alimentos donados. A cambio, las empresas ganan beneficios fiscales e incentivos de marketing, mejorando su imagen ante la comunidad. El estudio realizado por Zhao (2023), muestra que las empresas que implementan soluciones de responsabilidad social empresarial (RSE) como la donación de alimentos, experimentan beneficios fiscales y mejoras en su reputación, sentando las bases para un aumento de ingresos a largo plazo.

Así también, la reducción de costos asociados con el desperdicio y la mejora en la eficiencia logística ayudan a mitigar las pérdidas económicas en el sector gastronómico y de supermercados, que a nivel global puntúan millones de dólares por la deficiente gestión de los excedentes (Hanis y Fernando, 2024). Por lo que, la solución anteriormente expuesta es presupuestariamente abordable, beneficiando tanto a donantes como a la comunidad, al reducir costos operativos a largo plazo.

5.9 Conclusiones

La solución propuesta constituye una plataforma digital que integra los actores claves de la cadena de suministro alimentario en un solo lugar, como solución innovadora al desafío del desperdicio de alimentos y la derivación de implicaciones asociadas al bienestar social, sostenibilidad y fortalecimiento comunitario. La propuesta demuestra la influencia de la tecnología en la resolución de problemáticas complejas (Castro et al., 2016). Muchas de las cuales se describen en los indicadores de los objetivos del desarrollo sostenible, particularmente los relacionados con el hambre cero, el consumo responsable y la acción climática.

Partiendo de los puntos críticos del problema, se entiende que la implementación de funciones como la geolocalización, notificaciones automáticas, y asignación inteligente de recursos optimiza la logística de recolección y distribución de alimentos (donaciones), de igual manera maximiza el aprovechamiento de recursos, reduce los tiempos de respuesta y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte y a la descomposición de alimentos en los vertederos.

Los impactos colaterales que se derivan de la optimización de la cadena de valor, conlleva un aporte al cierre de la brecha entre el exceso de alimentos generados en el sector comercial y las necesidades alimentarias de poblaciones vulnerables con gran dificultad de acceso a alimentos; ya que, la colaboración

eficiente entre supermercados, restaurantes, bancos de alimentos y transportistas, facilita las bases para crear un ecosistema de solidaridad que fortalece el tejido social. Es por ello que este modelo responde a la urgente necesidad de redistribuir alimentos y establece las bases para una sociedad más equitativa, donde la responsabilidad compartida se traduce en beneficios tangibles para todos los involucrados.

Entre otras cosas, representa una solución rentable y sostenible para las empresas donantes, quienes pueden tener la oportunidad de integrar la responsabilidad social empresarial a sus operaciones diarias (Martínez-Torres et al., 2019). De esta forma, mejoran su imagen pública, accediendo a beneficios fiscales y económicos al minimizar los costos por almacenamiento y disposición de residuos, lo que refuerza la idea de que la sostenibilidad puede ser económicamente viable al estar acompañada de estrategias tecnológicas.

Por otro lado, es relevante dejar por sentado que la implementación de este tipo de soluciones requiere de inversión tecnológica y de un importante cambio cultural que promueva la colaboración activa deseada entre los diferentes actores de la cadena alimentaria. Así también, hay que reconocer que se necesita el respaldo de políticas públicas que soporten estas estrategias a largo plazo. Por lo anterior, esta propuesta tiene el potencial de ser un modelo replicable en todo Latinoamérica y el mundo, buscando brindar un futuro más sostenible, equitativo y resiliente, demostrando que el cambio sistémico es posible cuando se combinan innovación, compromiso y acción colectiva.

5.10 Reconocimiento y agradecimientos

Este capítulo busca exaltar el compromiso y la dedicación del equipo de estudiantes, docentes e investigadores que hicieron posible esta iniciativa. Conformado por Jeferson Pérez Barraza, Oryelis Pérez Dimas, Jesús David Echavarría Villa, Johanna Carolina Martínez Juvene, Libnazaret Betancourt Rodríguez, Kedyn Nadin Guzmán Peñaranda, Luis Carlos Borrero Vengoechea y Diego Mauricio Duarte Rey, este grupo fue clave en la materialización de la propuesta destacada en estas páginas, desarrollada en el marco del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana.

5.11 Bibliografía

- Acevedo-Chedid, J., Soto, M. C., Ospina-Mateus, H., Salas-Navarro, K., y Sana, S. S. (2023). An optimization model for routing—location of vehicles with time windows and cross-docking structures in a sustainable supply chain of perishable foods. *Operations management research*, 16(4), 1742-1765.
- Alghababsheh, M., y Gallear, D. (2020). Gestión de la cadena de suministro socialmente sostenible y desempeño social de los proveedores: el papel del capital social. *Journal of Business Ethics*, 173, 855-875. <https://doi.org/10.1007/s10551-020-04525-1>
- Amar, P., Martínez-Torres, D.C., Castañeda, J. y Alvarez, R. (2016). La Ciencia, Tecnología e Innovación en el Caribe Colombiano: Una revisión de su situación actual y perspectivas en el corto plazo. En Nosotros Los Del Caribe. (1ra. ed., p. 201-234). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Bosona, T., y Gebresenbet, G. (2011). Cluster building and logistics network integration of local food supply chain. *Biosystems Engineering*, 108, 293-302. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2011.01.001>
- Brinkley, C. (2017). Visualización de la inserción social y geográfica de los sistemas alimentarios locales. *Journal of Rural Studies*, 54, 314-325. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2017.06.023>
- Brito, M., Cerqueira, E., y Rosário, D. (2024). Personalized Route Selection Methods in an Urban Computing Scenario. *Anais do XXXVII Concurso de Teses e Dissertações (CTD 2024)*.
- Burt, R. (2000). La estructura de red del capital social. *Investigación en comportamiento organizacional*, 22, 345-423. [https://doi.org/10.1016/S0191-3085\(00\)22009-1](https://doi.org/10.1016/S0191-3085(00)22009-1) .).
- Cakar, B., Aydin, S., Varank, G., y Ozcan, H. (2020). Assessment of environmental impact of FOOD waste in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118846>
- Cane, M., y Parra, C. (2020). Plataformas digitales: mapeando el territorio de las nuevas tecnologías para combatir el desperdicio de alimentos. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/bfj-06-2019-0391>

- Castro Porto, M. P., Martínez-Torres, D. C., y Mola Ávila, J. A. (2016). Efecto de la inversión en capital tecnológico sobre la productividad de las empresas en el departamento de Bolívar. *Economía & Región*, 10(2), 45-73.
- Crowe, J., Lacy, C., y Columbus, Y. (2018). Barriers to Food Security and Community Stress in an Urban Food Desert. *Urban Science*, 2(2), 46. <https://doi.org/10.3390/urbansci2020046>
- De Grave, R., Bull, C., De Souza Monteiro, D., Margariti, E., Mcmurchy, G., Hutchinson, J., y Smeddinck, J. (2023). Smartphone Apps for Food Purchase Choices: Scoping Review of Designs, Opportunities, and Challenges. *Journal of Medical Internet Research*, 26. <https://doi.org/10.2196/45904>
- Del Río Cortina, J. L., De la Hoz del Villar, R. C., Martínez Torres, J. C., y Garcés Pedrozo, L. E. (2019). La asociatividad como elemento integrador de una agroindustria dinámica y competitiva. En *Asociatividad apuesta para el fortalecimiento de la competitividad de la agroindustria en el departamento de Sucre* (1st ed., pp. 67–91). CECAR.
- Diallo, A., y Thuillier, D. (2005). The success of international development projects, trust and communication: an African perspective. *International Journal of Project Management*, 23, 237-252. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2004.10.002>
- Dol, H., Casari, P., van der Zwan, T. y Otnes, R. (2017). “Software-Defined Underwater Acoustic Modems: Historical Review and the NILUS Approach,” in *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 42, no. 3, pp. 722-737, doi: 10.1109/JOE.2016.2598412
- Durán-Sandoval, D., Durán-Romero, G., y Uleri, F. (2023). How Much Food Loss and Waste Do Countries with Problems with Food Security Generate? *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050966>
- FAO. (2020). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org
- FAO. (2021). El estado del desperdicio de alimentos en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. www.fao.org

Freeman, R., Phillipson, J., Gorton, M. y Tocco, B. (2023). Capital social y cadenas cortas de suministro de alimentos: evidencia de los grupos de acción local de la pesca. *Sociologia Ruralis* . <https://doi.org/10.1111/soru.12455>

Fundación Éxito (2021)

Ganji, M., Kazemipoor, H., Molana, S., y Sajadi, S. (2020). A green multi-objective integrated scheduling of production and distribution with heterogeneous fleet vehicle routing and time windows. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120824. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120824>

Gharehgozli, A., Iakovou, E., Chang, Y., y Swaney, R. (2017). Trends in global E-food supply chain and implications for transport: literature review and research directions. *Research in transportation business and management*, 25, 2-14. <https://doi.org/10.1016/J.RTBM.2017.10.002>.

Glowacki-Dudka, M., Murray, J., e Isaacs, K. (2013). Análisis del capital social en un sistema alimentario local. *Community Development Journal*, 48, 75-88. <https://doi.org/10.1093/CDJ/BSS007>

Granillo-Macías, R. (2020). Logistics optimization through a social approach for food distribution. *Socio-economic Planning Sciences*, 100972. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100972>

Haas, R., Aşan, H., Doğan, O., Michalek, C., Akkan, Ö., y Bulut, Z. (2022). Diseño e implementación de la aplicación MySusCof: una aplicación móvil para apoyar la reducción del desperdicio de alimentos. *Foods*, 11. <https://doi.org/10.3390/foods11152222>

Hanis, M., y Fernando, Y. (2024). SMART LOGISTICS SOLUTIONS FOR REDUCING FOOD WASTE: A CASE OF D NIPAH CATERING. *International Journal of Industrial Management*. <https://doi.org/10.15282/ijim.18.1.2024.10404>

Ishangulyyev, R., Kim, S. y Lee, S. (2019). Entender la pérdida y el desperdicio de alimentos: ¿por qué estamos perdiendo y desperdiciando alimentos? *Foods*, 8. <https://doi.org/10.3390/foods8080297>

Karki, S., Bennett, A. y Mishra, J. (2020). Reducing food waste and food insecurity in the UK: The architecture of surplus food distribution supply chain

- in addressing the sustainable development goals (Goal 2 and Goal 12.3) at a city level. *Industrial Marketing Management*. Volume 93, February 2021, Pages 563-577. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.09.019>
- Kayikci, Y., Kazançoğlu, Y., Gozacan-Chase, N., y Lafçı, Ç. (2022). Analyzing the drivers of smart sustainable circular supply chain for sustainable development goals through stakeholder theory. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3087>
- Keating, A. (2013). Food Security in Australia: The Logistics of Vulnerability. In: Farmar-Bowers, Q., Higgins, V., Millar, J. (eds) *Food Security in Australia*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4484-8_2
- Khaile, F., Roman, N., October, K., Van Staden, M., y Balogun, T. (2022). Perceptions of Trust in the Context of Social Cohesion in Selected Rural Communities of South Africa. *Social Sciences*. <https://doi.org/10.3390/socsci11080359>
- Kibler, K., Reinhart, D., Hawkins, C., Motlagh, A., y Wright, J. (2018). Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste management alternatives. *Waste management*, 74, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.014>
- Kohli, K., Prajapati, R., Shah, R., Dasd, M., y Sharma, B. (2024) Food waste: environmental impact and possible solutions. *Sustainable Food Technology*, 2. 70-80. DOI: 10.1039/d3fb00141e
- Krishna, S. y Rekha, P. (2022). Sistema de trazabilidad de la cadena de suministro de alimentos mediante tecnología blockchain. 2022 8.^a Conferencia internacional sobre procesamiento de señales y comunicación (ICSC), 370-375. <https://doi.org/10.1109/ICSC56524.2022.10009418>
- Kush, Y., Tonkoshkur, M., Vakulenko, K., Ryabev, A., Davidich, N., y Galkin, A. (2020). The efficiency of food supply chain engineering (case study in Ukraine). *Archives of Transport*, 55, 51-71. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.4222>
- Liu, H., He, G., R., y Fu, S. (2023). El impacto del capital social en el desempeño de la cadena de suministro socialmente responsable: el papel moderador de la transparencia de la cadena de suministro. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12030520>

org/10.3390/foods12193624

Lu, W., y Hampton, K. (2017). Beyond the power of networks: Differentiating network structure from social media affordances for perceived social support. *New Media y Society*, 19, 861 - 879. <https://doi.org/10.1177/1461444815621514>.

Lummus, R., y Vokurka, R. (1999). Definición de gestión de la cadena de suministro: una perspectiva histórica y directrices prácticas. *Gestión industrial y sistemas de datos*, 99, 11-17. <https://doi.org/10.1108/02635579910243851>

Magalhaes, V., Murtha, L., Pinheiro, Y., Danyi, S., y Lima, D. (2023). Smart Notifications – An ML-based Framework to Boost User Engagement. *Proceedings of the 29th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*. <https://doi.org/10.1145/3617023.3617053>

Manogna, T., Akhileshwar, H., Menaka, G., Ramji, B., y Student, B. (2021). Mobile Application for Food Donation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.35171>

Margallo, M., Ziegler-Rodríguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., y Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *The Science of the total environment*, 689, 1255-1275. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.06.393>.

Martínez-Torres, D. C., y Callejas-Porto, M. (2022). Tendencias de innovación en educación virtual: caso de estudio de aprendizaje virtual. En *AMBIENTES VIRTUALES DE APRENDIZAJE: nuevos retos de la educación superior* (1st ed., pp. 107–138). Universidad del Magdalena.

Martínez-Torres, D.C., Miranda-Redondo, R., Amar, P., Rodríguez, I., Quintero, V. y Melamed, E. (2017). Dinámicas de innovación y relacionamiento Universidad-Empresa-Estado para el desarrollo de turismo de negocios. En *Turismo Corporativo y TIC: Una puerta a la competitividad*. (1ra. ed., p. 150-171). Ediciones Universidad Simón Bolívar.

Martínez-Torres, J. C. (2022). La gamificación como estrategia de innovación en procesos de educación superior. En *AMBIENTES VIRTUALES*

- DE APRENDIZAJE: nuevos retos de la educación superior (1st ed., pp. 55–105). Universidad del Magdalena.
- Martínez-Torres, J. C. (2022). La gamificación como estrategia de innovación en procesos de educación superior. En AMBIENTES VIRTUALES DE APRENDIZAJE: nuevos retos de la educación superior (1st ed., pp. 55–105). Universidad del Magdalena.
- Martínez-Torres, J. C., Martínez-Torres, D. C., y Miranda-Redondo, R. (2019). La estrategia de integración Stakeholders en la responsabilidad social empresarial: oportunidades en la generación de procesos de innovación. En Fundamentos teóricos de la responsabilidad social. Una mirada organizacional (1st ed., pp. 99–124). Universidad Simon Bolivar.
- Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2022). Cultura corporativa orientada a la innovación: un análisis del contexto empresarial colombiano. En Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos de la administración (1st ed., pp. 9–36). Universidad del Valle de Puebla.
- Martínez-Torres, J. C., y Vega-Jurado, J. (2022). El impacto de los agentes intermediarios en el proceso de cooperación para innovar: el papel moderador del tamaño de la empresa. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 2-16.
- Mejjad, N., Moustakim, M., y Aouidi, S. (2023). Tourism-Related Food Waste: Opportunities and Challenges. *Foods* 2023. <https://doi.org/10.3390/foods2023-15080>
- Mullick, S., Raassens, N., Haans, H. y Nijssen, E. (2020). Reducción del desperdicio de alimentos a través de plataformas digitales: una cuantificación de los efectos de red transversales. *Gestión de marketing industrial*. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.09.021>
- Narayana, V. (2021). Enhancing Digital Interfaces: A Comprehensive Strategy for UI / UX Improvement, User Engagement, and Operational Efficiency. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. <https://doi.org/10.21275/sr24422133910>
- Nguyen, H., Yang, Y. y Onofrei, G. (2024). Innovación en las cadenas de suministro de procesamiento de alimentos: el papel del desarrollo del capital social y cognitivo. Conferencia europea sobre gestión del conocimiento.

- <https://doi.org/10.34190/eckm.25.1.2562>
- Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslarić, M., Mircetic, D., y Bojic, S. (2021). Reducing Food Waste in the Retail Supply Chains by Improving Efficiency of Logistics Operations. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13126511>.
- Nosratabadi, S., Khazami, N., Abdallah, M., Lackner, Z., Band, S., Mosavi, A. y Mako, C. (2020). Contribuciones del capital social a la seguridad alimentaria: una revisión exhaustiva de la literatura. *Foods*, 9. <https://doi.org/10.3390/foods9111650>
- Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N., y Ujang, Z. (2019). The food waste hierarchy as a framework for the sustainable management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.020>
- Perdana, S., Prabowo, P., Widiati, I., Agustin, T., Amikom, S., S., Blackbox, P. y Geolokasi, S. (2023). Testing a Web-Based Food Ordering System with the Application of Geolocation. *Formosa Journal of Applied Sciences*. <https://doi.org/10.55927/fjas.v2i6.4504>.
- Pettman, T. L., Pontifex, K., Williams, C. P., Wildgoose, D., Dent, C., Fairbrother, G., Chapman, J., Spreckley, R., Goodwin-Smith, I., y Bogomolova, S. (2024). Part Discount Grocer, Part Social Connection: Defining Elements of Social Supermarkets. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly*, 53(5), 1306-1328. <https://doi.org/10.1177/08997640231210463>
- Purnomo, D., Susilowati, I., y Sugiyanto, F. (2014). Mapping Food Availability and Food Scarcity in Migrants Hometown. *Economic Journal of Emerging Markets*, 6, 96-105. <https://doi.org/10.20885/ejem.vol6.iss2.art3>
- Remondino, M., y Zanin, A. (2022). Logistics and Agri-Food: Digitization to Increase Competitive Advantage and Sustainability. Literature Review and the Case of Italy. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14020787>.
- Scholz, K., Eriksson, M. y Strid, I. (2015). Huella de carbono de los residuos alimentarios de los supermercados. *Resources Conservation and Recycling*, 94, 56-65. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.11.016>
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J., Haijema, R., y Vorst, J. (2015). Modeling an

- Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. International Journal of Production Economics, 164, 118-133. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.03.008>.
- Storberg, J. (2002). The Evolution of Capital Theory: A Critique of a Theory of Social Capital and Implications for HRD. *Human Resource Development Review*, 1(4), 468-499. <https://doi.org/10.1177/1534484302238437>
- Tamasiga, P., Miri, T., Onyeaka, H., y Hart, A. (2022). Food Waste and Circular Economy: Challenges and Opportunities. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14169896>.
- Tarallo, E., Akabane, G., Shimabukuro, C., Mello, J. y Amancio, D. (2019). Aprendizaje automático para predecir la demanda de bienes de consumo de rápido movimiento: una investigación exploratoria. *IFAC-PapersOnLine* . <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.203>
- Tarasuk, V., Dachner, N., Hamelin, A., Ostry, A., Williams, P., Boscke, E., Poland, B., y Raine, K. (2014). A survey of food bank operations in five Canadian cities. *BMC Public Health*, 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-1234>
- Tidd, J. y Bessant, J. (2020). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. 7th Ed. 624 pages. Wiley Online Library. ISBN: 978-1-119-71330-2
- UNEP. (2024). Food Waste Index Report 2024. Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste. ONU. ISBN: 978-92-807-4139-1. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45230>
- Vandana, V., Naveena, M., Ellaturu, N., Kumari, T., Bambuwala, S., y Rajalakshmi, M. (2024). Ai-Driven Solutions for Supply Chain Management. *Journal of Informatics Education and Research*. 4(2). ISSN: 1526-4726 <https://doi.org/10.52783/jier.v4i2.849>
- Vernier, C., Loellet, D., Thomopoulos, R., y Macombe, C. (2021). Adoption of ICTs in Agri-Food Logistics: Potential and Limitations for Supply Chain Sustainability. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13126702>
- Vieira, B., Gomes, N., Bortolosso, V., Regina, G., Cardoso, S., Moreira, R., y

- Kummel, C. (2024). Food loss and food waste research in Latin America: scoping review. *Ciencia & saude coletiva*, 29 10, e04532023. <https://doi.org/10.1590/1413-812320242910.04532023>
- Vo-Thanh, T., Zaman, M., Hasan, R., Rather, R., Lombardi, R. y Secundo, G. (2021). Cómo una aplicación móvil puede convertirse en un catalizador para un negocio social sostenible: el caso de Too Good To Go. *Previsión tecnológica y cambio social*, 171, 120962. <https://doi.org/10.1016/J.TECH-FORE.2021.120962>
- Wills, B. (2017). Eating at the limits: Barriers to the emergence of social enterprise initiatives in the Australian emergency food relief sector . *Food Policy*, 70, 62-70. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2017.06.001>
- Wunderlich, S., y Martinez, N. (2018). Conserving natural resources through food loss reduction: Production and consumption stages of the food supply chain. *International Soil and Water Conservation Research*, 6, 331-339. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2018.06.002>.
- Yablonsky, S. (2018). Un marco multidimensional para la innovación y la gestión de plataformas digitales: de las plataformas empresariales a las tecnológicas. *Investigación de sistemas y ciencia del comportamiento*. <https://doi.org/10.1002/SRES.2544>
- Zagurskiy, O., y Zhurakovska, T. (2021). Food supply transport and logistics system organizations. *Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika»*. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.053>
- Zhao, Y. (2023). Study on the Mechanism of the Role of Environmental Tax Incentives on Corporate Social Responsibility—from the Perspective of Tax Incentive Theory. *Social Security and Administration Management*. <https://doi.org/10.23977/socsm.2023.040609>.
- Zhong, R., Xu, X., y Wang, L. (2017). Food supply chain management: systems, implementations, and future research. *Ind. Manag. Data Syst.*, 117, 2085-2114. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2016-0391>
- Zola, N., Firman, F., y Ahmad, R. (2022). How social capital become energy strengthening social cohesion in a plural society? *Journal of Counseling, Education and Society*. <https://doi.org/10.29210/08jces147600>.

Capítulo 6.

FORESCAT: Modelo innovador para la gestión sostenible del agua de lluvia.

Mg. Oriana Carola Cortés Bracho²⁵

Mg. Libnazareth Betancourt Rodríguez²⁶

Mg. Miguel Ángel Charris Arteta²⁷

Andrea Carolina Prieto Royet²⁸

Martha Nazarena González Montero²⁹

Mg. Milton de la Hoz Toscano³⁰

Resumen

El proyecto FORECAT: Modelo innovador para la gestión sostenible del agua de lluvia, busca diseñar una solución eficiente para la captación, almacenamiento y distribución del agua de lluvia en comunidades rurales afectadas por la escasez hídrica. La iniciativa propone un sistema accesible y adaptable que reduce las pérdidas por filtración y evaporación, previene la proliferación de mosquitos y asegura el suministro en períodos de sequía. La metodología se basa en un enfoque sistémico que integra infraestructuras verdes y participación comunitaria para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Los componentes clave incluyen sistemas de captación eficientes, tecnologías sostenibles de almacenamiento y estrategias de distribución equitativas. Se espera que FORECAT mejore la resiliencia comunitaria frente a la crisis hídrica, promueva la seguridad hídrica y fomente el desarrollo sostenible en las regiones beneficiadas.

Palabras clave:

Captación de agua; Gestión hídrica; Infraestructuras sostenibles.

²⁵ Corporación Universitaria Americana

²⁶ Corporación Universitaria Americana

²⁷ Corporación Universitaria Americana

²⁸ Universidad Libre

²⁹ Corporación Universitaria Americana

³⁰ Corporación Universitaria Americana

6.1 Introducción

La sequía se mantiene como una de las principales amenazas para la agricultura a nivel global (Muñoz et al., 2023), intensificada por factores como el cambio climático y la ineficiente gestión hídrica (Anderson et al., 2023). Este fenómeno tiene un impacto significativo en la seguridad alimentaria global, afectando la producción agrícola y aumentando el riesgo de inseguridad alimentaria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha documentado cómo la sequía ha absorbido el 83% de los daños y pérdidas globales en la agricultura entre 2006 y 2016, poniendo en riesgo a gran parte de la población mundial (Rojas, 2021).

Estas condiciones han generado una drástica reducción en la productividad agrícola causando pérdidas significativas en la producción de cultivos como el maíz, arroz, soja y trigo. Aproximadamente tres cuartas partes de las áreas cosechadas a nivel mundial han experimentado pérdidas de rendimiento inducidas por la sequía, con pérdidas económicas acumuladas de 166 mil millones de dólares entre 1983 y 2009 (Kim et al., 2019).

Según la FAO aproximadamente el 60% de las personas en situación de pobreza extrema en Latinoamérica viven en áreas rurales y dependen en gran medida de actividades agrícolas. Esta vulnerabilidad se intensifica en un contexto donde la falta de acceso a tecnologías adecuadas para la gestión del agua y la planificación agrícola limita la capacidad de adaptación a los desafíos climáticos. Diversos estudios han demostrado que la inversión en capital tecnológico puede mejorar la productividad y generar un impacto positivo en la sostenibilidad económica de las empresas y comunidades rurales (Castro et al., 2016; Neira, 2017). La ausencia de estas inversiones en muchos sectores agrícolas ha llevado a la pérdida de cultivos y la reducción de ingresos, generando un círculo vicioso de pobreza, inseguridad alimentaria y migración forzada en busca de mejores oportunidades (Carvajal et al., 2011). La adopción de tecnologías de información en la producción agrícola podría ayudar a mitigar estos problemas, mejorando la eficiencia y promoviendo la sostenibilidad (Rea-Sánchez et al., 2015).

A nivel regional, los impactos económicos derivados de estos problemas son alarmantes. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], (2023) estima que las pérdidas económicas relacionadas con eventos climáticos extremos ascienden a más de 10.000 millones de dólares anuales en

Latinoamérica, afectando tanto a los pequeños agricultores como a las economías locales. Los efectos en la producción agrícola tienen un impacto directo en el incremento de los precios de los alimentos, lo que agrava la inseguridad alimentaria en los sectores más vulnerables.

El desafío climático plantea riesgos económicos, sociales y ambientales. Las comunidades rurales enfrentan barreras significativas para acceder a recursos que les permitan adaptarse y mitigar estos impactos (Cortes et al., 2024), lo que hace urgente la implementación de estrategias que promuevan la resiliencia climática y el desarrollo sostenible.

De acuerdo a todo lo anterior el presente capítulo se plantea como objetivo general diseñar una solución eficiente para la captación, almacenamiento y distribución del agua de lluvia en comunidades rurales afectadas por la escasez hídrica.

6.2 El desafío: microembalses.

Cada vez es más frecuente que campesinos pobres pierdan sus cosechas a causa de la irregularidad de las lluvias (Müller et al., 2023). Algunas veces la lluvia es escasa y en otras hay en exceso derivado de fenómenos naturales como huracanes o tormentas tropicales, en ambas situaciones las cosechas se pierden o el cultivo no es apropiado.

Para resolverlo, en algunos lugares las personas han creado “micropresas” que ayudan a los agricultores a captar y distribuir el agua en el campo (Chino-Calli et al., 2016; Ersado, 2005). El tamaño y la forma de dichas micropresas puede variar, sólo que, al construirlas no se consideran las características del suelo, el cual puede originar filtraciones al subsuelo, se acelere la pérdida de dicha captación de agua y esta no se pueda aprovechar en tiempo de sequía.

El desafío consiste en diseñar un elemento de captación de agua de lluvia económico y cercano a las cosechas para aprovecharla en momentos de necesidad, considerando la pérdida por filtración al subsuelo, la evaporación por el sol y la proliferación de mosquitos.

La propuesta planteada para optimizar el uso del agua en comunidades rurales de América Latina requiere un modelo asequible y adaptable a las diversas características del terreno y las variaciones climáticas de la región (Avelar et al., 2019). Es imprescindible que este modelo pueda ajustarse a condiciones

de precipitación variables, enfrentando tanto la escasez en temporadas críticas como el exceso de agua provocado por eventos climáticos extremos, como tormentas o huracanes. Para lograrlo, se deben emplear insumos accesibles y de origen local que permitan disminuir los costos sin comprometer la eficacia ni la seguridad del sistema (Recio et al., 2017). Asimismo, es crucial implementar soluciones que reduzcan las pérdidas de agua, ya sea por filtraciones o evaporación, garantizando su disponibilidad para la producción agrícola durante períodos de sequía. La viabilidad económica del sistema también es prioritaria, asegurando su adopción por parte de los agricultores con recursos limitados y fomentando su participación en el mantenimiento y mejora continua de la infraestructura, promoviendo así el desarrollo sostenible de la región (Tobías y Hernández-Pérez, 2019).

6.3 Marco teórico

La gestión sostenible del agua de lluvia se ha convertido en una práctica esencial para abordar desafíos relacionados con la disponibilidad de recursos hídricos, la mitigación de inundaciones urbanas y la promoción de prácticas ambientales responsables. A continuación, se explorará la teoría de la sostenibilidad fundamentada en la necesidad de aprovechar recursos naturales, el enfoque sistémico abordado desde las infraestructuras verdes y la teoría de la participación social destacando el rol de las comunidades en la implementación y mantenimiento de estos sistemas.

6.3.1 Principios y Enfoques de la Teoría de la Sostenibilidad en la Gestión del Agua

La sostenibilidad se ha consolidado como un enfoque que busca establecer un equilibrio entre lo económico, social y ambiental, que surgió a partir de la necesidad identificada de producir y consumir recursos sin comprometer las futuras generaciones. En el marco de la gestión del agua, estas consideraciones toman una relevancia mayor, debido a que el agua es uno de los recursos más valiosos para el planeta, la cual se utiliza en todos los aspectos donde los seres vivos tengan que realizar alguna actividad incluso el simple hecho de sobrevivir requiere su presencia (Olarte, 2020).

La recolección de agua de lluvia se presenta como un medio para evitar problema a largo plazo como la degradación y desertificación. Dicha recolección es el mecanismo por el cual se recolecta y se almacena agua pluvial en tanques o en embalses (Ortiz y Velandia, 2017). En cuanto a la calidad del agua de lluvia,

teóricamente es menos contaminada que el agua de otras fuentes de abastecimiento como la subterránea o superficial, por ello en distintos sectores del mundo esta agua lluvia luego de un proceso de desinfección no muy complejo es utilizada para beber (Gonzaga, 2015).

Hu et al. (2016) señalan que el principio de eficiencia en la gestión del agua implica maximizar el uso de los recursos hídricos para obtener el mayor beneficio económico posible, al tiempo de minimizar las pérdidas y optimizar la distribución del agua. Para lograr esta eficiencia se requiere la implementación de tecnologías avanzadas, como la economía circular y tecnología 4.0 (Silvia, 2022).

El principio de la equidad en la administración del agua hace referencia a la distribución justa de los recursos hídricos, que integran el concepto de justicia distributiva para hacer frente a la desigualdad económica y asegurar una distribución equitativa del agua (Yale et al., 2024).

Por último, se destaca el principio de adaptabilidad. Este es entendido como la capacidad para enfrentar los desafíos climáticos y la variabilidad en las disposiciones del agua. Esto va en concordancia con el estudio de Kolokytha (2022), donde afirma que la gestión integrada de cuencas hídricas y la implementación de estrategias de adaptación son vitales para mejorar la sostenibilidad del agua.

6.3.2 Enfoque Sistémico y Soluciones Basadas en Infraestructuras Verdes para la Gestión del Agua

El enfoque sistema en la gestión del agua se presenta como una integración de diversas herramientas y marcos conceptuales, como por ejemplo el marco DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses) mencionado por Apostolaki (2019) quien señala que este modelo es un marco analítico ampliamente utilizado para evaluar la gestión ambiental, incluyendo la gestión del agua, otro modelo señalado por el mismo autor es el modelo de servicios ecosistémicos. Estos marcos en su conjunto ayudan a evaluar las relaciones causa-efecto y a desarrollar programas de medidas y planes de gestión de cuencas hidrográficas que sean informados y sostenible

Se analiza este último modelo de servicio ecosistémico que incluye cuatro categorías: servicio de provisión, servicio de regulación, servicios culturales y servicio de soportes.

En primer lugar, el servicio de provisión hace referencia al suministro del agua para el consumo humano, riego y uso industriales (Grizzetti et al., 2019) estos servicios son vitales para las necesidades de agua para la población humana.

El servicio de regulación está relacionado con la purificación del agua, la regulación del clima, la protección contra inundaciones y la prevención de erosiones, estos servicios ayudan a proteger el agua y a protegerla de los impactos negativos.

Así mismo el servicio cultural como lo afirma Grizzetti et al. (2019) se conforma del conjunto de beneficios no materiales que las personas obtienen de los sistemas acuáticos, como la recreación, el valor estético y el patrimonio cultural. Lo anterior proporciona bienestar en todos los ámbitos de la vida humana.

Y, por último, se ubican los servicios de soportes que incluyen procesos ecológicos vitales como el ciclo del nutriente y la formación del suelo, que son esenciales para el funcionamiento del ecosistema acuático. Estos servicios se conciben como condiciones necesarias para mantener la biodiversidad y la salud de los ecosistemas.

6.3.3 Teoría de la Participación social en la gestión del Agua

Dentro de este apartado se destaca el rol de las comunidades como epicentro de la participación social y la conciencia que se genera en la gestión eficiente del agua, lo cual toma gran relevancia en el reto abordado en este capítulo.

El empoderamiento que han tenido las comunidades en pro de conseguir abastecerse de agua para su consumo ha demostrado ser un factor preponderante para el éxito de estos sistemas, ejemplo de esto pueden mencionarse las comunidades de Kenia, Ghana y Zambia, que se han vinculado a las comunidades en elección del comité de agua y la toma de decisiones para garantizar la sostenibilidad de estos sistemas en el tiempo (Kelly et al., 2017).

En el contexto europeo la participación abierta de la comunidad en la gestión del agua es un componente importante de la junta directiva marco del agua de la UE. Lo anterior como lo afirma Ruiz et al. (2017) mejora la aceptación pública y reduce las ineficiencias en la implementación de políticas de gestión del agua.

Dentro de la literatura, así como se ha hablado de las bondades, de igual ma-

nera se ha hecho referencia a los innumerables retos que representa el lograr la participación activa de la comunidad, Shields et al. (2021) sostiene que la gestión comunitaria no siempre es garantía de participación, es necesario un enfoque intencional para involucrar a todos los miembros de la comunidad en la toma de decisiones, y buscar todos los mecanismos para garantizar la transparencia y la rendición de cuentas.

6.4 Metodología

La propuesta se orienta al diseño de un sistema integral para la captación, almacenamiento y distribución del agua de lluvia, combinando tecnologías apropiadas y estrategias de gestión comunitaria. FORESCAT se plantea como una alternativa accesible, adaptable y de bajo impacto ambiental, que busca optimizar el uso del recurso hídrico, reducir pérdidas por filtración o evaporación, y garantizar la disponibilidad de agua durante las temporadas secas.

El análisis del estado del arte permite identificar que las soluciones más efectivas en la gestión del agua de lluvia incorporan principios de infraestructura verde, tecnologías de bajo costo y modelos participativos de gestión local. Estas experiencias, documentadas científicamente, han demostrado su capacidad para mejorar la resiliencia ante el cambio climático y fortalecer la seguridad hídrica en zonas rurales. FORESCAT retoma estos aprendizajes para integrarlos en un modelo adaptativo que responda a las condiciones geográficas y sociales específicas de las comunidades beneficiarias.

La propuesta metodológica culmina con la formulación de un prototipo conceptual, sustentado en procesos de ingeniería sostenible y participación social. Este modelo busca no solo garantizar la captación eficiente del recurso, sino también fomentar la apropiación comunitaria y la educación ambiental como ejes de sostenibilidad a largo plazo. En consecuencia, FORESCAT se consolida como una estrategia replicable y escalable que articula innovación tecnológica, gestión ambiental y cohesión social para enfrentar los desafíos hídricos del siglo XXI.

6.5 Estado del arte

El aprovechamiento del agua de lluvia ha sido objeto de múltiples estudios en diversos contextos geográficos y socioeconómicos. La literatura existente analiza su viabilidad desde perspectivas técnicas, económicas y ambientales, evidenciando su potencial para mitigar el estrés hídrico y promover el desa-

rrollo sostenible.

Ortiz y Velandia (2017) evaluaron un sistema de captación y uso de agua de lluvia en la Universidad Católica de Colombia, implementado en el bloque R de la institución. Durante 30 días, midieron los volúmenes recolectados y analizaron muestras de agua antes y después del filtrado para determinar su idoneidad en la descarga de sanitarios y lavado de zonas comunes. Adicionalmente, realizaron un análisis hidráulico para optimizar la conducción y distribución del agua. Los resultados evidenciaron que el sistema podía suplir una parte significativa de la demanda, resaltando la importancia del dimensionamiento del tanque de almacenamiento y la influencia de la variabilidad de la precipitación en su eficiencia.

En un contexto rural, Avelar-Roblero et al. (2019) analizaron la viabilidad de los sistemas de captación en comunidades con acceso limitado a fuentes hídricas convencionales. Su estudio destacó los factores clave que influyen en la adopción de estos sistemas, incluyendo la infraestructura disponible, la percepción de los usuarios y los costos de implementación. La investigación se centró en tres aspectos fundamentales: el diseño del sistema, el uso del ferrocemento como material para la construcción de cisternas y la participación de la comunidad en el proceso de implementación. Los resultados indicaron que el diseño propuesto permitía un suministro adecuado tanto para uso doméstico como para consumo humano, demostrando la importancia de la integración de la comunidad en el éxito del proyecto.

En países con problemas críticos de escasez de agua, como Irán, la captación de agua de lluvia representa una alternativa viable para mejorar la seguridad hídrica. Jalili-Kolavani y Jalili-Kolavani (2020) evaluaron la factibilidad técnica de implementar sistemas de captación de agua de lluvia (RWHS, por sus siglas en inglés) en siete ciudades del norte del país. A través del análisis del balance hídrico y la compatibilidad de la capacidad de los tanques de almacenamiento, se determinó que estos sistemas eran técnicamente viables para la mayoría de las viviendas unifamiliares. Sin embargo, en edificaciones de tipo multifamiliar, su implementación era más limitada debido a la menor disponibilidad de áreas de captación. En este sentido, el estudio concluyó que el diseño óptimo de los RWHS debe considerar tanto la variabilidad de la demanda de agua potable como la capacidad de almacenamiento requerida, hallazgo que contrastó con estudios previos como el de Ghisi et al. (2007), quienes habían identificado una menor correlación entre demanda y capacidad de almacenamiento.

De forma más reciente, Vyas (2024) presentó un modelo matemático para evaluar el desempeño de sistemas RWHS con tanques de almacenamiento cubiertos, con el objetivo de determinar su tamaño óptimo y diseñar estrategias para enfrentar períodos de sequía. Su estudio subrayó la utilidad de estos sistemas en regiones con escasez hídrica, aunque también evidenció que su confiabilidad depende en gran medida de la variabilidad de la precipitación, fenómeno exacerbado por el cambio climático. Para mitigar esta incertidumbre, el autor desarrolló un modelo basado en registros históricos de lluvia que permite estimar la disponibilidad futura de agua. Este modelo fue implementado en la aplicación móvil SimTanka, la cual ofrece a los usuarios herramientas para planificar su abastecimiento hídrico, optimizar la capacidad del tanque y desarrollar estrategias para enfrentar sequías.

6.6 La solución

El acceso limitado al agua en regiones con altos niveles de sequía representa un obstáculo significativo para el desarrollo agrícola y la sostenibilidad de las comunidades. Frente a esta problemática, el sistema Forecast surge como una alternativa que busca garantizar la disponibilidad de agua a través de la recolección y almacenamiento de lluvia. Este modelo permite gestionar el recurso hídrico de manera eficiente, reduciendo la dependencia de fuentes tradicionales y mitigando los efectos de la escasez en zonas vulnerables. En este contexto, es importante destacar que diversos actores, tales como las universidades juegan un papel clave en el desarrollo de soluciones innovadoras que impacten el desarrollo regional, promoviendo la investigación aplicada y la transferencia de tecnología en sectores estratégicos (Amézquita et al., 2015). Sin embargo, también es importante reconocer que la implementación de innovaciones enfrenta obstáculos significativos, como las limitaciones financieras, la falta de infraestructura y la resistencia al cambio, factores que pueden afectar el desempeño y la adopción de nuevas tecnologías en sectores estratégicos (Llinares-Paternina et al., 2021).

Forecast, se presenta como una solución integral para la captación y distribución de agua lluvia en regiones afectadas por la sequía, especialmente en Latinoamérica. Este sistema aborda la crisis hídrica mediante la recolección eficiente de agua lluvia, su almacenamiento en un embalse central y su distribución a tanques cilíndricos individuales. La propuesta incluye el uso de tecnología avanzada para optimizar el riego agrícola, asegurando un suministro constante de agua a los cultivos, lo que es crucial para mantener la productividad agrícola en condiciones climáticas adversas.

Para maximizar su impacto, Forecast se apoya en infraestructura adaptada a las condiciones climáticas de cada región, incorporando materiales resistentes y sistemas automatizados que regulan la captación y distribución del agua.

Por su parte, en aras de garantizar la escalabilidad y sostenibilidad se proyecta dentro de las iniciativas de esta solución conseguir alianzas estratégicas con entidades gubernamentales, organizaciones ambientales y empresas del sector agroindustrial, transformando la gestión del agua en un pilar para la resiliencia comunitaria, asociatividad (Del Río Cortina et al., 2019) y el progreso social (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022).

6.6.1 Componentes de la solución

El sistema FORECAST ha sido diseñado para ofrecer una solución integral a la crisis hídrica en zonas afectadas por la sequía, combinando tecnología avanzada con sostenibilidad. Su estructura está conformada por diversos componentes que trabajan de manera coordinada para garantizar la recolección, almacenamiento y distribución eficiente del agua de lluvia. A continuación, se describen los principales elementos que integran este innovador sistema:

Embalse Central: En el núcleo del sistema se encuentra un embalse central diseñado para la recolección y almacenamiento eficiente del agua de lluvia. Su estructura está adaptada para minimizar las pérdidas por evaporación y garantizar un suministro estable a lo largo del tiempo (Chino-Calli et al., 2016). Mediante recubrimientos impermeabilizantes y sistemas de filtrado, se evita la contaminación del agua almacenada, asegurando su calidad para el riego. De esta manera, su capacidad de captación temprana permite almacenar grandes volúmenes de agua durante temporadas de lluvia y conservarlos para su uso en períodos de sequía, contribuyendo a la optimización del recurso hídrico en comunidades rurales (Recio et al., 2017).

Sistemas de Bombeo Inteligente: para garantizar la distribución del agua almacenada en el embalse, el sistema FORECAST integra un sistema de bombeo automatizado que transporta el recurso hacia los tanques de almacenamiento ubicados en las áreas de cultivo (Acero y Pallo, 2024). Estos sistemas de bombeo están diseñados para operar con eficiencia energética y regular el flujo de agua según la demanda agrícola. De esta forma la propuesta, contaría con sensores que ajustan la presión y el volumen del agua distribuida, reduciendo el desperdicio y asegurando un riego óptimo en función de las necesidades del suelo y los cultivos.

Tanques Cilíndricos Individuales: El agua bombeada desde el embalse central es distribuida a través de tanques cilíndricos ubicados estratégicamente en las zonas agrícolas. Su diseño permite una distribución uniforme y eficiente del recurso, minimizando pérdidas y asegurando un acceso continuo al agua para cada cultivo. Estos tanques cuentan con materiales resistentes a la corrosión y a las variaciones de temperatura, lo que prolonga su vida útil y los hace adecuados para distintas condiciones climáticas. Su ubicación estratégica evita acumulaciones innecesarias de agua, optimizando el riego y promoviendo un uso racional del recurso hídrico.

Plataforma de Control y Monitoreo en Tiempo Real: uno de los elementos clave de FORECAST es su plataforma de control inteligente, que permite a los agricultores monitorear y gestionar el sistema en tiempo real. A través de dispositivos móviles o computadoras, los usuarios pueden acceder a información detallada sobre los niveles de almacenamiento de los embalses, la distribución del agua en los cultivos, y las condiciones de humedad del suelo. El sistema emitirá alertas en caso de variaciones inesperadas en el suministro de agua, permitiendo tomar decisiones oportunas para proteger la producción agrícola y evitar pérdidas por sequías o riegos inadecuados.

Sensores de Humedad del Suelo: El sistema Forecast incorpora sensores avanzados de humedad que permiten un monitoreo constante de las condiciones del suelo. Estos dispositivos analizan la cantidad de agua disponible en la tierra y ajustan automáticamente el riego para garantizar un suministro adecuado sin desperdiciar el recurso. Con esta tecnología, se evita el riego excesivo y se optimiza el uso del agua en función de las necesidades específicas de cada cultivo. Al mantener un equilibrio hídrico preciso, se mejora la productividad agrícola y se reduce el impacto ambiental derivado del uso ineficiente del agua.

Sistema de Predicción Climática: una de las innovaciones más destacadas de Forecast es su capacidad de anticipar cambios climáticos y ajustar su funcionamiento en consecuencia. Mediante el análisis de datos meteorológicos y modelos predictivos, el sistema puede identificar patrones climáticos y prever sequías o lluvias intensas que puedan afectar la disponibilidad de agua. Con esta información, Forecast regula la captación y distribución del agua, asegurando la continuidad del suministro en escenarios climáticos adversos y reduciendo la vulnerabilidad de los agricultores ante fenómenos extremos.

Energía Solar como Fuente de Alimentación: En su compromiso con la sostenibilidad, el sistema FORECAST opera mediante energía solar, lo que reduce

su dependencia de fuentes convencionales de electricidad y permite su implementación en comunidades rurales con acceso limitado a la red eléctrica. Mediante paneles solares de alta eficiencia, el sistema genera la energía necesaria para operar los sensores, las bombas y la plataforma de control, garantizando su funcionamiento continuo sin impactos negativos en el medio ambiente (Jalixto, 2024). Esta integración de energías renovables fortalece la viabilidad del sistema a largo plazo y refuerza su enfoque ecológico y autosuficiente.

6.7 Innovación

Dentro del contexto empresarial, la innovación es reconocida como uno de los factores que propician en mayor grado el éxito y la competitividad de las organizaciones en entornos dinámicos (Martínez-Torres y Martínez-Torres, 2022).

El sistema Forecast representa una solución innovadora para la optimización del uso del agua en la agricultura, puntualmente en zonas afectadas por la escasez hídrica como es el caso de muchos municipios en el territorio colombiano. Su enfoque integral responde a la necesidad de almacenamiento y distribución eficiente del recurso, incorporando tecnologías inteligentes que permiten una gestión automatizada, sostenible y accesible.

A diferencia de los sistemas convencionales de riego, Forecast descentraliza la captación y el suministro del agua, facilitando su disponibilidad en áreas remotas y asegurando una aplicación más equitativa y eficiente. Esta solución tiene el potencial de transformar la forma en que los agricultores manejan el recurso hídrico, permitiéndoles aumentar su productividad y garantizar la sostenibilidad de sus cultivos.

Uno de los componentes clave de esta solución es su sistema de alimentación basado en energía renovable. Contrario a otras soluciones que dependen de la electricidad convencional, esta propuesta opera con paneles solares, lo que garantiza su funcionamiento en zonas con acceso limitado a la red eléctrica, y reduce el impacto ambiental del sistema. La incorporación de esta fuente de energía limpia refuerza el carácter sostenible del proyecto y asegura su viabilidad a largo plazo sin generar costos adicionales en consumo energético para los agricultores.

Así mismo se destaca como aspecto diferenciador del sistema es su plataforma de control remoto, que permite a los usuarios supervisar y gestionar el suministro de agua desde un dispositivo electrónico. Mediante una aplicación in-

tuitiva, los agricultores pueden verificar en tiempo real el nivel de los tanques de almacenamiento, la cantidad de agua distribuida y el estado del sistema de riego. Esta herramienta facilita la administración del recurso, brindando información clave para la toma de decisiones estratégicas en la gestión hídrica.

El diseño descentralizado del sistema también permite una distribución más equitativa del recurso en diferentes áreas agrícolas. A través de la instalación de tanques cilíndricos individuales conectados al embalse central, Forecast evita la acumulación innecesaria del agua en un solo punto y promueve un acceso más eficiente en múltiples ubicaciones. Esta estrategia garantiza que las pequeñas y medianas unidades de producción agrícola puedan beneficiarse del sistema sin depender de grandes infraestructuras o inversiones costosas.

6.8 Impacto de la solución

La gestión eficiente del agua en regiones afectadas por la sequía tiene implicaciones profundas en distintos ámbitos. Forecast propone optimizar la captación, almacenamiento y distribución de agua de lluvia para enfrentar la escasez hídrica y transformar las dinámicas sociales, ambientales y económicas de las comunidades. Su implementación buscaría modificar la relación de los habitantes con el recurso, promoviendo prácticas sostenibles y garantizando un suministro confiable para la producción agrícola, lo que podría fortalecer la resiliencia de los territorios vulnerables. En este contexto, la innovación (Martínez-Torres y Vega-Jurado, 2022), el desarrollo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación (Martínez-Torres et al., 2017) y el emprendimiento (Cordova-Buiza et al., 2023) juegan un papel crucial en la implementación de soluciones como Forecast, particularmente en el ámbito universitario, donde la formación en habilidades empresariales fomenta la creación y adopción de proyectos de alto impacto (Cordova-Buiza et al., 2023).

El impacto social de Forecast radicaría en su capacidad para mejorar la calidad de vida de las comunidades que dependen del agua para su sustento, incrementando a su vez, sus habilidades de liderazgo (Porto-Solano et al., 2022). Al asegurar un acceso continuo al recurso, podría disminuir la inseguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad de los agricultores frente a sequías prolongadas. Esto fomentaría la estabilidad alimentaria, impulsaría la cohesión comunitaria y reforzaría el sentido de autonomía en la gestión de los recursos naturales. Su integración con plataformas de monitoreo permitiría la capacitación de los usuarios en el uso eficiente del agua, promoviendo un cambio cultural hacia prácticas más responsables y sostenibles.

Desde una perspectiva ambiental, Forecast contribuiría a la conservación del recurso hídrico y a la reducción de la presión sobre fuentes naturales en riesgo de agotamiento (Gil Olcina et al., 2004). Su diseño basado en energías renovables minimizaría la huella ecológica de su operación, mientras que los sensores de humedad y los sistemas de predicción climática optimizarían el uso del agua, evitando desperdicios. Al mitigar los efectos de la desertificación y reducir la dependencia de infraestructuras tradicionales de abastecimiento, este modelo de gestión podría fortalecer los ecosistemas locales y promover un equilibrio sostenible entre la actividad agrícola y el entorno natural (Hernández et al., 2012).

El impacto económico de Forecast se proyecta en el aumento de la productividad agrícola y en la generación de nuevas oportunidades para el desarrollo rural (Jorquera, 2017). Un suministro hídrico estable permitiría mejorar los rendimientos de los cultivos, lo que se traduciría en ingresos más constantes para los productores. Al disminuir los costos operativos asociados al riego y reducir las pérdidas por sequías, el sistema incrementaría la rentabilidad del sector agrícola (Sánchez-Rubio, 2007). La posibilidad de establecer alianzas estratégicas con entidades públicas y privadas facilitaría la escalabilidad del modelo, consolidándose como una inversión clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las regiones donde se implemente (Arumí et al., 2015).

6.9 Conclusiones

La gestión eficiente del agua en regiones afectadas por la sequía tiene implicaciones profundas en distintos ámbitos. Forecast, al optimizar la captación, almacenamiento y distribución de agua de lluvia, enfrenta la escasez hídrica y transforma las dinámicas sociales, ambientales y económicas de las comunidades. Su implementación modifica la relación de los habitantes con el recurso, promoviendo prácticas sostenibles y garantizando un suministro confiable para la producción agrícola, lo que fortalece la resiliencia de los territorios vulnerables.

El impacto social de Forecast estaría en su capacidad para mejorar la calidad de vida de las comunidades que dependen del agua para su sustento. Al asegurar un acceso continuo al recurso, ayudaría a disminuir la inseguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad de los agricultores frente a sequías prolongadas. Esto fomentaría la estabilidad alimentaria, impulsaría la cohesión comunitaria y reforzaría el sentido de autonomía en la gestión de los recursos naturales. En

este sentido, su integración con plataformas de monitoreo facilitaría la capacitación de los usuarios en el uso eficiente del agua, promoviendo un cambio cultural hacia prácticas más responsables y sostenibles.

Desde una perspectiva ambiental, Forecast contribuiría a la conservación del recurso hídrico y a la reducción de la presión sobre fuentes naturales en riesgo de agotamiento. Su diseño basado en energías renovables minimizaría la huella ecológica de su operación, mientras que los sensores de humedad y los sistemas de predicción climática optimizarían el uso del agua, evitando desperdicios. Al mitigar los efectos de la desertificación y reducir la dependencia de infraestructuras tradicionales de abastecimiento, este modelo de gestión fortalecería los ecosistemas locales y promovería un equilibrio sostenible entre la actividad agrícola y el entorno natural.

El impacto económico de Forecast se podría reflejar en el aumento de la productividad agrícola y en la generación de nuevas oportunidades para el desarrollo rural. Un suministro hídrico estable permitiría mejorar los rendimientos de los cultivos, lo que se traduciría en ingresos más constantes para los productores. Al disminuir los costos operativos asociados al riego y reducir las pérdidas por sequías, el sistema cuenta con potencial para incrementar la rentabilidad del sector agrícola. La posibilidad de establecer alianzas estratégicas con entidades públicas y privadas podría facilitar la escalabilidad del modelo, consolidándose como una inversión clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las regiones donde se implemente.

6.10 Reconocimiento y agradecimientos

Expresamos un especial reconocimiento al equipo de docentes y estudiantes conformado por Wendi Natalia Muñoz, Loreine Gómez Pérez, Luis Chima, Carlos Oliveros, Karoll Rondón, Lihuen Rodríguez Otero, Miguel Ángel Charris Arteta y Andrea Carolina Prieto Royet. Su dedicación y esfuerzo fueron esenciales para la materialización de la iniciativa destacada en este capítulo, desarrollada en el marco del Rally Latinoamericano de Innovación 2024 en la Corporación Universitaria Americana.

6.11 Bibliografía

Acero Catucuago, F. A., y Pallo Chicaiza, C. A. (2024). Obtención del modelo de carga polinomial para un sistema de bombeo de agua sanitaria a partir de mediciones experimentales”.

- Amézquita López, J., Martínez Torres, D. C., y Castro Porto, M. (2015). El rol de las universidades en el desarrollo de las regiones: un análisis de la tercera misión universitaria en el Departamento de Bolívar. *Revista Adelante*, 6, 13-44.
- Anderson, T., McKinnon, K., Pons, D., y Anchukaitis, K. (2023). How Exceptional Was the 2015–2019 Central American Drought? *Geophysical Research Letters*, 50. <https://doi.org/10.1029/2023GL105391>.
- Apostolaki, S., Koundouri, P., y Pittis, N. (2019). Using a systemic approach to address the requirement for Integrated Water Resource Management within the Water Framework Directive. *The Science of the total environment*, 679, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.077>
- Arumi, J. L., Melo, O., Nuñez, J., y Billib, M. (2015). Riego y Usuarios del Agua en Chile. Desde la revolución a la evolución. *Irrigation, Society and Landscape. Tribute to Tom F. Glick*, 661-671.
- Avelar Roblero, J. U., Sánchez Bravo, J. R., Domínguez Acevedo, A., Lobato de La Cruz, C., y Mancilla Villa, O. R. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. *Idesia (Arica)*, 37(1), 53-59.
- Avelar-Roblero, J. U., Sánchez-Bravo, J. R., Domínguez-Acevedo, A., Lobato de La Cruz, C., y Mancilla-Villa, O. R. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. *Idesia (Arica)*, 37(1), 53-59. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000302>.
- Carvajal, L., Ángeles, V., y Rodríguez, Ó. (2011). El Programa de Trabajadores Agrícolas Temporales entre México y Canadá y la inversión agrícola en el Estado de México. *Paradigma económico. Revista de economía regional y sectorial*, 3(2), 61-84.
- Castro Porto, M. P., Martínez-Torres, D. C., y Mola Ávila, J. A. (2016). Efecto de la inversión en capital tecnológico sobre la productividad de las empresas en el departamento de Bolívar. *Economía & Región*, 10(2), 45-73.
- Chino-Calli, M., Velarde-Coaquirá, E., y Espinoza-Calsín, J. J. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo

- humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18(3), 365-373.
- Comisión Económica para American Latina y el Caribe (CEPAL). (2023) Economic Survey of Latin American and the Caribbean. CEPAL.
- Cordova-Buiza, F., Toribio-Tamayo, G., Garcia-Portuguez, M. A. J., y Martínez-Torres, D. C. (2023). Factors influencing the entrepreneurial intention of university business students: Evidence from Lima-Peru. In European Conference on Innovation and Entrepreneurship (Vol. 18, No. 1, pp. 191-199).
- Cortés Bracho, O., Betancourt Rodríguez, L., y Mejía Turizo, J. (2024). Análisis de capacidades emprendedoras: un estudio de caso en artesanos de Barranquilla, Colombia. *Collectivus, Revista De Ciencias Sociales*, 11(2). <https://doi.org/10.15648/Collectivus.vol11num2.2024.4241>
- Del Río Cortina, J. L., De la Hoz del Villar, R. C., Martínez Torres, J. C., y Garcés Pedrozo, L. E. (2019). La asociatividad como elemento integrador de una agroindustria dinámica y competitiva. En *Asociatividad apuesta para el fortalecimiento de la competitividad de la agroindustria en el departamento de Sucre* (1st ed., pp. 67–91). CECAR.
- Ersado, L. (2005). Small-Scale Irrigation Dams, Agricultural Production, and Health: Theory and Evidence from Ethiopia. *Development Economics*. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3494>
- Espinoza, C., y Meneses, F. (2023). Análisis y evaluación de la implementación de la cosecha de agua de lluvia para satisfacer la demanda poblacional de agua doméstica del distrito de Atavillos Bajo, provincia de Huaral. [Trabajo de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670297>
- Ghisi, E., Bressan, D. L., y Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1654-1666. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.007>.
- Gil Olcina, A., Morales Gil, A., y Torres Alfosea, F. J. (2004). Arídez, saliniza-

- ción y agricultura en el sureste ibérico. Aridez, salinización y agricultura en el sureste ibérico.
- Gonzaga, F. G. (2017). Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la isla Jambelí, cantón Santa Rosa. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio institucional de la Universidad Técnica de Machala <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/3115>
- Grizzetti, B., Liquete, C., Pistocchi, A., Vigiak, O., Zulian, G., Bouraoui, F., Roo, A., y Cardoso, A. (2019). Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters. *The Science of the Total Environment*, 671, 452 - 465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155>.
- Hernández, M. F., Rangel, P. P., Sosa, E. S., Vázquez, C. V., Castillo, I. O., Hernández, J. L. G., y Tapia, C. S. (2012). Políticas de mercado y su impacto económico-ambiental en el uso y aprovechamiento del recurso agua en la comarca lagunera. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 12(1), 97-103.
- Hu, Z., Chen, Y., Yao, L., Wei, C., y Li, C. (2016). Optimal allocation of regional water resources: From a perspective of equity-efficiency tradeoff. *Resources Conservation and Recycling*, 109, 102-113. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.02.001>
- Jalili-Kolavani, N., y Jalili-Kolavani, N. (2020). Technical feasibility analysis of rainwater harvesting system implementation for domestic use. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102340. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102340>
- Jalixto Checya, D. J. (2024). Diseño de un equipo de alimentación automática para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica, que permita mejorar la frecuencia de alimentación en la laguna de Langui-Layo de la región Cusco.
- Jorquera, F. F. (2017). Economic effects of climate change on agriculture: multi-scale assessment through regional mathematical programming models Doctoral dissertation. Universidad Politécnica de Madrid.

- Kelly, E., Lee, K., Shields, K., Cronk, R., Behnke, N., Klug, T., y Bartram, J. (2017). The role of social capital and sense of ownership in rural community-managed water systems: Qualitative evidence from Ghana, Kenya, and Zambia. *Journal of Rural Studies*, 56, 156-166. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2017.08.021>
- Kim, W., Iizumi, T., y Nishimori, M. (2019). Global Patterns of Crop Production Losses Associated with Droughts from 1983 to 2009. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0174.1>.
- Kolokytha, E. (2022). Adaptation: A Vital Priority for Sustainable Water Resources Management. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w14040531>.
- Llinares-Paternina, M., García-Leones, D., Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2021). Impacto de los principales obstáculos de innovación sobre el desempeño innovador en la industria manufacturera de Colombia. En *Propuestas innovadoras para las regiones. Una interpretación desde los semilleros de investigación en Colombia* (1st ed., p. 106). Red Colombiana De Semilleros De Investigación – Redcols.
- Martínez-Torres, D.C., Miranda-Redondo, R., Amar, P., Rodríguez, I., Quinteiro, V. y Melamed, E. (2017). Dinámicas de innovación y relacionamiento Universidad-Empresa-Estado para el desarrollo de turismo de negocios. En *Turismo Corporativo y TIC: Una puerta a la competitividad*. (1ra. ed., p. 150-171). Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Martínez-Torres, J. C., y Martínez-Torres, D. C. (2022). Cultura corporativa orientada a la innovación: un análisis del contexto empresarial colombiano. En *Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos de la administración* (1st ed., pp. 9–36). Universidad del Valle de Puebla.
- Martínez-Torres, J. C., y Vega-Jurado, J. (2022). El impacto de los agentes intermedios en el proceso de cooperación para innovar: el papel moderador del tamaño de la empresa. *Estudios Gerenciales*, 38(162), 2-16.
- Müller, C., Ouédraogo, W., Schwarz, M., Barteit, S., y Sauerborn, R. (2023). The effects of climate change-induced flooding on harvest failure in Burkina Faso: case study. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1166913>

- Muñoz, C., y Sandoval-Díaz, J. (2023). Systematic review of risk perception of farmers in the face of drought: influencing factors, perceived contents, adaptation strategies and related practices. *Scientia Agropecuaria*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.013>
- Neira Tovar, L. A. (2004). *Tecnología de información y productividad en América latina (Information technology & production in Latin America)*. Innovaciones de negocios, 1(2), 161-179.
- Olarte, L. Y. (2020). Propuesta de un sistema de captación familiar de agua de lluvia en periodo de precipitación pluvial en la Comunidad de Palos Blancos del Municipio de Entre Ríos. [Trabajo de grado, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Biblioteca de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/index.php?lvl=author_seeyid=38368.
- Ortiz, W., y Velandia, W. (2017). Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Colombia <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15502>.
- Porto-Solano, C., Murillo-Gutiérrez, A., Martínez-Torres, D.C. y Lidueñas-Bastidas, Y. (2022). Estilo de liderazgo del Consejo comunitario de Villa Gloria en Cartagena de Indias. En *Entrecruzamientos, perspectivas y desafíos en la Administración*. (1ra. ed., p. 86-106). Universidad del Valle de Puebla.
- Rea-Sánchez, V., Maldonado-Cevallos, C., y Villao-Santos, F. (2015). Los Sistemas de Información para lograr un desarrollo competitivo en el sector agrícola. *Revista Ciencia Unemi*, 8(13), 122-129
- Recio Díaz, M. D. M., Armisén Bobo, P., y Rodríguez Sagundo, Ó. (2017). Diseño y desarrollo de un sistema de captación de agua de lluvia para su utilización en lugares semiáridos. *DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, (4), 13-23.
- Rojas, O. (2021). Next Generation Agricultural Stress Index System (ASIS) for Agricultural Drought Monitoring. *Remote. Sens.*, 13, 959. <https://doi.org/10.3390/remotesens13040959>

- org/10.3390/rs13050959.
- Ruiz-Villaverde, A., y García-Rubio, M. (2017). Public Participation in European Water Management: from Theory to Practice. *Water Resources Management*, 31, 2479-2495. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1355-1>.
- Sánchez-Rubio, C. J. (2007). Aumento y asignación de recursos de agua como factores de desarrollo sostenible del litoral alicantino. *Norba: Revista de geografía*, (12), 97-117.
- Shields, K., Moffa, M., Behnke, N., Kelly, E., Klug, T., Lee, K., Cronk, R., y Bartram, J. (2021). Community management does not equate to participation: fostering community participation in rural water supplies. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.089>
- Silva, J. (2022). Implementation and Integration of Sustainability in the Water Industry: A Systematic Literature Review. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su142315919>.
- Tobías Ramírez, S., y Hernández-Pérez, J. G. (2019). EL TECHO ESCUDO COMO CAPTADOR PLUVIAL EN CIUDAD JUÁREZ, MÉXICO. *Revista hábitat sustentable*, 9(1), 32-45.
- Vyas, V. (2024). Modeling Rainwater Harvesting Systems with Covered Storage Tank on A Smartphone. *arXiv preprint arXiv:2404.13080*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.13080>
- Yalew, S., Prasad, P., Mul, M., y Van Der Zaag, P. (2024). Integrating equity and justice principles in water resources modelling and management. *Environmental Research Letters*

