



CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

TECNOLOGÍAS APLICADAS

ISBN: 978-958-9009-83-3



UNIVERSIDAD
INCCA[®]
DE COLOMBIA



UNIVERSIDAD
INCCA[®]
DE COLOMBIA



UNIVERSIDAD INCCA DE COLOMBIA

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN: TECNOLOGÍAS APLICADAS

Este libro es el resultado de las ponencias presentadas en nuestro III y IV Congreso internacional de ciencia, tecnología e innovación.

www.unincca.edu.co

Bogotá D.C., - Colombia

2024

REPRESENTANTE LEGAL

Juan Manuel Casas Sánchez

RECTORA

Susan Andrea Rodríguez Rodríguez

VICERRECTOR GENERAL

Santiago Sepúlveda Cardona

EDITORES

M.Sc. María Alexandra Fajardo Perdomo – Coordinadora de investigación

Esp. Aldemar Junior Mendoza Ramírez – Coordinador de investigación

Esp. Juan David Jiménez Miranda – Coordinador de registros calificados

COMITÉ CIENTÍFICO/ACADÉMICO

Alejandro Aldana Salcedo

Cristian Camilo Mendoza Penagos

Edison Chavarro Mesa

Jaime Tique Tique

Jhony Alexander Pérez Velásquez

José Daniel Duarte Florez

Luis Fernando Díaz Barrios

Sergio Yesid Aroca Pedroza

Corrección de estilo

Andrés Castañeda Cardona

Glenis Marcela Galvis Ayala

Jodie Mitchell Gualteros Celis

Karoll Lizeth Lugo Pereira

Diseñadores

Franklin Salcedo Rodríguez

Karen Mariana Guavita Sánchez

ISBN: 978-958-9009-83-3

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN: TECNOLOGÍAS APLICADAS

AUTORES

Alexander Martínez Álvarez

Alexandra Valeria Bolívar Reyes

Alfredo Adolfo Ayala Aponte

Álvaro Camilo Pito Álvarez

Ana María Rodríguez Mazuera

Brian Johan Bustos Viviescas

Carlos Andrés Arboleda Suaza

Cindy Johanna Martínez Saavedra

Clemencia Chaves López

Damián Armando Cuervo Ballesteros

Diana Paola Navia Porras

Gabriel Alejandro Rodríguez Téllez

Humberto Loaiza Correa

Jaime Humberto Mendoza Chacón

Jennifer Paola Aguilera Rocha

Johannes Delgado Ospina

José Ángel Pérez Álvarez



José Hernando Mosquera De la Cruz

Jorge Eliecer Giraldo Plaza

Juana Fernández López

Juan David Jamiroy Cabrera

Juan Felipe Penagos Angrino

Karol Daniela Álvarez Ordoñez

Laura Sofía Torres Valenzuela

Laura Valentina Rodríguez Cabrera

Luis Alfredo Duran Luna

Luis Armando Quevedo Cárdenas

Luis Fernando Soler Umbarila

Luis Francisco Becerra Galindo

Manuel Viuda Martos

María De los Ángeles Delgado

María Martuscelli

Nixon Oscar Parra Rodríguez

Rafael Enrique Lozano Zapata

Raquel Lucas González

Rodolfo Elías Arce Lozano

Sandra Esperanza Nope Rodríguez

Yerson Felipe Roxenvinge Gómez





Primera edición, agosto, 2024.

Editorial Universidad Incca

Dirección de Aseguramiento

Coordinación de Investigación

Carrera 13 # 24-15

Bogotá D.C., Colombia

investigacion@unincca.edu.co

<https://eventos.unincca.edu.co/publicaciones>

ISBN: 978-958-9009-83-3

Licencia:

© 2024. Este libro está bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Usted es libre de:

- Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Bajo los siguientes términos:

- Atribución — Debe dar crédito adecuado, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

- NoComercial — No puede utilizar el material para una finalidad comercial.

- SinDerivadas — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no puede distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que legalmente restrinjan realizar aquello que la licencia permite.




Para más información, visite la página web de Creative Commons en <https://creativecommons.org/>

Prólogo

Como parte de la diversificación de la investigación científica, existen diferentes áreas del conocimiento que desafían continuamente la comprensión del todo y permiten ampliar los límites de cada campo de acción. Un gran número de autores se esfuerzan por lograrlo profundizando sus investigaciones para dar una visión integral de sus experiencias, con el propósito de expresarlo en los artículos presentados en este libro, que representan y revelan las mejores investigaciones contemporáneas y son un testimonio de la riqueza y diversidad del pensamiento.

Es importante entender que la ciencia se desarrolla a través del esfuerzo colectivo, la excelencia académica y métodos de investigación rigurosos, con científicos comprometidos a explorar, cuestionar y descubrir nuevas verdades para esclarecer aspectos complejos y desafiantes de sus respectivas temáticas de investigación. Es por ello que este libro reúne una serie de trabajos que no sólo reflejan el estado actual de diversos campos del conocimiento, sino que también abordan incógnitas fundamentales que pueden determinar el futuro de las diversas disciplinas aquí incluidas. Todos los artículos a continuación han sido seleccionados por su precisión científica, relevancia y capacidad para estimular el debate y la innovación.

Con base en lo anterior, se define que el objetivo de este libro es brindar información y actuar como un intercambio de ideas y descubrimientos acerca de las diferentes disciplinas y enfoques aquí encontrados, lo cual se originó a partir de tres mesas de trabajo que se centraron en tres puntos principales: la mesa 1 recopiló documentos relacionados con las tecnologías de la información y gestión de procesos, la mesa 2 se enfocó en tecnología e innovación en la industria alimentaria, y la mesa 3 basó sus investigaciones en una temática denominada “Biotecnología y medio ambiente: una sola salud”. A través de estos artículos, se espera brindar a los lectores una



comprensión más profunda de cada tema abordado y brindar nuevas perspectivas sobre los desafíos y oportunidades en estos campos.

Un sincero agradecimiento a los autores de los artículos por su dedicación y contribución de su experiencia y conocimiento a este libro, y a los editores y a todos los involucrados en su desarrollo por su invaluable apoyo para realizar este proyecto. Ahora bien, este libro fue pensado para los lectores no sólo como una fuente completa de referencia, sino también como una invitación a estudiar y reflexionar sobre los temas presentados. Cada capítulo está organizado para facilitar una comprensión fluida y lógica de los temas tratados, lo que permite que tanto los investigadores experimentados como aquellos que están iniciando en estos campos encuentren valor en cada estudio.

Se espera que este libro sirva como herramienta para inspirar nuevas ideas de investigación y abrir puertas a diversos temas de discusión para desarrollar una comprensión de cada disciplina evaluada durante estos estudios. ¡Que el recorrido por estas páginas sea enriquecedor para todos como lo ha sido para la Universidad INCCA de Colombia al compilar y presentar todas y cada una de las investigaciones!

Atentamente,

Editorial Universidad Incca

Karoll Lizeth Lugo Pereira

Profesional en Biología

Especialista en Epífitas





Índice

Prólogo	9
CAPÍTULO #1	17
Alternativas sostenibles de economía circular para el proceso productivo de la industria licorera del Cauca	17
Sustainable Circular Economy Alternatives for the Production Process of the Liquor Industry in Cauca	17
Alvaro Camilo Pito Álvarez.....	17
Jaime Humberto Mendoza Chacón.....	17
CAPÍTULO #2	40
Sistema de correspondencia para cálculo de relación píxel centímetro en mesa de ensamble por cámara web con inclinación	40
Correspondence System for Pixel-Centimeter Ratio Calculation in an Assembly Table Using a Tilted Webcam	40
José Hernando Mosquera De la Cruz.....	40
Alexander Martínez Álvarez.....	40
Sandra Esperanza Nope Rodríguez.....	40
Humberto Loaiza Correa.....	40
María De los Ángeles Delgado.....	40
Juan Felipe Penagos Angrino.....	40
Gabriel Alejandro Rodríguez Téllez ¹	40
Juan David Jamióy Cabrera.....	40
CAPÍTULO #3	62
El uso del big data en el derecho de los consumidores	62
The Use of Big Data in Consumer Law	62
Karol Daniela Alvarez Ordoñez.....	62
Alexandra Valeria Bolívar Reyes.....	62
CAPÍTULO #4	84
Fundamentos de las copias de seguridad: Respaldo y recuperación de datos	84
Fundamentals of Backup: Data Backup and Recovery	84

Yerson Felipe Roxenvinge Gomez	84
CAPÍTULO #5	107
Attribute-Driven Design (ADD 3.0): Adopción del Método para la Definición de Arquitecturas de Software	107
Attribute-Driven Design (ADD 3.0): Adoption of the Method for Defining Software Architectures	107
Carlos Andrés Arboleda Suaza	107
Jorge Eliecer Giraldo Plaza	107
CAPÍTULO #6	132
Efecto de la adición de cascarilla de cacao sobre las propiedades de cocción de una hamburguesa	132
Effect of Cocoa Husk Addition on the Cooking Properties of a Burger	132
Johannes Delgado Ospina.....	132
Diana Paola Navia Porras	132
Raquel Lucas González	132
Manuel Viuda Martos.....	132
Juana Fernández López	132
José Ángel Pérez Álvarez	132
Maria Martuscelli	132
Clemencia Chaves López	132
CAPÍTULO #7	158
Fuerza prensil relativa en escolares colombianos de 6 a 8 años: Asociación con indicadores de adiposidad total y central	158
Relative Grip Strength in Colombian Schoolchildren Aged 6 to 8: Association with Total and Central Adiposity Indicators	158
Brian Johan Bustos Viviescas	158
Luis Alfredo Duran Luna	158
Rafael Enrique Lozano Zapata	158
CAPÍTULO #8	188
Evaluación de la estabilidad de compuestos bioactivos de cáscara de tomate de árbol (<i>Solanum betaceu</i>) extraídos por solventes supramoleculares	188

Evaluation of the Stability of Bioactive Compounds from Tamarillo Peel (<i>Solanum betaceum</i>) Extracted by Supramolecular Solvents.....	188
Ana María Rodríguez Mazuera	188
Laura Valentina Rodríguez Cabrera	188
Laura Sofía Torres Valenzuela	188
Alfredo Adolfo Ayala Aponte	188
CAPÍTULO #9	209
Expresión génica de las proteínas de choque térmico (hsps) 70 y 90 en plántulas de arroz irradiadas con cobalto 60.....	209
Gene Expression of Heat Shock Proteins (HSPs) 70 and 90 in Rice Seedlings Irradiated with Cobalt-60.....	209
Rodolfo Elías Arce Lozano	209
Cindy Johanna Martínez Saavedra	209
Luis Francisco Becerra Galindo	209
Damian Armando Cuervo Ballesteros	209
Luis Fernando Soler-Umbarila	209
Luis Armando Quevedo Cárdenas	209
CAPÍTULO #10	232
Control del Periodo de Latencia en <i>Solanum tuberosum</i> Grupo Phureja irradiado con ⁶⁰Co, a través de la Identificación de la sobreexpresión del gen NCED.....	232
Control of Dormancy Period in <i>Solanum tuberosum</i> Phureja Group Irradiated with ⁶⁰Co through the Identification of NCED Gene Overexpression	232
Nixon Oscar Parra Rodríguez.....	232
Edwin Daniel García Mejía	232
Rodolfo Elías Arce Lozano	232
Jenniffer Paola Aguilera Rocha	232
Cindy Johanna Martínez Saavedra	232
Luis Armando Quevedo Cárdenas	232
Luis Francisco Becerra Galindo	232



TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y GESTIÓN DE PROCESOS

- Gestión de procesos.
- Cadenas de suministro.
- Tecnologías de la información.
- Análisis de datos.
- Bigdata.
- Machine learning.

CAPÍTULO #1

Alternativas sostenibles de economía circular para el proceso productivo de la industria licorera del Cauca

Sustainable Circular Economy Alternatives for the Production Process of the Liquor Industry in Cauca

Alvaro Camilo Pito Álvarez¹

Jaime Humberto Mendoza Chacón²

Resumen

Una de las estrategias empresariales en economía circular utilizadas en los últimos tiempos, es la aplicación de la logística inversa en sus procesos productivos; ya que, el desarrollo logra obtener ventajas competitivas que permiten recuperar y aprovechar económicamente productos que dejan de satisfacer las necesidades del cliente final, logrando que los recursos en general mantengan su utilidad y valor en el tiempo.

La investigación plantea como objetivo establecer una alternativa sostenible bajo el concepto de economía circular, como una estrategia para el aprovechamiento, reutilización de residuos y materiales involucrados en el proceso productivo de la Industria Licorera del Cauca “ILC”, a

¹ Ingeniero industrial. Fundación Universitaria de Popayán. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-6860-4052>, joven.investigador2@fup.edu.co

² Doctor en Ingeniería. Fundación Universitaria de Popayán. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-5052-2307>, jaime.mendoza@docente.fup.edu.co.

través de la logística inversa. La estructura a trabajar consta de 3 etapas: primero, el desarrollo conceptual de algunas formas de aplicación de economía circular de organizaciones en Latinoamérica y Colombia; segundo, se analizará el estado y utilización de los materiales y productos del proceso productivo, y tercero, se establecerá la alternativa sostenible para el adecuado manejo y disposición de los materiales y residuos. A su vez, encontrar la forma conveniente de reducir costos, proyectar una imagen de responsabilidad socio-ambiental, y la utilización de nuevas tecnologías.

Este proyecto contribuye en el aumento de la competitividad de la cadena productiva de la ILC, para fortalecer una ventaja competitiva ligada a la sostenibilidad y así se adapte con éxito a este entorno.

Palabras clave: Economía circular, Logística inversa, Sostenibilidad, Gestión de residuos, Industria Licorera del Cauca, Reciclaje, Reutilización, Competitividad, Innovación tecnológica, Responsabilidad socio-ambiental

Abstract

One of the business strategies in the circular economy utilized in recent times is the application of reverse logistics in production processes. This development aims to achieve competitive advantages by economically recovering and reusing products that no longer meet the final customer's needs, thereby ensuring that resources maintain their utility and value over time.

The research sets out to establish a sustainable alternative under the concept of circular economy as a strategy for the recovery and reuse of waste and materials involved in the production process of Industria Licorera del Cauca (ILC) through reverse logistics. The approach involves three stages: firstly, the conceptual development of various forms of circular economy application by organizations in Latin America and Colombia; secondly, an analysis of the status and utilization of materials and products in the production process; and thirdly, the establishment of a sustainable alternative for the proper management and disposal of materials and waste. Additionally, the project seeks to identify cost reduction opportunities, project a socially and environmentally responsible image, and leverage new technologies.

This project contributes to enhancing the competitiveness of ILC's production chain by strengthening a competitive advantage linked to sustainability, enabling successful adaptation to this environment.

Keywords: Circular Economy, Reverse Logistics, Sustainability, Waste Management, Cauca Liquor Industry, Recycling, Reutilization, Competitiveness, Technological Innovation, Socio-environmental Responsibility

Introducción

Todo proceso productivo que transforma materias primas genera algún tipo de residuo y, por ende, un impacto ambiental negativo. Según (Yasnó Serrato et al., s. f.), en Colombia, la gestión de residuos sólidos se ha venido conceptualizando en los últimos años, constituyendo un proceso productivo y de consumo que reúne principios de salud pública, economía, ingeniería y conservación. (Vellojín et al., 2006)

En el proceso productivo de la Industria Licorera del Cauca (ILC) se evidencia una serie de problemáticas que afectan diversos escenarios, principalmente la contaminación, la acumulación y el desaprovechamiento de los residuos generados (alcohol, cartón, plástico, estibas, sunchos, pegamento, etiquetas y tapas). Esto conlleva altos costos de aprovisionamiento de materias primas, ya que no se cuenta con un sistema circular de disposición y reutilización de los residuos. En los dos últimos años, por esta razón, la empresa necesita implementar un manejo, disposición y utilización óptimos de estos materiales, además de encontrar formas convenientes de reducir costos, proyectar una imagen de responsabilidad ambiental y utilizar nuevas tecnologías (Acosta-Pérez et al., 2020)

La Industria Licorera del Cauca necesita mejorar la calidad y competitividad de su cadena productiva. Considerando los escenarios afectados, se debe aprovechar los residuos y materiales del proceso productivo, convirtiéndolos en materia prima para procesos industriales o reintegrándolos al proceso. Esto no solo beneficiará a la empresa, sino que también permitirá un equilibrio entre todas las partes involucradas, logrando un resultado de ganar-ganar. Asimismo, se contribuirá al crecimiento económico al reducir gastos innecesarios en la producción por medio de la economía circular y la ingeniería inversa. (Echeverry González et al., 2020). (Mata Salas, 2019)

Metodología

Esta investigación se está llevando a cabo por medio de la siguiente metodología:

Fase 1. Recolección de información, por medio de consulta bibliográfica basada en artículos y escritos técnicos, se pretende verificar que tan viable es el proceso y encontrar modelos que sean de utilidad para el proyecto, esta información servirá de base para complementar el marco de trabajo usando de referencia modelos exitosos.

Fase 2. Recolección de información en la empresa, por medio de observación del proceso, bodegas y la planta en general sumado a entrevistas al personal que trabaja de manera directa con los residuos de la ILC se genera un estado actual del funcionamiento de las basuras en los procesos y recepción de materias primas, de esta manera se pretende generar la base de la cual se va a generar el modelo propuesto.

Fase 3. Modelo de economía circular para la ILC, con la información de las fases anteriores se pretende establecer la ruta de manejo para los desperdicios, según el tipo de disposición, se pretende encontrar el que mejor se adecue a los procesos.

Cada una de las actividades y su método se describe en la tabla 1.

Tabla 1

Objetivos, actividades y método

Objetivos	Actividades	Método
Indicar modelos de economía circular en Latinoamérica y Colombia.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar bibliografía y antecedentes. • Caracterización del proceso de economía circular en Latinoamérica y Colombia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante artículos, libros, tesis; recursos físicos (bibliotecas), electrónicos (base de datos), entre otros, que proporcionen información sobre el tema. • Análisis y documentación de las características de la gestión de la economía circular. • Análisis de los resultados y procedimientos de aplicación de logística inversa
Diagnosticar los estados de los materiales involucrados en el proceso productivo de la Industria Licorera del Cauca.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el proceso de aprovisionamiento de las materias primas, proveedores, etc. • Realizar un diagnóstico del estado de las materias primas, utilización, disposición y manejo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elegir las referencias de los involucrados, analizar los resultados; realizadas a través de entrevista, encuestas y matriz de priorización de intereses. • Diagnostico. • Análisis de Campo.
Establecer las alternativas sostenibles para el adecuado manejo y disposición de los residuos generados en el proceso productivo de la Industria Licorera del Cauca.	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer las posibles alternativas sostenibles para la recuperación de los residuos y materiales de la ILC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar bajo la orientación de los procesos de economía circular los mejores procedimientos para la recuperación de los residuos.

Fuente. Elaboración propia (2024)

Resultados

Fase 1. Recolección de información

En cualquier proceso productivo, la transformación de materias primas conlleva inevitablemente la generación de residuos, lo que impacta negativamente en el medio ambiente. En Colombia, la gestión de residuos sólidos ha evolucionado en los últimos años, integrando principios de salud pública, economía, ingeniería y conservación (Yasnó Serrato et al., s. f.). Este enfoque es crucial para abordar los desafíos ambientales y económicos que enfrentan las industrias, como lo evidencia el caso de la Industria Licorera del Cauca (ILC). Esta empresa enfrenta problemas significativos relacionados con la contaminación y la acumulación de residuos derivados de su proceso productivo, como alcohol, cartón, plástico y otros materiales. (Sánchez et al., 2009) (Echeverry González et al., 2020) La falta de un sistema circular para la gestión de estos residuos resulta en altos costos de aprovisionamiento y una imagen de responsabilidad ambiental comprometida. (Wandurraga Arevalo & others, s. f.)

La emergencia sanitaria por el virus SARS-CoV-2 incrementó estas dificultades al afectar el suministro de materias primas, lo que subraya la necesidad urgente de mejorar el manejo, la disposición y la reutilización de los materiales en la ILC (Parra Ortegón, 2020). En este contexto, la implementación de estrategias de logística inversa se presenta como una solución viable para reducir la generación de desechos y optimizar el uso de recursos (Salazar, s. f.).

Estudios indican que más del 94% de las empresas europeas que adoptan una gestión eficaz de residuos logran reducir costos y mejorar su eficiencia operativa (Ramírez, 2007) (Martínez Valencia et al., 2021). En este sentido, la ILC podría beneficiarse significativamente de la adopción de prácticas de economía circular, convirtiendo sus residuos en

nuevas materias primas o reintegrándolos eficazmente en su proceso productivo para mejorar su competitividad y sostenibilidad (Baños & Anaya, 2019; Echeverry González et al., 2020).

Las pequeñas y medianas empresas (pymes), como se observa en el contexto de Cali, Colombia, están bien posicionadas para integrar principios de economía circular desde sus inicios, aprovechando así las oportunidades que las grandes empresas podrían pasar por alto (Bedoya Aristizabal et al., 2019a; Hermida, s. f.). Por ejemplo, en el sector textil, donde la moda impulsa estrategias de consumo prolongado, pero genera grandes cantidades de residuos textiles, iniciativas en Bogotá están trabajando en reintegrar estos textiles en la cadena de valor post-consumo, agregando valor tanto a las empresas como a los productos transformados (Castro Pérez & others, 2018; García Acosta & others, s. f.).

La transición hacia prácticas de reciclaje y economía circular no solo promueve una gestión más responsable de los recursos y la reducción de la contaminación, sino que también ofrece beneficios económicos tangibles como la reducción de impuestos y el aumento de la productividad a largo plazo (Castro Guamán & others, 2021; Ortigosa, s. f.). Estas prácticas no solo son indispensables para abordar los retos ambientales actuales, sino que también son fundamentales para garantizar la sostenibilidad y el crecimiento económico de las empresas en Colombia. (Contreras Castañeda et al., 2013)

Fase 2, estado actual de la ILC

Como primer paso, se busca entender qué partes del proceso generan la mayor cantidad de desperdicio en la ILC. Las materias primas básicas para la producción de aguardiente son: envase, alcohol, tapa, etiqueta, pegamento, esencias y agua. Estas materias primas son de alta rotación, siendo el envase, la tapa y la etiqueta los elementos que más desperdicio generan debido a su embalaje con materiales como cartón y plástico.

Existen procesos de aprovisionamiento de otros productos que no son de alta rotación, pero que se tienen en cuenta ya que pueden generarse bajo pedido o por eventos culturales. Esta materia prima genera desperdicios como cartón, papel y plástico. Para obtener la información, se revisaron las fichas técnicas de cada materia prima, relacionando su empaque y cómo venía embalado. Adicionalmente, se encontraron desperdicios de vidrio, pegamento y etiquetas debido a pérdidas de producto en la zona de producción. Estas pérdidas se generan por mala manipulación o por defectos en los insumos del proceso. Por lo tanto, se decidió acotar el proyecto al área de aprovisionamiento. A continuación, se muestra la Tabla 1, donde se exponen algunas de las materias primas y su forma de embalaje.

Tabla 2

Materias primas y tipo de embalaje

<i>FICHAS TÉCNICAS DE MATERIAS PRIMAS</i>	<i>EMPAQUE Y EMBALAJE</i>
<i>Envase PET 375c</i>	<i>El envase PET viene en palets de 1725 unidades, en 5 tendidos de 345 unidades, separados por un cartón prensado y recubierto con plástico resistente en una base de madera, se acepta colocar columnas de dos pallets de envase para su transporte y preservación.</i>
<i>Envase de vidrio botella 750 cc</i>	<i>El envase de vidrio para botella de 750cc. Viene en palets de 1960 unidades, en 7 tendidos de 280 unidades, separados por un cartón prensado amarrado con cinta de polietileno y recubierto con plástico resistente, en una base de madera para su transporte y preservación.</i>
<i>envase de vidrio garrafa 1750 cc.</i>	<i>Los envases de 1750 mL vienen en pallets de 770 unidades, en 7 tendidos de 110 unidades, separados por una lámina de cartón, forrados con mínimo 3 capas de plástico y amarrados con cintas de polietileno.</i>
<i>Etiqueta para PET</i>	<i>las etiquetas vienen en cajas de cartón, en cantidades de 36.000 unidades separadas así: 36 paquetes de 1.000 unidades, empacadas en una bolsa plástica, la cual contiene 2 fajos de 500 unidades cada una, atadas con dos cintas de papel cruzadas</i>
<i>Etiqueta para Anís escarchado</i>	<i>las etiquetas vienen en cajas de cartón, en cantidades de 36.000 unidades separadas así: 36 paquetes de 1.000 unidades, empacadas en una bolsa plástica, la cual contiene 2 fajos de 500 unidades cada una, atadas con dos cintas de papel cruzadas</i>
<i>Etiqueta Cremas Escarchadas</i>	<i>las etiquetas vienen en cajas de cartón, en cantidades de 36.000 unidades separadas así: 36 paquetes de 1.000 unidades, empacadas en una bolsa plástica, la cual contiene 2 fajos de 500 unidades cada una, atadas con dos cintas de papel cruzadas</i>
<i>envase de vidrio de 375 cc. para cremas</i>	<i>Los envases para cremas vienen en pallets de 1575 unidades, en 5 tendidos de 315, separados por una lámina de cartón, forrados con mínimo 3 capas de plástico y amarrados con cintas de polietileno</i>
<i>azúcar</i>	<i>El azúcar viene empacado en sacos de polipropileno, de 25 Kg. y 50 Kg.</i>
<i>Caja de cartón Wrap around para media</i>	<i>viene en palets de mil unidades en paquetes de 60 asegurados con zuncho (cinta de polipropileno)</i>

<i>Caja de cartón Wrap around para botella</i>	<i>viene en palets de mil unidades en paquetes de 60 asegurados con zuncho (cinta de polipropileno)</i>
<i>Tapa Guala 8190-1750 c.c.</i>	<i>Las tapas vienen en cajas de cartón corrugado, empaquetadas en bolsas de polietileno, en cantidad de 600 unidades, con un peso aproximado de 13.10 kg, dimensiones externas de 59.8 x 39.4 x 33.4 cm.</i>

Fuente. Elaboración propia (2024)

En la tabla podemos identificar algunas de las materias primas ya que en total son más de 40, los desperdicios que generan se pueden agrupar fácilmente en cartón, plástico de diferentes tipos y papel, para centrar el trabajo nos vamos a enfocar en envase, etiqueta y tapa, ya que son materias primas de alta rotación como se puede observar en la Tabla 2, y su empaquetado genera muchos desperdicios.

Tabla 3

Materias primas agrupadas

<i># de materias primas</i>	<i>Grupo de materia prima</i>	<i>Desperdicios en común</i>
<i>5</i>	<i>Esencias</i>	<i>tarros plásticos opacos de polietileno de alta densidad</i>
<i>5</i>	<i>Envase</i>	<i>cartón prensado, plástico industrial tipo film, cinta de polietileno</i>
<i>7</i>	<i>Etiqueta</i>	<i>caja de cartón, bolsa plástica, papel</i>
<i>7</i>	<i>Cartón</i>	<i>cinta de poliéster, cinta de polipropileno</i>
<i>7</i>	<i>Otros</i>	<i>balde plástico, saco de poliéster, saco de polipropileno, bolsa de polietileno, cajas de cartón</i>

Fuente. Elaboración propia (2024)

De la tabla anterior tenemos los datos de los materiales que se desechan, de estos materiales ya hay empresas que se encargan de realizar el respectivo uso de elementos como el cartón, la empresa ya cuenta con una empresa aliada que recoge el material y realiza la respectiva disposición, entre esos elementos se encuentra los zunchos, cinta de poliéster o polietileno que se utiliza para amarrar o asegurar elementos, estos zunchos son recogidos por la comunidad periódicamente, una persona recoge el material y fabricar bolsas de zuncho que se observa en el mercado, por esta razón, se propone dejar estos elementos como están, por lo que de esta manera se recicla el cartón y se apoya a la comunidad en sus procesos de emprendimiento.

El manejo de plástico y vidrio no supone una cadena de retorno al mercado, estos elementos se depositan en contenedores que son recogidos y llevados al relleno sanitario de la ciudad de Popayán, donde su tratamiento se desconoce.

Podemos inferir que la Industria licorera del cauca no cuenta con un sistema de manejo de residuos que cuente con una organización para la recolección y disposición final de los elementos, el proceso actual consta de botar de manera conjunta los desperdicios que no pueden ser aprovechados de ninguna manera en el modelo actual.

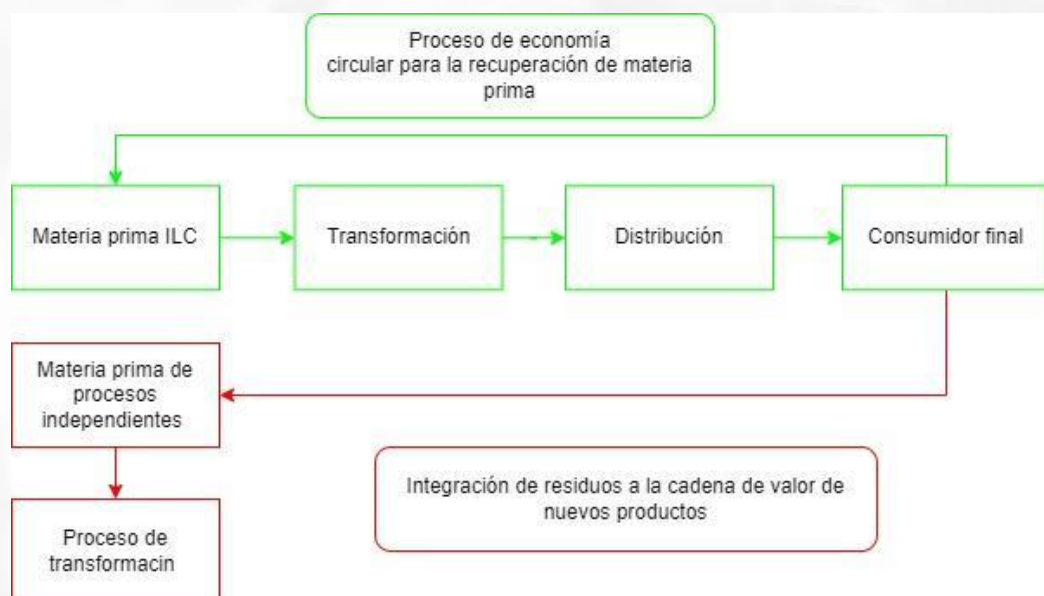
Fase 3, Modelo de economía circular

Para la realización de un modelo de economía circular se tienen que tener en cuenta el tipo de organización, en este caso es una industria de alimentos la cual se rige por normas sanitarias y de consumo humano. Esto nos indica que no se pueden reintegrar materias primas para un segundo ciclo de vida, en el que cualquier tipo de fallo o contaminación repercute en la salud del consumidor (González, 2020) (Bedoya Aristizabal et al., 2019b), por eso se decidió

generar un proceso de reutilización fortaleciendo a las personas de la comunidad caucana, donde los residuos son aprovechados por las pequeñas empresas o emprendedores que buscan salir adelante. De esa forma se generó el primer modelo de economía circular para la ILC como se puede ver en la Figura 1

Figura 1

Proceso de economía circular para la ILC.



Fuente. Elaboración propia (2024)

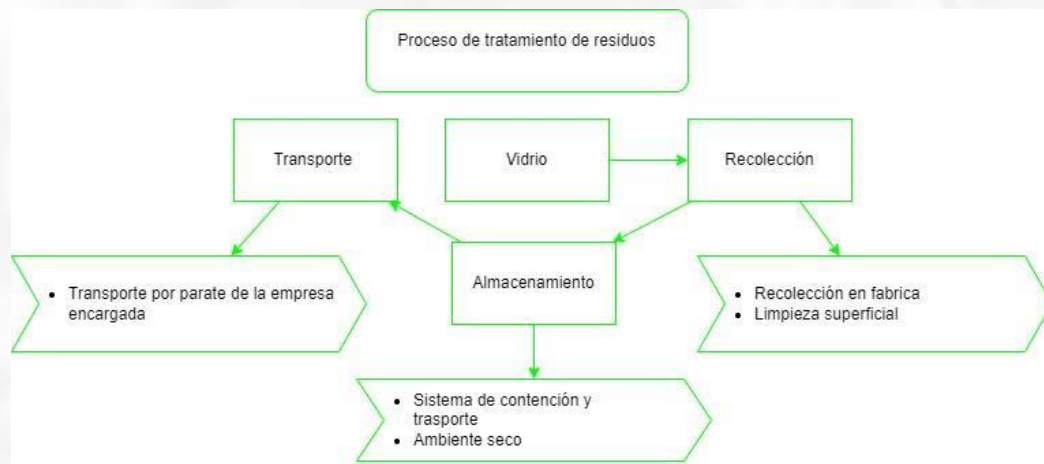
En la Figura 1 se pueden observar los elementos básicos de la producción. Todo comienza con la materia prima; los insumos de diferentes clases pasan por una transformación que permite añadir valor con el fin de satisfacer una necesidad. Posteriormente, se realiza la distribución hasta llegar al consumidor final. Una vez el producto ha cumplido su función, se

utiliza una cadena logística para reintegrar el residuo a la planta, donde se distribuye en diferentes procesos. En verde, se muestra la cadena de valor, que representa el proceso natural con la materia prima original. En rojo, se ilustra la cadena de devolución, el proceso mediante el cual los desperdicios vuelven a generar valor, aprovechando así el producto final.

Para lograr esta transformación, se requiere una gran inversión en un sistema de purificación y tratamiento de residuos, ya que, como se mencionó anteriormente, la industria alimentaria debe cumplir con ciertos estándares de inocuidad para poder operar. Por esta razón, se determinó un modelo de tratamiento de residuos para las tres principales causas de desperdicio, como se muestra en las Figuras 2, 3 y 4.

Figura 2

Proceso de tratamiento de residuos, Vidrio.



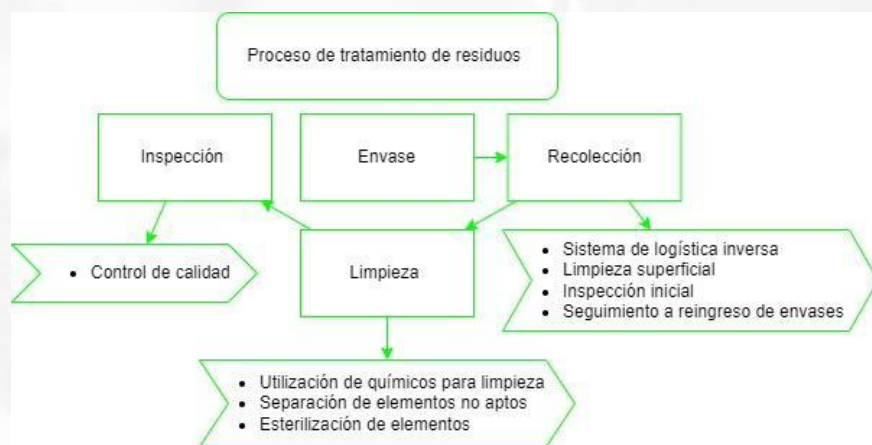
Fuente. Elaboración propia (2024)

Para el proceso de tratamiento de vidrio se requiere tener un equipamiento adecuado, guantes, mascarilla, gafas, bata manga larga y botas de carga, ya que el vidrio puede representar un riesgo para la salud, su tratamiento debe ser cuidadoso, en el diagrama podemos encontrar el ciclo para la reutilización del vidrio, para que este elemento sea aprovechado, se debe realizar un proceso de clasificación donde se retira etiquetas y plástico que pueda quedar adherido al vidrio en su recolección.

Estos pedazos de vidrio son reintegrados a la fábrica IO PELDAR que es la principal proveedora de botellas de vidrio en Colombia y en la ILC, la empresa realiza sus botellas con un 50% de botellas recicladas, de esta manera se planea realizar un reintegro para que esos mismos pedazos de vidrio regresen como botellas nuevas, para ello se necesita almacenar el vidrio en buenas condiciones para el transporte de reintegro al proveedor, este proceso, dependiendo de los términos puede representar una disminución en los costos por descuento en materia prima.

Figura 3

Proceso de tratamiento de residuos, Envase.

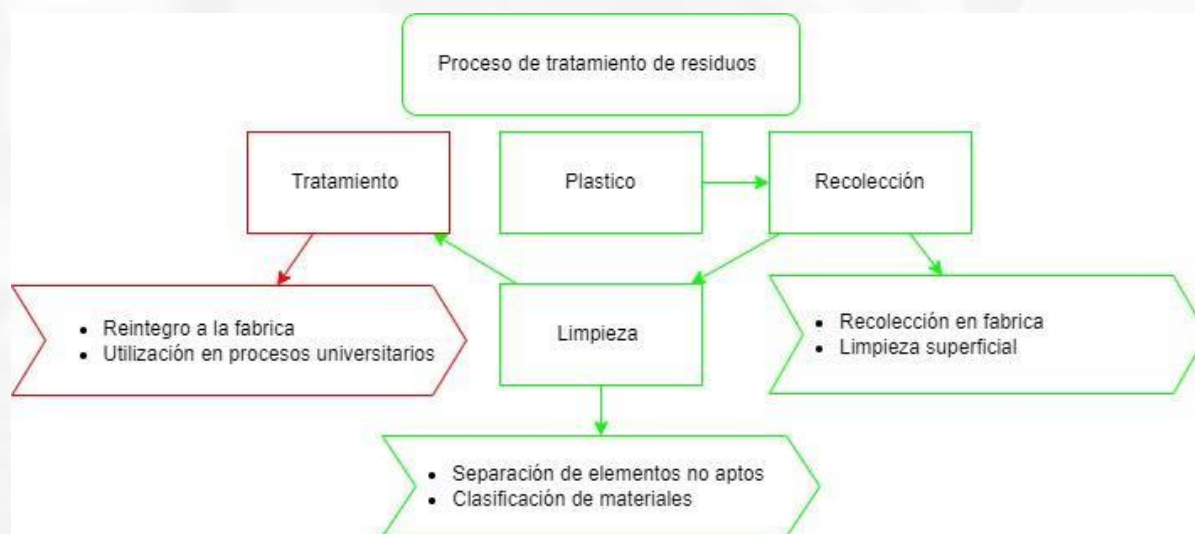


Fuente. Elaboración propia (2024)

Para el proceso de tratamiento de envase, siendo la cadena más complicada de implementar debido a la preparación que se tiene que hacer en sistemas de reintegración y limpieza, comenzando con la recolección, se necesita un sistema de logística inversa para retornar los envases desde el consumidor final a la empresa, realizar un proceso superficial de clasificación para determinar si el contenedor es apto o no. La limpieza para estos productos se tiene que tratar con elementos químicos que puedan ser capaces de retirar cualquier tipo de pegamento o sustancia nociva para el ser humano, esto, seguido de un lavado de aguas tratadas para devolver la neutralidad al vidrio y de nuevo clasificar los envases que cumplan los estándares de calidad, después de este proceso las botellas estarían listas para reintegrarse al proceso de producción.

Figura 4

Proceso de tratamiento de residuos, Plástico.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Para el proceso de reintegro del plástico existen diferentes factores para su utilización, no se tiene conocimiento si la empresa proveedora es capaz de reprocesar las tapas de plástico o cualquier otro residuo de este material, por lo que el modelo a implementar estará basado en la utilización de este recurso en pro de la comunidad, pasando por un proceso de recolección y limpieza que descartara materiales no deseados, posteriormente una separación y clasificación ya que no todos los plásticos son del mismo tipo, los plásticos a base de polietileno y polipropileno pueden ser utilizados en el ámbito educativo como materia prima para impresoras 3D, los de alta densidad se pueden aprovechar como triturado para procesos de fundición de bloques de construcción o generación de proyectos que utilicen este producto para realizar un aporte y darle otro uso.

Discusión

La economía circular y la logística inversa en la Industria Licorera del Cauca (ILC), como una estrategia sostenible para el aprovechamiento y reutilización de residuos generados en su proceso productivo, muestra una oportunidad de mejora y el impacto potencial de estas prácticas. La fase inicial de recolección de información revela que la gestión de residuos en la ILC está significativamente rezagada, en comparación con las mejores prácticas internacionales. En Europa, más del 94% de las empresas que adoptan una gestión eficaz de residuos reducen costos y mejoran su eficiencia operativa. En contraste, la ILC enfrenta problemas graves de contaminación y altos costos debido a la acumulación de residuos como cartón, plástico y vidrio, sin un sistema circular eficiente para su manejo.

La situación actual en la ILC muestra una falta de organización en la recolección y disposición final de los residuos. Aunque existen esfuerzos comunitarios para reciclar ciertos materiales como cartón y cintas de poliéster, plásticos y vidrio no cuentan con una cadena de retorno adecuada y terminan en rellenos sanitarios. Esto contrasta con prácticas en pequeñas y medianas empresas en Cali, donde se han integrado principios de economía circular desde el inicio, aprovechando oportunidades que las grandes empresas podrían pasar por alto.

El modelo propuesto para la ILC se centra en tres áreas principales: tratamiento de vidrio, envases y plásticos. Cada uno de estos procesos busca no solo reducir los residuos, sino también generar valor adicional:

- Vidrio: El vidrio recolectado se clasifica y se reintegra a la fábrica IO PELDAR para fabricar nuevas botellas, aprovechando su capacidad de reciclar hasta un 50% de botellas usadas.
- Envases: La logística inversa para envases requiere una limpieza y clasificación rigurosa para asegurar su reutilización en el proceso productivo. Este enfoque es más complejo, pero puede resultar en ahorros significativos y reducción de residuos.
- Plásticos: La propuesta se orienta hacia el uso comunitario, como en la producción de filamentos para impresoras 3D y materiales de construcción. Esto no solo reduce residuos, sino que también apoya el desarrollo de las partes interesadas, ya que existen otros proyectos en la Fundación universitaria de Popayán que manejan el aprovechamiento de estos materiales.

Comparando el estado actual con el modelo propuesto, se espera que la implementación de prácticas de economía circular en la ILC logre una reducción de Costos, en donde se reduzca

costos operativos mediante una gestión eficiente de residuos. Integrar prácticas sostenibles fortalecerá la ventaja competitiva, mejorando su imagen de responsabilidad socio-ambiental y adaptabilidad a entornos cambiantes, ya que no solo mejora su sostenibilidad, sino que también contribuye al desarrollo económico local.

Conclusiones

La implementación de la economía circular y la logística inversa en la Industria Licorera del Cauca (ILC) ofrece una estrategia viable para la recuperación y reutilización de residuos generados en su proceso productivo. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también proporciona beneficios económicos tangibles al reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos.

Al igual que en las empresas europeas, la gestión eficaz de residuos en la ILC puede llevar a una significativa reducción de costos operativos y una mejora en la competitividad. El reciclaje y reutilización de materiales no solo disminuye los gastos de aprovisionamiento de materias primas, sino que también fortalece la imagen de la empresa como una entidad responsable y sostenible. La adopción de un sistema circular en la ILC requiere una inversión considerable en infraestructura y tecnologías para la purificación y tratamiento de residuos. Este desafío es especialmente relevante en la industria alimentaria, donde es crucial cumplir con estrictos estándares de inocuidad.

El modelo de economía circular propuesto para la ILC, proporciona una ruta clara para la transformación de residuos en recursos valiosos. No obstante, el modelo muestra una mejora en la gestión de residuos de la empresa, donde aporta e integra a la comunidad en el proceso.

Referencias bibliográficas

- Acosta-Pérez, I., Marrero-Delgado, F., & Espinosa-Martínez, J. U. (2020). La economía circular como contribución a la sostenibilidad en un destino turístico cubano de sol y playa. *Estudios y perspectivas en turismo*, 29(2), 406-425.
- Baños, M. R., & Anaya, A. L. G. (2019). Prevención de la generación de residuos en el marco de una economía ecológica y solidaria: Un análisis del manejo de residuos en los municipios de México. *Sociedad y Ambiente*, 21, 7-31.
- Bedoya Aristizabal, G. C., Camacho Quiroga, C. A., Castaño Ospina, N. C., & Cruz Palacios, T. F. (2019a). *Economía circular como estrategia de responsabilidad social empresarial en Bogotá y zona de influencia, desde la lectura del marketing*.
- Bedoya Aristizabal, G. C., Camacho Quiroga, C. A., Castaño Ospina, N. C., & Cruz Palacios, T. F. (2019b). *Economía circular como estrategia de responsabilidad social empresarial en Bogotá y zona de influencia, desde la lectura del marketing*.
- Castro Guamán, J. O. & others. (2021). *Análisis del estado actual en el manejo de residuos sólidos en Antioquia* [PhD Thesis]. Universidad EAFIT.
- Castro Pérez, V. K. & others. (2018). *Manejo de residuos sólidos del sector textil en Colombia basado en el modelo de economía circular*.
- Contreras Castañeda, E., Tordecilla Madera, R., & Silva Rodríguez, J. (2013). Revisión de estudios de caso de carácter cualitativo y exploratorio en logística inversa. *Revista EIA*, 20, 153-164.

- Echeverry González, F., García Ruiz, M. G., & others. (2020). *Retos & oportunidades para la implementación de modelos de economía circular: Producto como servicio en las empresas de consumo masivo en Colombia*.
- García Acosta, M. V. & others. (s. f.). *Sistema de reciclaje de textiles post-consumo para el desarrollo de productos de economía circular en la ciudad de Bogotá, DC*.
- González, G. I. (2020). *De la economía lineal a la circular: La logística inversa y la sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio*. Ápeiron Ediciones.
- Hermida, J. S. O. (s. f.). *Economía Circular*. 43.
- Martínez Valencia, A. F., Bueno Arias, L. C., Cabezas Porras, C. C., & Ospina Alba, D. E. (2021). *Análisis del desarrollo de la economía circular aplicada al uso de envases para alimentos y bebidas en Colombia*.
- Mata Salas, A. E. (2019). *La Economía Circular como modelo para la Mejora Económico-Productiva en el Sector Manufacturero de la Zona 2 Y 9 del Ecuador, Priorizando Procesos Ecológicos y Uso Eficiente de Recursos* [B.S. thesis]. Quito: UCE.
- Ortigosa, L. R. (s. f.). *Diagnóstico De Los Residuos De Botellas De Vidrio De Bebidas Alcohólicas En el Casco*. 94.
- Parra Ortegón, M. A. (2020). *Economía circular, la economía del futuro* [B.S. thesis]. Universidad de Ibagué.
- Salazar, L. N. S. (s. f.). *Trabajo presentado para optar por el título académico de máster en ing. industrial*. 128.

Sánchez, R., Najul, M. V., Ortega, E., & Ferrara, G. (2009). El manejo de los residuos en la industria de agroalimentos en Venezuela. *Interciencia*, 34(2), 91-99.

Vellojín, L. C., González, J. C. M., & Mier, R. A. (2006). Logística Inversa: Una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones. *Ingeniería y desarrollo*, 20, 184-202.

Wandurraga Arevalo, L. A. & others. (s. f.). *Economía circular: Una alternativa para la planeación ambiental y preservación de los recursos naturales*.

Yasnó Serrato, N., Rodríguez Ortigosa, L., & others. (s. f.). *Diagnóstico de los residuos de botellas de vidrio de bebidas alcohólicas en el casco urbano del municipio de Neiva*.



CAPÍTULO #2

Sistema de correspondencia para cálculo de relación píxel centímetro en mesa de ensamble por cámara web con inclinación

Correspondence System for Pixel-Centimeter Ratio Calculation in an Assembly Table Using a Tilted Webcam

José Hernando Mosquera De la Cruz³

Alexander Martínez Álvarez⁴

Sandra Esperanza Nope Rodríguez⁵

Humberto Loaiza Correa⁶

María De los Ángeles Delgado⁷

Juan Felipe Penagos Angrino⁸

Gabriel Alejandro Rodríguez Téllez¹⁹

Juan David Jamiroy Cabrera¹⁰

³ Mg. En Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia <https://orcid.org/0000-0002-9324-1692>, hernando0407@gmail.com.

⁴ Doctor en Automática y Robótica. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-9324-1692>, amartin@javerianacali.edu.co.

⁵ Doctora en Ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0245-1086>, sandra.nope@correounivalle.edu.co.

⁶ Doctor en Robótica y Visión Artificial. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-7206-7333>, humberto.loaiza@correounivalle.edu.co.

⁷ Ingeniera Electrónica. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0005-3634-8740>, mariadg19@javerianacali.edu.co.

⁸ Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0003-6662-3657>, juanfepa0105@javerianacali.edu.co.

⁹ Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0001-0064-6245>, gabriel2000529@javerianacali.edu.co.

¹⁰ Ingeniero Electrónico. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0004-1882-1517>, juan2018@javerianacali.edu.co.

Resumen

Se desarrolló un sistema de visión por computador que permite calcular la relación de correspondencia entre una mesa de ensamble robótico y una imagen captura por una cámara web con inclinación, obteniendo una relación píxel/centímetro. El sistema inicialmente captura una imagen a color en formato RGB en espectro visible, con una resolución de 640x480 pixeles. Posteriormente aplica una ecualización del histograma y realiza una transformación del plano RGB al plano HSV, seguido a esto, aplica un filtrado por color rojo a una zona rectangular con grosor en sus bordes de aproximadamente 1 cm hacia afuera con dimensiones rectangulares de 33.2 cm por 23.2 cm la cual denominaremos zona de trabajo y está sobrepuesta en una mesa metálica de 90 cm por 50 cm.

Una vez binarizada la imagen, se aplica una detección de bordes y posteriormente una aproximación poligonal de cuatro lados para identificar las cuatro esquinas de la zona de trabajo, este proceso da como resultado dos rectángulos: un interno y uno externo, entre los que se toma el de menor área. Posterior a esto, se realiza una transformación de perspectiva para obtener una imagen equivalente a tener la cámara en una posición de vista superior. Experimentalmente, se encontraron errores en las zonas superiores de la zona de trabajo, por esta razón, esta investigación propone un post-procesamiento que sirve como corrección final para calcular la relación píxel/centímetro propuesta.

Palabras clave: Visión artificial, correspondencia píxel centímetro, filtrado por color, detección de bordes, aproximación poligonal.

Abstract

A computer vision system was developed that allows calculating the correspondence relationship between a robotic assembly table and an image captured by a tilted webcam, obtaining a pixel/centimeter ratio. The system initially captures a color image in RGB format in the visible spectrum with a resolution of 640x480 pixels, then applies a histogram equalization and performs a transformation from the RGB plane to the HSV plane, followed by applying red color filtering to a Rectangular area with thickness at its edges of approximately 1 cm outwards with rectangular dimensions of 33.2 cm by 23.2 cm which we will call the work area and is superimposed on a 90 cm by 50 cm metal table.

Once the image is binarized, an edge detection is applied and later a four-sided polygonal approximation to identify the four corners of the work area, this process results in two rectangles, one internal and one external, the one with the smallest is taken. area. After this, a perspective transformation is performed to obtain an image equivalent to having the camera in a top view position. Experimentally, errors were found in the upper areas of the work area, for this reason this research proposes a post-processing that serves as a final correction to calculate the proposed pixel/centimeter ratio.

Keywords: Artificial vision, pixel-centimeter correspondence, color filtering, edge detection, polygonal approximation.

Introducción

Los procesos industriales han experimentado un rápido progreso en las últimas décadas gracias a la automatización de procesos, la integración de robots colaborativos y los avances en la inteligencia artificial (Abbasi et al., 2019; Jana et al., 2017; Jiao, 2022; Kepuska & Bohouta, 2018; Mukherjee et al., 2022; Yang et al., 2018). Sin embargo, al día de hoy robots colaborativos comerciales como el UR3 (U-Robots, 2023) solo ofrecen de fábrica mecanismos de interacción/programación basados en interfaces kinestésicas y tele operadas, las cuales requieren la intervención de un humano operador con entrenamiento y capacitaciones técnicas para programar movimientos del robot (Haage et al., 2017; Jiao, 2022; Kulak et al., 2021; Lázaro-Gredilla et al., 2019; Mosquera-DeLaCruz et al., 2019; Sakr et al., 2020; Wang et al., 2022).

En la búsqueda de esta autonomía del robot colaborativo, la comunidad científica ha integrado cámaras que permitan capturar y reconocer el ambiente operativo, facilitando procesos industriales como el reconocimiento de piezas, clasificación, ensamble o paletización (Askarpour, 2020; Chatila et al., 2018; Gonzalez-Billandon et al., 2020; Li et al., 2022; Oksana et al., 2020; Yang et al., 2018).

Uno de los principales problemas experimentados al integrar una cámara con un robot colaborativo, es el problema de la correspondencia, el cual necesita establecer una relación píxel/centímetro para transformar las coordenadas en las imágenes de los objetos identificados mediante visión por computador, en coordenadas espaciales reales para accionar el robot y poder interactuar físicamente con estos objetos (Antol et al., n.d.; Das et al., 2016; Gonzalez-billandon et al., 2020; Jiao, 2022; Mukherjee et al., 2022; Wang et al., 2022). Esta investigación propone un sistema de visión por computador que permite calcular la relación de correspondencia píxel/centímetro entre una mesa de ensamble robótico y una imagen captura por una cámara web

con inclinación. A continuación, se presenta la descripción del sistema propuesto, las pruebas realizadas, resultados obtenidos y finalmente las conclusiones.

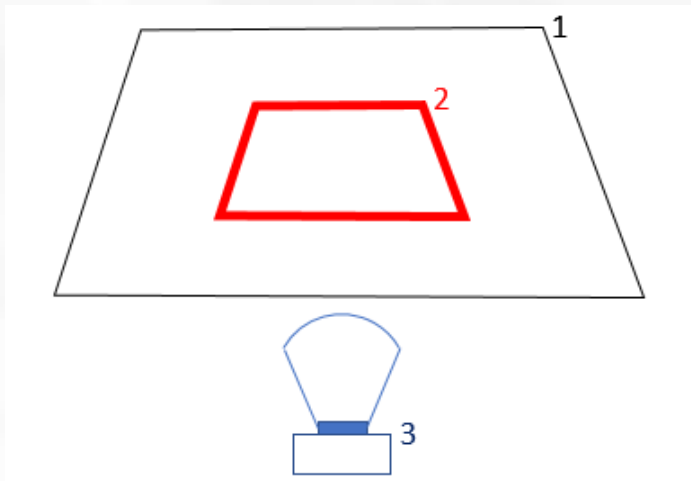
Metodología

El robot colaborativo UR3 posee de fábrica dos modos de programación (kinestésica y tele operada), pero no cuenta con una interacción natural humano robot comandada por gestos, por esta razón, esta investigación presenta un diseño que permite identificar las coordenadas de objetos capturados por una cámara web, los cuales están ubicados en la mesa de ensamble del robot, obteniendo un módulo de visión importante para futuros desarrollos de interacción gestual humano-robot.

Esta investigación se ejecutó en el Centro de Automatización de Procesos Industriales (CAP) de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, donde se utilizó una mesa de ensamble metálica de 90.0 cm por 50.0 cm, sobre la que se demarcó con cinta roja un espacio de trabajo de 33.2 cm por 23.2 cm y se utilizó una cámara web Logitech C920 como se presenta en la Figura 1.

Figura 1

Espacio de trabajo



1. Mesa de ensamble:

90.0cm por 50.0cm

2. Espacio de trabajo:

33.2cm por 23.2cm

3. Cámara web:

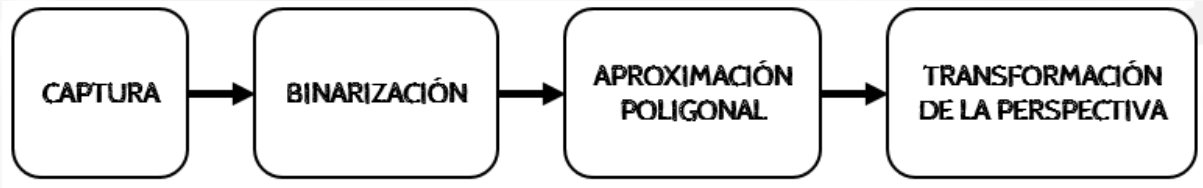
Logitech C920

Fuente. Elaboración propia (2024)

El sistema fue implementado utilizando un sistema operativo *Windows10Pro64bits*, utilizando como IDE *VisualStudioCode*, lenguaje de programación *Python3.9.12* y está compuesto por cuatro etapas como se presenta en la Figura 2. A continuación, se explica cada una de las etapas desarrolladas:

Figura 2

Sistema propuesto



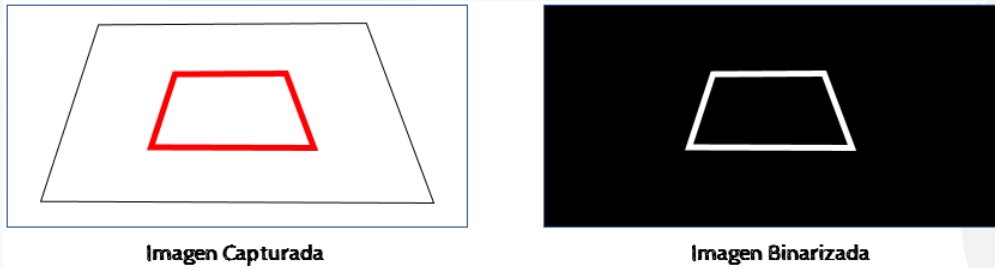
Fuente. Elaboración propia (2024)

Captura: esta etapa es la encargada de capturar el espacio de trabajo y fue realizada por medio de la Cámara Web Logitech C920 la cual fue conectada por USB 2.0 y se configuró para capturar imágenes a una resolución estándar de 640x480 píxeles, con una corrección de iluminación automática y en un ambiente de experimentación con iluminación semi controlada en un ambiente tipo oficina.

Binarización: esta etapa convierte la imagen capturada a color en una imagen completamente negra, en la cual, se resaltan en blanco los píxeles correspondientes a la cinta de color rojo que delimita el espacio de trabajo, como se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Binarización



Fuente. Elaboración propia (2024)

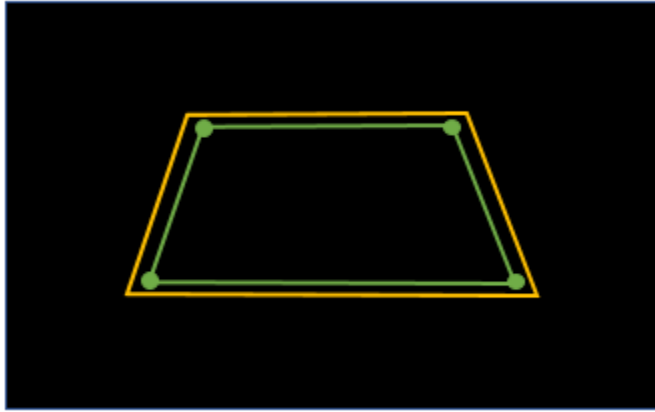
Para realizar esta conversión, inicialmente se realiza una transformación del espacio de color RGB al espacio de color HSV y posteriormente se realiza un filtrado con base en la ecuación (1) presentada a continuación:

$$\text{sí } (0 \leq H \leq 50 \vee 175 \leq H \leq 179) \& 100 \leq S \leq 255 \& 20 \leq V \leq 255 \rightarrow \in \text{píxeles_cinta} \quad (1)$$

Aproximación poligonal: una vez binarizada la imagen, se realiza un proceso de detección de bordes y aproximación poligonal detectando todos los objetos compuestos por cuatro lados, de los dos cuadrados detectados, se realiza una comparación por área, identificando un cuadrado exterior (amarillo) y un cuadrado interior (verde) para el cual son almacenadas las coordenadas de cada una de sus esquinas y serán procesadas en la siguiente etapa. Los resultados de la aproximación poligonal son presentados en la Figura 4.

Figura 4

Aproximación poligonal

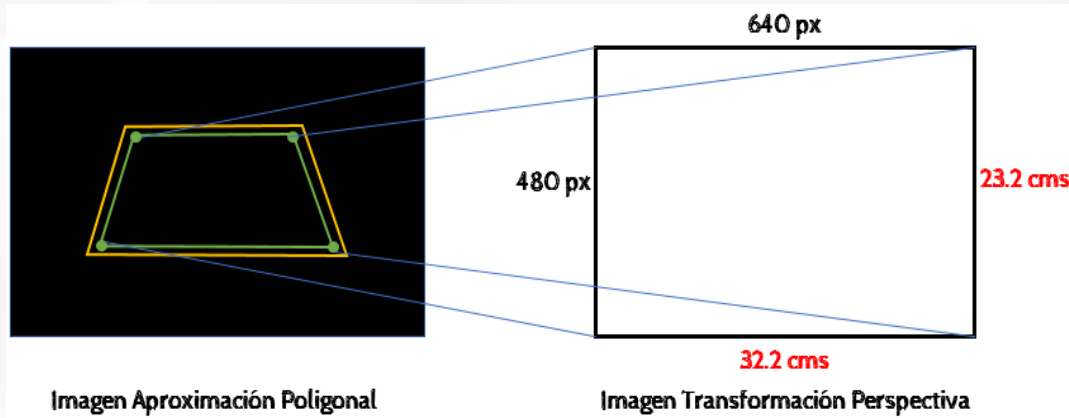


Fuente. Elaboración propia (2024)

Transformación de la perspectiva: esta etapa es la encargada de tomar los cuatro vértices del área de trabajo (Cuadrado verde en Figura 4) y construir una nueva imagen de dimensiones 640x480 pixeles que represente una proyección de vista superior como se presenta en la Figura 5.

Figura 5

Transformación de la perspectiva



Fuente. Elaboración propia (2024)

La transformación de perspectiva es realizada al aplicar la matriz de transformación M presentada en (2), a continuación:

$$M = \begin{pmatrix} -2,6163 \cdot 10^0 & -1,8080 \cdot 10^{-1} & 1,4692 \cdot 10^3 & -5,3953 \cdot 10^{-1} & 2,5701 \cdot 10^0 & 5,5277 \cdot 10^1 \\ 2,0502 \cdot 10^{-4} & 6,6274 \cdot 10^{-4} & 1,0000 \cdot 10^0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Una vez obtenida la imagen resultante de dimensión 640x480 píxeles y conociendo las dimensiones del espacio de trabajo 23.2x32.2 centímetros, es posible realizar un cálculo de correspondencia de relación píxel centímetro; permitiendo identificar las coordenadas reales (centímetros) de cualquier coordenada del espacio de trabajo (píxeles), utilizando la ecuación (3) presentada a continuación:

$$\text{Perspectiva } x \text{ cms} = \text{CoordenadaX(px)} / 640(\text{px}) \times 32.2 \text{ cms}$$

$$\text{Perspectiva } y \text{ cms} = \text{CoordenadaY(px)} / 480(\text{px}) \times 23.2 \text{ cms} \quad (3)$$

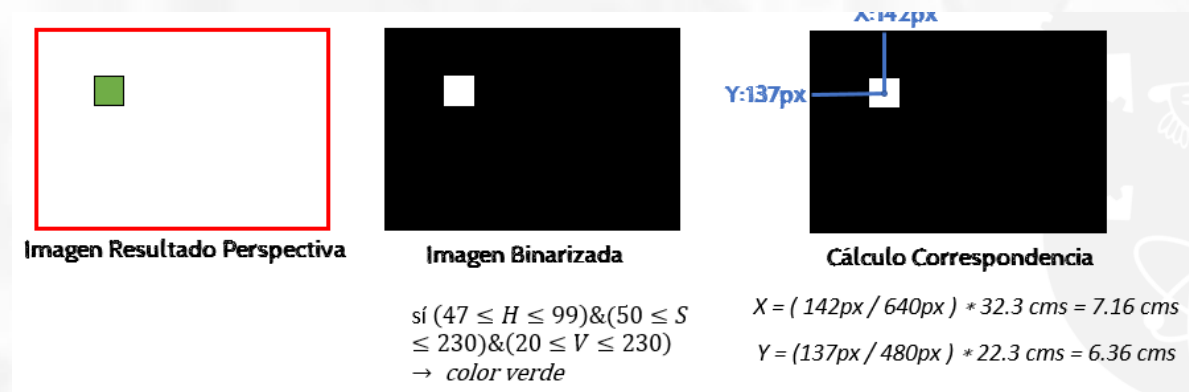
Resultados

Una vez desarrollado el sistema de correspondencia basado en visión por computador que permite el cálculo de la relación píxel centímetro para el espacio de trabajo descrito anteriormente, es necesario realizar un conjunto de pruebas que permita cuantificar la precisión del sistema implementado. Con base en lo anterior, se desarrollaron las siguientes pruebas:

Inicialmente, se ubicó un objeto cubico verde (Figura 6, izquierda) impreso en 3D en material PLA con dimensiones cubicas de 2x2x2 centímetros, para el cual se realiza la captura y binarización con base en la ecuación (Figura 6, medio), para finalmente realizar la identificación del centro y cálculo de la correspondencia a centímetros (Figura 6, derecha).

Figura 6

Cálculo de la posición del cubo verde para pruebas



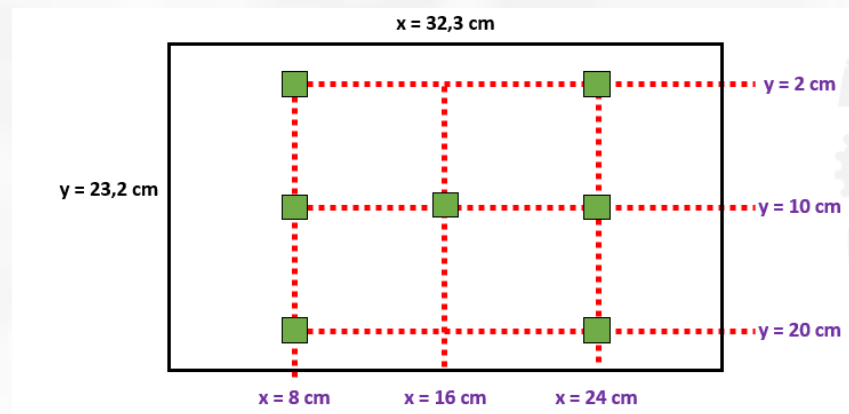
Fuente. Elaboración propia (2024)

Las pruebas iniciales fueron desarrolladas con un conjunto de siete cubos verdes separados equidistantemente en los ejes verticales y horizontales, como se dispone en la Figura

7.

Figura 7

Patrón de pruebas iniciales



Fuente. Elaboración propia (2024)

El resultado de la comparación entre la ubicación real de cada cubo y la ubicación calculada por el sistema de correspondencia propuesto es presentado en la Tabla 1.

Tabla 1

Resultados pruebas iniciales

Comparación ubicación real vs ubicación estimada						
Cubo	RealX (cm)	EstimadoX (cm)	ErrorX (%)	RealY (cm)	EstimadoY (cm)	ErrorY (%)
1	8	7,76	3,09	2	0,1	95
2	24	24,27	1,11	2	0,1	95
3	8	7,74	3,36	10	9,1	9
4	16	15,76	1,52	10	8,9	11
5	24	23,75	1,05	10	8,9	11
6	8	7,02	13,96	20	18,9	5,5
7	24	24,26	1,07	20	19	5
		Error Promedio X	3,60		Error Promedio Y	33,07

Fuente. Elaboración propia (2024)

Partiendo de los resultados experimentales obtenidos en la Tabla 1, se observó un error promedio del 33,07% en el eje Y, teniendo en cuenta lo anterior, se propone una corrección de post-procesamiento para el ajuste de las posiciones finales calculadas en el sistema de correspondencia propuesto, el cual se presenta a continuación en la Figura 8.

Figura 8

Corrección propuesta (post-procesamiento)

$x = x + 0,25 \text{ cm}$ $y = y + 2 \text{ cm}$	$x = x - 0,25 \text{ cm}$ $y = y + 2 \text{ cm}$	y = 3 cm
$x = x + 0,25 \text{ cm}$ $y = y + 1 \text{ cm}$		
$x = x + 1 \text{ cm}$ $y = y + 1 \text{ cm}$	$x = x - 0,25 \text{ cm}$ $y = y + 1 \text{ cm}$	y = 18,125 cm
x = 16,1 cm		

Fuente. Elaboración propia (2024)

Una vez aplicada la corrección propuesta (post-procesamiento) se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 2.

Tabla 2

Resultados pruebas con post-procesamiento

Comparación ubicación real vs ubicación estimada						
Cubo	RealX (cm)	EstimadoX (cm)	ErrorX (%)	RealY (cm)	EstimadoY (cm)	ErrorY (%)
1	8	8,01	0,12	2	2,1	5
2	24	24,02	0,08	2	2,1	5
3	8	7,99	0,13	10	10,1	1
4	16	16,01	0,06	10	9,9	1
5	24	24	0,00	10	9,9	1
6	8	8,02	0,25	20	19,9	0,5
7	24	24,51	2,08	20	20	0
		Error Promedio X	0,39		Error Promedio Y	1,93

Fuente. Elaboración propia (2024)

Experimentalmente se observó un sistema de correspondencia que permite calcular la relación píxel centímetro obteniendo errores del 0.39% en X y 1.93 en Y.

Conclusiones

La investigación cumplió con los objetivos planteados inicialmente, ya que se desarrolló un sistema de visión artificial que permite realizar el cálculo de correspondencia en la relación píxel centímetro utilizando una cámara web con inclinación, utilizando como robot experimental el UR3. Los resultados obtenidos en esta investigación se convierten en un módulo de visión de suma importancia para la implementación a futuro de un sistema de interacción gestual humano-robot, ya que permite identificar las coordenadas de los objetos ubicados en la mesa de ensamble, abriendo la posibilidad de enseñar tareas de desplazamiento o clasificación al robot mediante demostraciones gestuales.

El sistema implementa técnicas de binarización, aproximación polinómica y transformación de la perspectiva para estimar una coordenada en el espacio de trabajo, propone un post-procesamiento el cuál fue obtenido de manera experimental y permite realizar una corrección en el error de las mediciones pasando de un 3.6% a 0.39% en el eje X y una mejora de 33.07% al 1.93% en el eje Y. El desarrollo actual puede ser mejorado aplicando técnicas de calibración o la integración de sensores de profundidad que permita capturar los objetos en un espectro infrarrojo, facilitando el cálculo de distancias y formas cuando el ambiente de trabajo no sea controlado, lo cual delimita el desempeño de los sistemas de filtrado por color.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con recursos del proyecto de investigación *Aproximación a una arquitectura cognitiva para el aprendizaje y generalización de un proceso de clasificación aplicado en un robot colaborativo*, el cual pertenece a la Convocatoria interna de proyectos *Por una universidad transformadora: Horizonte 2021-2025*, Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Referencias bibliográficas

- Abbasi, B., Monaikul, N., Rysbek, Z., & Eugenio, B. Di. (2019). *A Multimodal Human-Robot Interaction Manager for Assistive Robots*. 6756–6762.
- Antol, S., Agrawal, A., Lu, J., Mitchell, M., Batra, D., Zitnick, C. L., & Parikh, D. (n.d.). VQA : Visual Question Answering. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2425–2433.
- Askarpour, M. (2020). How to Formally Model Human in Collaborative Robotics. *Second Workshop on Formal Methods for Autonomous Systems (FMAS2020)*, 1–14.
<https://doi.org/10.4204/EPTCS.329.1>
- Chatila, R., Renaudo, E., Andries, M., Chavez-Garcia, R. O., Luce-Vayrac, P., Gottstein, R., Alami, R., Clodic, A., Devin, S., Girard, B., & Khamassi, M. (2018). Toward self-aware robots. *Frontiers Robotics AI*, 5(AUG). <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00088>
- Das, N., Prakash, R., & Behera, L. (2016). Learning object manipulation from demonstration through vision for the 7-DOF barrett WAM. *2016 IEEE 1st International Conference on Control, Measurement and Instrumentation, CMI 2016, Cmi*, 391–396.
<https://doi.org/10.1109/CMI.2016.7413777>
- Gonzalez-Billandon, J., Sciutti, A., Sandini, G., & Rea, F. (2020). Towards a cognitive architecture for self-supervised transfer learning for objects detection with a Humanoid Robot. *ICDL-EpiRob 2020 - 10th IEEE International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics*. <https://doi.org/10.1109/ICDL-EpiRob48136.2020.9278078>

- Gonzalez-billandon, J., Sciutti, A., Tata, M., Sandini, G., & Rea, F. (2020). *Audiovisual cognitive architecture for autonomous learning of face localisation by a Humanoid Robot*. 5979–5985
- Haage, M., Piperagkas, G., Papadopoulos, C., Mariolis, I., Malec, J., Bekiroglu, Y., Hedelind, M., & Tzovaras, D. (2017). Teaching Assembly by Demonstration Using Advanced Human Robot Interaction and a Knowledge Integration Framework. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.221>
- Jana, S., Basak, S., & Parekh, R. (2017). Automatic fruit recognition from natural images using color and texture features. *Proceedings of 2nd International Conference on 2017 Devices for Integrated Circuit, DevIC 2017*, 620–624. <https://doi.org/10.1109/DEVIC.2017.8074025>
- Jiao, Z. (2022). Research on multimodal human-computer interaction technology based on audiovisual fusion. *2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing, ICSP 2022*, 1378–1381. <https://doi.org/10.1109/ICSP54964.2022.9778516>
- Kepuska, V., & Bohouta, G. (2018). Next-generation of virtual personal assistants (Microsoft Cortana, Apple Siri, Amazon Alexa and Google Home). *2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2018, 2018-Janua(c)*, 99–103. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2018.8301638>
- Kulak, T., Girgin, H., Odobez, J., & Calinon, S. (2021). *Active Learning of Bayesian Probabilistic Movement Primitives*. 6(2), 2163–2170.

- Lázaro-Gredilla, M., Lin, D., Swaroop Guntupalli, J., & George, D. (2019). Beyond imitation: Zero-shot task transfer on robots by learning concepts as cognitive programs. *Science Robotics*, 4(26), 1–16. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aav3150>
- Li, S., Zheng, P., Fan, J., & Wang, L. (2022). *Toward Proactive Human – Robot Collaborative Assembly : A Multimodal*. 69(8), 8579–8588.
- Mosquera-DeLaCruz, J. H., Loaiza-Correa, H., Nope-Rodríguez, S. E., & Restrepo-Girón, A. D. (2019). Internet Access by Voice Commands: Navigation Application for Facebook , Gmail and Chrome. *Article under Evaluation in the Journal “Ingeniería e Investigación”*, Universidad Nacional de Colombia.
- Mukherjee, D., Gupta, K., Chang, L. H., & Najjaran, H. (2022). A Survey of Robot Learning Strategies for Human-Robot Collaboration in Industrial Settings. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73(July 2021), 102231. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102231>
- Oksana, L., Ihor, T., & Pavlo, L. (2020). Navigation Assistive Application for the Visually Impaired People. *Proceedings - 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2020*, 320–325, <https://doi.org/10.1109/DESSERT50317.2020>.
- Sakr, M., Freeman, M., MacHiel, H. F., Loos, V. Der, & Croft, E. (2020). Training Human Teacher to Improve Robot Learning from Demonstration: A Pilot Study on Kinesthetic Teaching. *29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2020*, 800–806. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN47096.2020.9223430>

- U-Robots. (2023). Universal Robot UR3. [Online]. Available at <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/>, [Accesed 05 Jun, 2023].
- Wang, W., Li, R., Chen, Y., Sun, Y., & Jia, Y. (2022). Predicting Human Intentions in Human-Robot Hand-Over Tasks Through Multimodal Learning. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 19(3), 2339–2353.
<https://doi.org/10.1109/TASE.2021.3074873>
- Yang, L., Dong, Y., Zhuang, J., & Li, J. (2018). A Recognition Algorithm for Workpieces Based on the Machine Learning. *Proceedings - 2018 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design, ISCID 2018*, 2, 371–375.
<https://doi.org/10.1109/ISCID.2018.101>



CAPÍTULO #3

El uso del big data en el derecho de los consumidores

The Use of Big Data in Consumer Law

Karol Daniela Alvarez Ordoñez ¹¹

Alexandra Valeria Bolívar Reyes ¹²

Resumen

En la actualidad, el acceso a una gran cantidad de información y la facilidad con la que se puede obtener plantea una serie de interrogantes sobre la legalidad y seguridad en el manejo de los datos personales. Los usuarios se preguntan hasta qué punto sus datos están protegidos y si ellos tienen el control de su información o si son las grandes empresas las que tienen el dominio sobre ellos. Por tanto, es importante analizar y proponer recomendaciones para la protección de los datos personales y entender el papel del Estado como regulador y protector de los derechos de los ciudadanos en la era de la tecnología.

En este sentido, el estudio parte del análisis de conceptos y expresiones relacionados con la tecnología, los derechos individuales y la privacidad de los consumidores en el contexto actual. La investigación revela que los datos generados, subidos o publicados en internet o en la nube, afectan de manera íntima y personal a las personas, ya que a través de las redes sociales se

¹¹ Abogada. Universidad San Buenaventura de Cali. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0005-6850-4154>. kdalvarezo@correo.usbcali.edu.co.

¹² Abogada. Universidad San Buenaventura de Cali. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0002-7279-3831>. avbolivarr@correo.usbcali.edu.co.

publica información que no es privada pero que la forma en que se obtiene si puede ser cuestionable. Por lo tanto, es necesario garantizar la protección de los datos personales de los usuarios y establecer normas claras y precisas para el manejo de la información por parte de las empresas.

Palabras claves: protección de datos, tecnología, derecho de los consumidores y los macrodatos.

Abstract

Currently, the access to a vast amount of information and the ease with which it can be obtained raises a series of questions about the legality and security of handling personal data. Users wonder to what extent their data is protected and whether they have control over their information or if large companies dominate it. Therefore, it is important to analyze and propose recommendations for the protection of personal data and to understand the role of the State as a regulator and protector of citizens' rights in the era of technology.

In this regard, the study begins with the analysis of concepts and expressions related to technology, individual rights, and consumer privacy in the current context. The research reveals that the data generated, uploaded, or published on the internet or in the cloud affects people in an intimate and personal way, as information shared on social networks is not private but the manner in which it is obtained can be questionable. Therefore, it is necessary to ensure the protection of users' personal data and to establish clear and precise regulations for the handling of information by companies.

Keywords: data protection, technology, consumer rights, big data

Introducción

La recopilación y el uso de grandes cantidades de datos, conocido como Big Data, ha cambiado la forma en que las empresas interactúan con los consumidores y toman decisiones de negocio. Sin embargo, esta práctica también ha despertado preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de la información personal de los usuarios.

En Colombia, la protección de datos personales está regulada por la Ley 1581 de 2012 y el Decreto Reglamentario 1377 de 2013. Estas normas establecen que las empresas que recopilan y utilizan datos personales deben obtener el consentimiento previo y explícito de los usuarios, informarles sobre el uso que se dará a su información y garantizar su seguridad. Además, la ley establece que los usuarios tienen el derecho de acceder, rectificar y suprimir su información personal de las bases de datos de las empresas. Las empresas que no cumplan con estas normas pueden enfrentar multas y sanciones.

A pesar de estas regulaciones, aún existen desafíos en cuanto a la protección de la privacidad de los datos personales en Colombia. Algunos de estos desafíos incluyen la falta de conciencia y educación sobre la importancia de la protección de datos, la falta de recursos para la aplicación efectiva de las normas y la falta de transparencia por parte de algunas empresas en cuanto a su uso de los datos personales. El Big Data ha transformado la forma en que se toman decisiones de negocio y se interactúa con los consumidores, en Colombia, existen normas y regulaciones para proteger los datos personales, pero aún se enfrentan desafíos en su aplicación efectiva y en la concientización sobre su importancia.

Objetivo general: Establecer el alcance que tiene el Big Data, o el uso de los macrodatos, en el derecho de los consumidores.

Objetivos específicos:

1. Determinar las implicaciones del uso del Big Data en las relaciones de consumo frente a los derechos de los consumidores.
2. Analizar el papel del Estado frente a la regulación del Big Data en relación con el derecho de los consumidores.
3. Sugerir recomendaciones teórico-prácticas que permitan el aprovechamiento oportuno del Big Data en las relaciones de consumo, previniendo los efectos adversos/negativos que este fenómeno pueda traer en el derecho de los consumidores.

Metodología

Según el tema elegido y los objetivos propuestos para esta investigación, el método que se acoge sustancialmente a esta investigación, es el método de investigación documental, ya que esta es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos, como lo son, libros, revistas, grabaciones, periódicos, memorias, bibliografías, entre otras. Esta investigación documental depende fundamentalmente de la información que se recoge o se consulta en los documentos mencionados anteriormente, en un sentido más amplio, quiere decir, es el método que se puede recurrir como fuente o referencia en cualquier momento o lugar, sin necesidad de que se altere o se vea afectada su naturaleza o su sentido, para que aporte información o rinda cuentas de una realidad o un acontecimiento. Por otro lado, se tienen en cuenta las fuentes documentales, las

cuales pueden ser, documentos escritos (libros, periódicos, revistas, encuestas, conferencias), también se encuentran los documentos electrónicos como las páginas web.

Las fases de esta investigación se dividirán de la siguiente forma:

Investigación documental cualitativa: Se centra en el interés en el presente o en el pasado cercano. Se intenta conocer un fenómeno social y cultural a partir de los textos escritos (páginas web, revistas, libros, bibliografías)

Investigación bibliográfica: Se trata de un informe narrativo de hallazgos de investigaciones individuales donde prima la opinión de cada persona. Pretende conocer, con la finalidad sobre un problema de investigación.

Investigación, para una revisión cualitativa tipo meta estudio: Como se había mencionado anteriormente, es un diseño de investigación bibliográfica/ documental. Es una estrategia para sintetizar los estudios de investigación cualitativa. Hablamos de meta estudio, que es un método de análisis y síntesis de hallazgos procedentes de investigaciones cualitativas que centra el interés en los datos, los métodos y las teorías.

Este método investigativo tiene tres niveles, los cuales son pertinentes mencionar, ya que se acogen a esta investigación

Meta-análisis o reanálisis de los datos de estudios cualitativos originales

Meta-método, analiza la calidad de los estudios a partir de las elecciones metodológicas y su efecto en la generación de los hallazgos

Meta-teoría, que explora las teorías anteriores, que ya fueron utilizadas por los investigadores y sus efectos en los hallazgos e interpretaciones de los datos. La integración de estos tres niveles es una meta síntesis.

Resultados

En Colombia, la protección de los datos personales se encuentra regulada principalmente por la Ley 1581 de 2012, conocida como la Ley de Protección de Datos Personales. Esta Ley establece los principios, derechos y obligaciones para el tratamiento adecuado de los datos personales en el país.

La Ley establece que los datos personales deben ser tratados de forma legal, legítima y segura, garantizando la privacidad, el derecho al buen nombre y la autodeterminación informativa de las personas. Además, se establecen los derechos de los titulares de los datos, como el acceso, la rectificación, la cancelación y la oposición al tratamiento de sus datos personales.

En cuanto a los datos personales que no se rigen por la Ley de Protección de Datos en Colombia, es importante tener en cuenta que esta ley se aplica a la mayoría de los datos personales, ya sea en formato físico o digital. Sin embargo, existen algunas excepciones o situaciones específicas en las cuales la ley no se aplica de manera estricta.

Cuando se aceptan las cookies en un sitio web, generalmente se está otorgando el consentimiento para que dicho sitio recopile y utilice ciertos datos personales para diversos propósitos. Aunque la legislación específica sobre cookies puede variar en diferentes países,

incluyendo Colombia, existen algunas razones por las cuales el uso de datos personales a través de cookies puede continuar incluso si no está regulado de manera específica:

- **Jurisdicción extranjera:** Muchos sitios web y servicios en línea son operados por empresas ubicadas en otros países. Aunque las leyes de protección de datos en Colombia pueden no ser directamente aplicables a estas empresas extranjeras, estas aún pueden recopilar y utilizar datos personales de los usuarios colombianos. Esto se debe a que los sitios web suelen estar sujetos a las leyes del país en el que están establecidos, y pueden tener sus propias políticas de privacidad y términos de uso.
- **Consentimiento implícito:** En algunos casos, la mera continuación del uso de un sitio web después de haber visto un aviso de cookies puede considerarse como un consentimiento implícito para el uso de cookies y la recopilación de datos personales asociados. Esto significa que, si un usuario sigue navegando en el sitio web después de haber visto el aviso de cookies, se entiende que ha aceptado el uso de cookies y el procesamiento de sus datos personales en la medida en que se haya informado en dicho aviso.
- **Normas y políticas internas de la empresa:** Aunque la legislación sobre protección de datos puede no abordar específicamente el uso de cookies, muchas empresas tienen sus propias políticas internas y prácticas para proteger la privacidad de los datos personales de sus usuarios. Estas políticas pueden incluir el cumplimiento de estándares internacionales de privacidad, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea (UE), incluso si no están legalmente obligadas a hacerlo.

En síntesis, aunque las leyes específicas sobre cookies y protección de datos pueden no estar reguladas en Colombia, la recopilación y uso de datos personales a través de cookies

puede continuar debido a la jurisdicción extranjera, el consentimiento implícito y las políticas internas de las empresas.

Tabla 1

Regulación de datos

REGULACIÓN DE DATOS PERSONALES EN COLOMBIA	REGULACIÓN DE DATOS PERSONALES EN LA UNIÓN EUROPEA (UE)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ley 1581 de 2012 ▪ Decreto Reglamentario 1377 de 2013 	<p>Establece normas relativas a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos dentro de la UE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reglamento (UE) 2016/679 y el Reglamento (UE) 2018/1725 ▪ Regulación de lo relativo a la gobernanza europea de datos- Reglamento (UE) 2022/868 que modifica el reglamento (UE) 2018/1724
<ul style="list-style-type: none"> ▪ En Colombia, la extraterritorialidad no se encuentra regulada en relación a la protección de datos personales. La primera legislación específica sobre datos personales se estableció en la Unión Europea (UE), posteriormente a la Ley 1581 de 2012 en Colombia. Por lo tanto, la regulación de los datos personales se aplica únicamente dentro del territorio colombiano. Esto implica que, si los datos personales son utilizados fuera del país, no estarían amparados por la regulación colombiana. Es importante tener en 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En relación con la extraterritorialidad, Unión Europea (UE) enfatiza en sus diversos reglamentos la importancia de proteger los datos personales de sus ciudadanos, incluso cuando dichos datos se encuentran fuera del territorio europeo. Esta medida permite que, si se requiere o se está tratando con datos personales en un entorno no europeo, se apliquen los mismos reglamentos de protección de datos para asegurar la privacidad de los ciudadanos y garantizar que dichos datos se utilicen de acuerdo con las regulaciones establecidas.

cuenta que las leyes de protección de datos pueden variar en diferentes países, y cada jurisdicción tiene sus propias regulaciones y requisitos. Por lo tanto, si se utilizan datos personales en un contexto internacional, es necesario considerar las leyes y regulaciones aplicables en cada país específico para garantizar el cumplimiento de las normativas correspondientes.

- En Colombia, el consentimiento y/o autorización es una de las bases legales para el tratamiento de datos personales. Es cierto que la Ley 1582 de 2012 establece el consentimiento como uno de los requisitos fundamentales para el tratamiento de datos personales. En cuanto a la difusión de información y la seguridad de los datos personales es cierto que la concentración de información de consumidores en un solo lugar puede representar un riesgo de seguridad y privacidad.
- En Colombia, si bien es cierto que la legislación y los decretos específicos sobre protección de datos personales pueden no hacer una mención exhaustiva de los principios y derechos constitucionales, la jurisprudencia y las sentencias emitidas por la Corte Constitucional han interpretado y desarrollado estos principios y derechos en el contexto de la protección de datos personales.
- En Colombia, si bien es cierto que la legislación sobre protección de datos personales no proporciona un paso a

- En la Unión Europea (UE), debido a la constante actualización de los reglamentos en materia de datos personales, se establece la posibilidad de contar con al menos cinco (5) bases legales diferentes. Esto permite que un entorno específico, que requiere información de un tipo particular de población, pueda acceder y almacenar los datos pertinentes provenientes de la base correspondiente.

Este enfoque tiene como objetivo respetar y proteger la información de toda población, permitiendo así el manejo y uso únicamente de la información necesaria para cumplir con los fines establecidos.

- En la UE, se hace especial énfasis en la portabilidad y la limitación de los datos personales, así como en el derecho al olvido. Estas medidas buscan garantizar que la información proporcionada a las empresas tenga una vigencia y no se mantenga de forma permanente en su poder. Además, se promueven muchos otros principios y derechos relacionados con la protección de datos personales, la transparencia en su manejo y la divulgación o compartición de ellos mismos. El objetivo principal es salvaguardar la privacidad y la seguridad de los datos personales, asegurando que los individuos tengan control y autonomía sobre su información personal.
- En el marco europeo, se establece de manera explícita la protección por diseño y por defecto de los datos. Esto

paso explícito de todos los datos que se recopilan, la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) ha emitido distintas guías y lineamientos que ofrecen orientación sobre el uso y manejo de datos personales en determinados contextos.

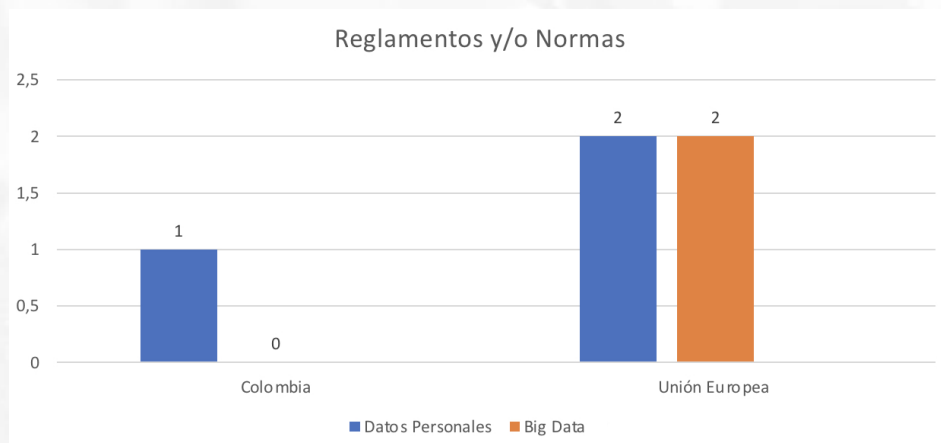
En esta última instancia, es responsabilidad de las organizaciones y entidades que manejan datos personales garantizar el cumplimiento de la legislación vigente y tomar medidas adecuadas para proteger la privacidad y los derechos de las personas en relación con sus datos personales, incluso en aquellos casos no abordados de manera específica en las guías emitidas por la SIC

significa que se deben implementar medidas de seguridad y buenas prácticas desde el diseño inicial de los sistemas y servicios que manejan datos personales. El objetivo es garantizar la seguridad y el manejo óptimo de la información, así como fomentar la interacción responsable con dichos datos. Esto implica que la protección de los datos debe ser considerada como parte integral de cualquier proceso o producto que involucre el tratamiento de datos personales, en lugar de ser una medida adicional o posterior a la implementación. De esta manera, se busca asegurar la privacidad y la integridad de los datos desde su concepción misma.

Fuente. Elaboración propia (2024)

Figura 1

Reglamentos y/o Normas



Fuente. Elaboración propia (2024)

Tabla 2

Datos Colombia y Unión Europea

	Colombia	Unión Europea
Datos Personales	1-La ley 1581 de 2012	2-Reglamento UE 2016/679 y Reglamento UE 2018/1725
Datos no personales o big data	0.	2-Reglamento EU 2022/868 que modificó el Reglamento UE 2018/1724

Fuente. Elaboración propia (2024)

La Unión Europea (UE) ha demostrado la importancia de actualizar las regulaciones relacionadas con la protección de los datos personales y de los macrodatos obtenidos de los consumidores, con el objetivo de preservar el respeto y la seguridad de los ciudadanos. La Unión Europea (UE) entiende que el mundo digital avanza constantemente y que el Estado debe garantizar la protección y seguridad de la población, incluso en situaciones que no involucran un peligro físico.

Colombia ha comenzado a regular a las empresas en relación con el uso y la forma en que se toman los datos personales de los consumidores para el funcionamiento de las empresas y para mejorar la atención al usuario. Sin embargo, es importante que el Estado Colombiano comprenda el avance de la tecnología y la velocidad con la que se produce. De esta manera, se podrán proteger

no solo los datos personales que son visibles, sino también los que macrodatos o Big Data que se recopilan de los consumidores para beneficio de muchos entornos. De este modo, se puede establecer una relación constante que priorice la seguridad y la protección de los derechos de los ciudadanos, al igual que la limitación en cuanto a la difusión y uso de los datos personales y macrodatos.

Discusión

En la era digital actual, el Big Data se ha convertido en un término ampliamente utilizado y de gran relevancia. El procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos se ha vuelto crucial para las empresas, instituciones y organizaciones en general. Sin embargo, antes de adentrarnos en cualquier discusión sobre este tema, es fundamental que las personas tengan una comprensión clara de los conceptos clave relacionados con el Big Data. En este sentido, entender qué es el Big Data y cómo se aplica en diferentes contextos, se vuelve imprescindible para participar en debates y tomar decisiones informadas. En este texto, exploraremos de manera concisa y accesible los conceptos básicos del big Data, proporcionando una base sólida para profundizar en sus implicaciones y aplicaciones en diversos ámbitos.

En esta línea, Clavijo, N. B. (2015) ha ofrecido una definición completa del Big Data, la capacidad de recolectar información en volúmenes y cantidades que antes no eran viables con los medios tecnológicos tradicionales para ser, almacenados, visualizados, compartidos, correlacionados, y analizados; de tal forma que se pueden extraer conclusiones que aportan conocimiento a un determinado campo, y con las cuales es más fácil la toma de decisiones.” (P.06). Es cierto que el uso de la tecnología ha generado un impacto significativo en múltiples

campos ha mejorado la vida de las personas en diversas funciones que antes eran casi imposibles de realizar de la forma en que se hacen hoy en día.

Un ejemplo de ello es la inteligencia artificial (IA), que ha permitido la creación de sistemas autónomos y algoritmos de aprendizaje automático que pueden realizar tareas complejas de manera más rápida y eficiente que los seres humanos. Estos sistemas y algoritmos toman una gran cantidad de datos que se suministran, ya sea con nuestro consentimiento o sin él, y estos datos terminan almacenados en distintas bases de datos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de la tecnología y la inteligencia artificial (IA) también plantea preocupaciones y desafíos en términos de privacidad y seguridad de los datos personales. Es verdad que, a diario, los usuarios no son conscientes del uso que se hace de sus datos y de quién lo está utilizando.

Por esta razón, es fundamental que las empresas y organizaciones que utilizan tecnología y recopilan datos personales lo realicen de manera responsable. Deben asegurarse de obtener el consentimiento informado de los usuarios antes de recopilar sus datos, y de proporcionar información clara sobre cómo se utilizarán estos datos. Además, deben tomar medidas para proteger la privacidad y la seguridad de los datos de sus usuarios.

La protección de los datos personales es un tema importante y que cada vez es más relevante en la era digital. En Colombia, la Ley 1581 de 2012 es el marco legal que busca regular la protección de los datos personales y garantizar los derechos de las personas sobre su información. Esta Ley establece las obligaciones de las empresas y organizaciones que manejan datos personales, como obtener el consentimiento informado de los titulares de los datos antes de usar o divulgar su información personal. También estas deben de garantizar la confidencialidad, seguridad e integridad de los datos personales.

La Ley 1581 de 2012 establece los derechos de los titulares de los datos, como el derecho de acceso, rectificación, cancelación y oposición (ARCO) a los datos personales de los seres humanos. Esto significa que las personas pueden solicitar información sobre los datos personales que tienen las empresas u organización y pueden solicitar que se modifiquen, eliminen o dejen de usar. Es importante tener en cuenta que el cumplimiento de esta ley es responsabilidad de todas las empresas y organizaciones que manejan datos personales, y su incumplimiento puede llevar a sanciones o multas. El uso excesivo de los datos personales puede ser invasivo y afectar la privacidad de los consumidores. En muchos casos, los usuarios no están conscientes de la información que se está recopilando sobre ellos y cómo se está utilizando, lo cual puede generar vulnerabilidades en sus derechos.

Es importante que el Estado busque una regulación efectiva para la protección de los datos personales y que se establezcan medidas que limiten el alcance del Big Data; esto puede incluir la implementación de leyes y regulaciones que obliguen a las empresas a ser más transparentes en cuanto a la información que recopilan y cómo la utilizan, así como establecer sanciones para aquellos que violen las normas. Es conveniente que los ciudadanos sean conscientes de sus derechos y que estén informados sobre el uso que se está dando a sus datos personales. El Estado debe implementar medidas educativas para que los usuarios tengan la información necesaria y la utilicen para proteger sus datos personales y cómo ejercer sus derechos en caso de vulneraciones.

Si bien es cierto, que, en muchos casos, los sitios web y aplicaciones no preguntan explícitamente a los usuarios si están de acuerdo con la recopilación y uso de sus datos personales, y simplemente los recopilan de manera automática. Esto es una preocupación en cuanto a la privacidad y los derechos de los consumidores. No obstante Tamayo (2020) reconoce

la apuesta de la Unión Europea frente al trato del Big Data “La derogada Directiva ha dado lugar a distintos niveles de protección de datos en cada uno de los países miembros de la UE, dificultando la libre circulación de datos personales entre ellos.

Con el Reglamento se pretende crear un marco jurídico más “sólido y coherente” en todo el territorio de la UE, lo que implica evitar las diferencias en la trasposición causadas por la antigua Directiva. Aun así, el RGPD sigue reconociendo un “margen de maniobra” a los Estados Miembros a la hora de la incorporación y adaptación a su propio Derecho. Por ejemplo, el Reglamento deja a la libertad de los Estados la configuración de un umbral de protección más exigente en relación a la categoría de los “datos sensibles”, como puede apreciarse en la LOPD” (P.20).

Por lo tanto, el Reglamento General de Protección de Datos de la UE (Unión Europea) 2018/1724, establece las normas aplicables al tratamiento de datos personales por las instituciones, órganos y organismos de la Unión Europea. La Ley de datos es una medida clave para facilitar más datos para su uso en consonancia con las normas y valores de la Unión Europea (UE). El 23 de febrero de 2022, la Comisión adoptó la propuesta del Reglamento General de Protección de Datos, sobre normas armonizadas sobre el acceso equitativo a los datos y su utilización, también conocida como Ley de Datos.

Es sustancial que el Estado Colombiano, asuma un papel activo en la protección de los derechos de los consumidores frente al uso del Big Data, y en la regulación de las empresas que hacen uso de ellas. Aunque la Ley de Protección de Datos Personales en Colombia es un paso en la dirección correcta, todavía es necesario establecer medidas más claras y efectivas que limiten la recopilación y uso de datos, y que garanticen el consentimiento y la privacidad de los usuarios en todo momento.

Las empresas que utilizan información personal deben ser claras en cuanto al uso que les dan a estos datos, y es fundamental que obtengan el consentimiento explícito de los usuarios para utilizar su información personal. Esto permitiría que los usuarios tengan un mayor control sobre sus datos personales y puedan tomar decisiones informadas sobre el uso que se les da a los mismos. Asimismo, fomentaría una mayor confianza entre los usuarios y las empresas que utilizan sus datos personales.

Como anteriormente se había mencionado, es importante que el Estado debe asumir la responsabilidad en la regulación de la protección de datos personales y el uso del Big Data, la falta de dicha regulación puede llevar a situaciones en las que los consumidores y ciudadanos se vean vulnerables frente a las empresas que manejan grandes cantidades de datos personales. La implementación de una regulación clara y efectiva en Colombia en cuanto a la protección de datos personales sería un gran avance para la protección de los derechos de los ciudadanos y consumidores.

Conclusiones

El Big Data, es un fenómeno internacional, ha sido un gran avance en el tratamiento y análisis de datos, permitiendo a las empresas y organizaciones tomar decisiones informadas y precisas en tiempo real. Además, la tecnología también ha beneficiado a las personas a través de la personalización de servicios y productos, y ha mejorado la eficiencia y productividad en diversos campos. Sin embargo, como se mencionó, también hay preocupaciones en cuanto a la privacidad y seguridad de los datos personales que se manejan en este tema. Por lo tanto, es importante encontrar un equilibrio entre los beneficios y riesgos del uso del Big Data.

De continuar así, aunque la tecnología y el Big Data han brindado grandes beneficios, también es crucial ser conscientes de la importancia de proteger nuestra privacidad y datos personales. Las empresas y organizaciones deben ser transparentes en cuanto al uso que le darán a la información que recolectan, y deben implementar medidas efectivas para proteger los datos de sus usuarios.

Asimismo, los individuos también tienen una responsabilidad en la protección de su información personal, se debe iniciar medidas de precaución en cuanto a qué datos proporcionamos y a quienes los proporcionamos, además se recomienda revisar cuidadosamente las políticas de privacidad de las aplicaciones y sitios web que se utilizan para que estemos seguros de que estamos tomando medidas para proteger nuestra información personal.

Finalmente, a modo de resumen, la tecnología y el Big Data, han tenido un impacto significativo en nuestras vidas y en el mundo empresarial. Pero es importante recordar que con estos avances también se inicia una línea de responsabilidad y autocuidado para proteger nuestra privacidad y datos personales. Todos tenemos un papel significativo, este se desempeña en garantizar que se protejan nuestros derechos y que se utilice la información verídica de manera responsable.

Agradecimientos

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de nuestra tutora y profesora Claudia Solarte, gracias por su paciencia y por sus conocimientos tan rigurosos y precisos, sus consejos fueron siempre muy útiles para escribir lo que hoy hemos logrado. Asimismo, a la Universidad San Buenaventura de Cali, por confiar en nuestro proyecto investigativo y también por haberlo financiado.

Referencias bibliográficas

- Becerra, J., Cotino Hueso, L., León, I. P., Sánchez-Acevedo, M. E., Torres Ávila, J., & Velandia Vega, J. (2018). Derecho y Big data. Bogotá: Editorial Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22964/1/derecho-y-big-data.pdf>
- BIG DATA Y POLÍTICA DE LA COMPETENCIA - ProQuest. (s. f.). <https://www.proquest.com/scholarly-journals/big-data-y-pol%C3%ADtica-de-la-competencia/docview/2133762635/se-2>
- Carvajal, E. T. (2020). Análisis documental sobre el tema del big data y su impacto en los derechos humanos. Derecho PUCP, 84, 155-188. <https://doi.org/10.18800/derechopucp.202001.006>
- Clavijo, N. B. (2015). El principio de libertad y big data en la regulación colombiana. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/13106/u714099.pdf?sequence=1>
- Decreto 1377, Ley 1581 de 2012 (27 de junio de 2013) <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>
- Gallo Sallent, J. A. (2020). El big data. Implicaciones jurídicas para un cambio de paradigma: El derecho al olvido y el consentimiento. [Tesis doctoral]. Universitat Internacional de Catalunya.

Garriga Domínguez, A. (2004). Tratamiento de datos personales y derechos fundamentales. Ed. Dykinson. Madrid.

Hoffmann-Riem, W. (2018). Big Data. Desafíos también para el Derecho.

https://books.google.com/books/about/Big_Data_Desaf%C3%ADos_tambi%C3%A9n_para_el_Dere.html?hl=es&id=jDk0EAAAQBAJ

Hueso, L. C. (2019). Riesgos e impactos del Big Data, la inteligencia artificial y la robótica. enfoques, modelos y principios de la respuesta del derecho.

https://www.researchgate.net/profile/Lorenzo-Hueso/publication/349494641_Riesgos_e_impactos_del_big_data_la_inteligencia_artificial_y_la_robotica_y_enfoques_modelos_y_principios_de_la_respuesta_del_Derecho/links/6038e67ba6fdcc37a85250cf/Riesgos-e-impactos-del-big-data-la-inteligencia-artificial-y-la-robotica-y-enfoques-modelos-y-principios-de-la-respuesta-del-Derecho.pdf

Ley 1581. Ley Estatutaria 1581 DE 2012 (17 de octubre de 2012).

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=49981

Mendoza, J. A. B., Forns, J. R., Quecedo, L., Montserrat, J. G., & Del Llano Señarís, J. (2018). Oportunidades y retos de los macrodatos (Big Data).

<https://fundaciongasparcasal.org/wp-content/uploads/2021/01/oportunidades-y-retos-de-los-macrodatos.pdf>

Monts, M. A. C. (2019). Big data, big data analytics y datos personales en los tiempos del Internet: de la autorregulación estadounidense al Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea. Estudios en derecho a la información.

<https://doi.org/10.22201/ijj.25940082e.2019.8.13882>

Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016

<https://www.boe.es/doue/2016/119/L00001-00088.pdf>

Reglamento (UE) 2018/1725 del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2018

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-81849>

Reglamento del Parlamento Europeo y el Consejo relativo a la gobernanta. Europea de datos y por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/1724 (Reglamentó de Gobernanza de Datos) <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-85-2021-INIT/es/pdf>

Sarria Hernández, L. A., & Alexander, L. (2019, 14 noviembre). Análisis económico de la regulación del Big Data en Colombia.

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/14570/3340-0582743-E.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Serrano, J. L. G. (2019). Herramientas del big data y del Fintech para prevenir y aliviar el sobreendeudamiento del consumidor: una propuesta. Revista Chilena de Derecho y Tecnología. <https://doi.org/10.5354/0719-2584.2019.54051>

Superintendencia de Industria y Comercio. (s. f.). <https://www.sic.gov.co/>

Tamayo Velasco, B. J. (2020). Big data y protección de datos: la apuesta de la Unión Europea. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/47034>

Tapias, B. H. (2013). La constitucionalización de los derechos del consumidor en Colombia: un análisis desde los derechos sociales fundamentales. Civilizar, 13(25), 33.

<https://doi.org/10.22518/16578953.127>

Tene, O., & Polonetsky, J. (2013b). Big Data for All: Privacy and User Control in the Age of Analytics. *Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property*, 11(5), 239.

<https://digital.fundacionceibal.edu.uy/jspui/bitstream/123456789/273/1/Big%20Data%20for%20All%20Privacy%20and%20User%20Control%20in%20the%20Age%20of%20Analytic.pdf>

Trujillo Agudelo, A. M. (2020). Retos para la regulación del big data y la inteligencia artificial: privacidad, democracia y derechos humanos. <http://hdl.handle.net/10784/17092>

Villamil, C. (2012, 15 noviembre). Capítulo III. Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín.

<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0094023/cap03.pdf>

Williamson, B. (2018). BIG DATA en educación. El futuro digital del aprendizaje, la política y la práctica.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=upojEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=big+data+y+los+macro+datos+&ots=oanFsMgJUL&sig=Hw18SWS7K11Y1A_Bj0uYjVD-734#v=onepage&q=big%20data%20y%20los%20macro%20datos&f=false



CAPÍTULO #4

Fundamentos de las copias de seguridad: Respaldo y recuperación de datos

Fundamentals of Backup: Data Backup and Recovery

Yerson Felipe Roxenvinge Gomez ¹³

Resumen

En la era digital actual, la copia de seguridad o backup se ha convertido en un proceso crítico para la supervivencia y el éxito de las organizaciones. Este estudio se enfoca en la implementación de estrategias efectivas de respaldo y cifrado de datos, con el objetivo de proporcionar una guía completa y práctica para empresas de todos los tamaños. La investigación aborda varios aspectos clave que son fundamentales para entender y mejorar los procesos de respaldo de datos en el contexto empresarial moderno.

La investigación aborda varios aspectos clave:

Fundamentos del respaldo de datos: Se exploran los principios básicos y los objetivos esenciales de las copias de seguridad, ofreciendo un enfoque paso a paso para desarrollar requisitos personalizados y criterios de selección de estrategias adecuadas (Smith & Johnson, 2023).

¹³ Ingeniero de sistemas. Institución Universitaria de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-2930-7618>, ferox.0@hotmail.com.

Universalidad de la aplicación: El estudio se diseña para ser aplicable independientemente de la plataforma o las herramientas específicas utilizadas, garantizando su relevancia para una amplia gama de contextos organizacionales (García et al., 2024).

Políticas de respaldo y cifrado: Se analizan métodos para definir políticas efectivas que se ajusten a las necesidades específicas de cada empresa, considerando factores como el tamaño, la industria y los requisitos regulatorios (Wilson & Lee, 2022).

Herramientas y métodos: Se evalúan diversas herramientas de software especializadas y métodos de respaldo, comparando su eficacia en términos de retención, protección y soporte de datos (Thompson, 2024).

Gestión de riesgos y continuidad del negocio: Se examina la relación entre las copias de seguridad efectivas y la mitigación de riesgos, así como su papel crucial en garantizar la continuidad del negocio (Brown & Davis, 2023).

Estándares y normativas: Se revisan los estándares internacionales y las normativas relevantes que guían las mejores prácticas en la planificación y ejecución de estrategias de respaldo de datos (International Data Protection Association, 2024).

Palabras clave: Respaldo, cifrado, estrategias, continuidad, políticas

Abstract

In today's digital era, backup has become a critical process for the survival and success of organizations. This study focuses on the implementation of effective data backup and encryption strategies, aiming to provide a comprehensive and practical guide for businesses of all sizes. The research addresses several key aspects fundamental to understanding and improving data backup processes in the modern business context.

The research addresses several key aspects:

Fundamentals of Data Backup: The basic principles and essential objectives of backups are explored, offering a step-by-step approach to develop customized requirements and criteria for selecting appropriate strategies (Smith & Johnson, 2023).

Universality of Application: The study is designed to be applicable regardless of the specific platform or tools used, ensuring its relevance to a wide range of organizational contexts (García et al., 2024).

Backup and Encryption Policies: Methods for defining effective policies tailored to the specific needs of each business are analyzed, considering factors such as size, industry, and regulatory requirements (Wilson & Lee, 2022).

Tools and Methods: Various specialized software tools and backup methods are evaluated, comparing their effectiveness in terms of data retention, protection, and support (Thompson, 2024). **Risk Management and Business Continuity:** The relationship between effective backups and risk mitigation is examined, as well as their crucial role in ensuring business continuity (Brown & Davis, 2023).

Standards and Regulations: International standards and relevant regulations guiding best practices in the planning and execution of data backup strategies are reviewed (International Data Protection Association, 2024).

Keywords: Backup, Encryption, Strategies, Continuity, Policies

Introducción

En la era digital actual, las empresas dependen cada vez más de herramientas tecnológicas para llevar a cabo sus funciones. Esta dependencia, aunque beneficiosa, también las expone a riesgos significativos. Un accidente grave con su equipo informático puede resultar en daños importantes, interrupción de actividades o, en casos extremos, incluso poner en peligro vidas (García-López, 2023). Esta realidad subraya la importancia crítica de implementar estrategias efectivas de respaldo y recuperación de datos.

Sin embargo, la preparación de las empresas ante estos riesgos es preocupantemente inadecuada. Estudios recientes revelan que menos de la mitad de las organizaciones han aplicado un plan de recuperación ante pérdida o robo de información. Más alarmante aún, la gran mayoría de estas empresas basan sus estrategias únicamente en respaldos simples, sin considerar métodos más robustos de recuperación, como el almacenamiento en ubicaciones alternativas o en la nube (Wilson, 2023).

Esta falta de preparación se extiende incluso a aquellas empresas que han implementado algún tipo de plan. Muchos de estos planes se limitan a la replicación de sistemas e información en una segunda ubicación, pero carecen de la capacidad crucial de modificar el tráfico de red entre los sitios principal y de respaldo (Barroso & Calero, 2022). Esta limitación puede ser

crítica en situaciones de emergencia, donde la flexibilidad en la gestión del tráfico de red puede ser determinante para la continuidad del negocio.

La importancia de evitar el robo o la pérdida de información no puede ser subestimada, especialmente en el ámbito de la administración de Bases de Datos. Los respaldos no son solo una medida preventiva, sino una herramienta esencial de recuperación que permite a los administradores restaurar bases de datos comprometidas por robo o pérdida (Martínez & Sánchez, 2021). Por lo tanto, desarrollar una estrategia eficaz para crear y restaurar respaldos se convierte en un componente crucial del plan de seguridad de cualquier empresa moderna.

Ante este panorama, el objetivo principal de este proyecto es desarrollar e implementar un plan integral de recuperación ante desastres y prevención de pérdida de datos para empresas digitales. Para lograr este objetivo, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar e implementar un sistema robusto de respaldo y recuperación de datos que garantice la continuidad del negocio en caso de incidentes graves, reduciendo el riesgo de impacto y minimizando las demoras durante la reanudación de operaciones (Wilson, 2023; Martínez & Sánchez, 2021).
2. Desarrollar estrategias efectivas de recuperación ante desastres y robo de información, incluyendo la capacidad de modificar el tráfico de red entre sitios principales y de respaldo (Barroso & Calero, 2022).
3. Fomentar una cultura empresarial de resiliencia digital que asuma y gestione adecuadamente la tolerancia a fallos, integrando prácticas de seguridad de datos en las operaciones diarias de la empresa (Rodríguez-Gómez, 2024).

Estos objetivos específicos abordan los aspectos más críticos del plan integral, enfocándose en la implementación técnica, la estrategia de recuperación y el cambio cultural necesario para una gestión efectiva de la seguridad de datos en el entorno empresarial moderno.

La implementación de este método integral no solo mejorará la capacidad de las empresas para enfrentar y superar rápidamente cualquier incidente que pueda comprometer sus datos o interrumpir sus operaciones, sino que también fortalecerá su resiliencia general y competitividad en el mercado digital. En un mundo donde la información es un activo crucial, esta preparación no es solo una medida de seguridad, sino una necesidad estratégica para el éxito y la supervivencia empresarial a largo plazo.

Metodología

Para abordar de manera integral la problemática del respaldo y recuperación de datos, este estudio se ha estructurado en varias etapas clave:

- **Investigación inicial y análisis del problema:** En esta etapa se han analizado varios problemas existentes en las estrategias de respaldo y su recuperación ante desastres o robo. Un estudio reciente reveló que el 76% de las organizaciones experimentaron al menos un ciberataque en 2022, lo que subraya la importancia de contar con estrategias de respaldo y recuperación robustas (Veeam Software, 2023).
- **Estudio y comparación de alternativas viables:** Luego de determinar el problema, se evaluaron y compararon diferentes soluciones software que pueden aplicarse de manera conjunta para resolver y abordar los problemas. Investigaciones actuales sugieren que las soluciones de respaldo y recuperación que integran inteligencia artificial y aprendizaje

automático son las más efectivas para mitigar riesgos y reducir tiempos de recuperación (Gartner, 2024).

- **Instalación del sistema:** Durante esta etapa, el objetivo principal es implementar una prueba de concepto completamente funcional y elaborar la documentación del proceso. Expertos en el campo enfatizan que una documentación detallada del proceso de instalación es crucial para garantizar la replicabilidad y el mantenimiento a largo plazo del sistema (IBM, 2023).
- **Verificación y pruebas:** En esta etapa se lleva a cabo el plan de verificación y pruebas para confirmar que la infraestructura seleccionada funciona adecuadamente. Un estudio reciente indica que las organizaciones que realizan pruebas regulares de sus sistemas de respaldo y recuperación tienen un 60% menos de probabilidades de sufrir pérdidas de datos críticos (Forrester Research, 2024).
- Estas etapas metodológicas están diseñadas para proporcionar una comprensión profunda de los desafíos actuales en el respaldo y recuperación de datos, así como para desarrollar soluciones prácticas y efectivas que las organizaciones puedan implementar para mejorar su resiliencia digital.

Resultados y discusión

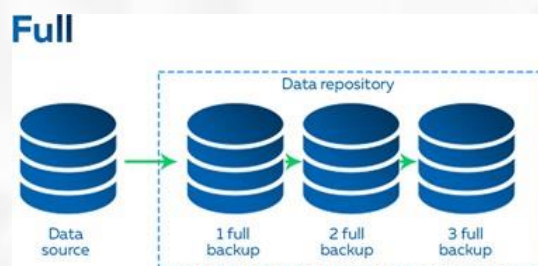
1. Tipos de copias de seguridad

Los tipos de copias varían según las necesidades de la organización y el tiempo disponible. La mayoría de las veces, se utiliza una mezcla de varios tipos de respaldo, los cuales son los más comunes:

Copia de seguridad completa (full). Es la modalidad de respaldo de datos más frecuente y elemental, que consiste en realizar una copia de todos los datos en un soporte de almacenamiento alternativo. Esto facilita la recuperación total de los datos en caso de desastre o pérdida, simplifica el proceso de restauración y proporciona un respaldo confiable, aunque requiere una ventana de tiempo más larga para la restauración y demanda más espacio de almacenamiento en comparación con otros tipos de copias de seguridad.

Figura 1

Backup full.



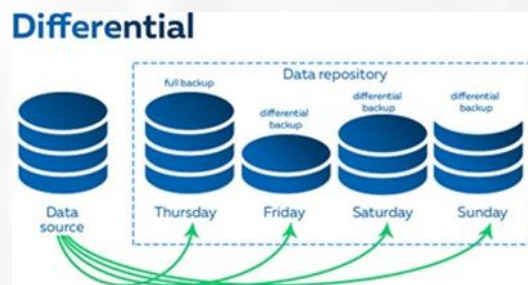
Fuente. Handy Backup

Algunos softwares avanzados ofrecen otro tipo de copia completas denominadas copia de seguridad completa sintética, que crea una copia de seguridad completa a partir de una copia incremental previa, lo que reduce la ventana y la carga del proceso.

Copia de seguridad diferencial. En este tipo de backup consiste en respaldar únicamente los datos que se han modificado desde la última copia de seguridad completa. Cada ejecución subsiguiente copia todos los cambios efectuados en relación con el último respaldo completo, lo que requiere menos espacio y tiempo que un respaldo completo, pero mantiene la dependencia del último respaldo completo para poder restaurar la información, por lo que, en caso de fallo o pérdida de dicho respaldo full, no sería posible recuperar los datos a partir de las copias diferenciales.

Figura 2

Backup diferencial.



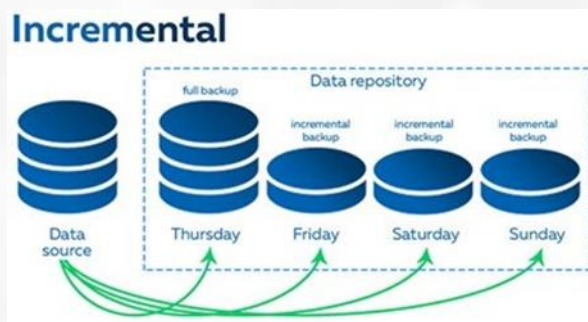
Fuente. Handy Backup

Copia de seguridad incremental. contiene solo los datos que han cambiado desde la copia de respaldo más reciente, sin importar si fue una copia completa o incremental. Sin embargo, su principal desventaja radica en su encadenamiento secuencial, ya que la restauración no sería posible en caso de pérdida o fallo de una copia incremental intermedia. A pesar de esta limitación,

el tiempo requerido para realizar esta copia de seguridad es significativamente menor que para realizar copias diferenciales o completas.

Figura 3

Backup incremental.



Fuente. Handy Backup

Soportes de copias de seguridad. Los siguientes son ejemplos de soportes de almacenamiento para copias de seguridad:

Cinta magnética es un medio de almacenamiento que respalda los datos de copias de seguridad mediante el uso de cartuchos de cinta magnética. Sus principales ventajas incluyen el bajo costo de almacenar grandes cantidades de información y la posibilidad de retirar las cintas para guardarlas en armarios a prueba de fuego y de humedad. Sin embargo, su principal desventaja es su tasa de lectura y escritura, que generalmente es significativamente más lenta en comparación con otros medios de almacenamiento.

Disco. Debido a su fácil configuración, velocidad de lectura/escritura y capacidad para ahorrar espacio mediante métodos como la compresión y la deduplicación, el disco es el medio de almacenamiento más utilizado en la actualidad.

Cloud storage. Actualmente, todos los proveedores de servicios en la nube ofrecen el Cloud Storage también conocido como almacenamiento en la nube, como una opción viable para la realización de copias de seguridad. Esta característica brinda a las empresas capacidad de almacenamiento para respaldos remotos, lo que garantiza que los datos estén disponibles fuera de las instalaciones locales. La opción de almacenamiento en la nube garantiza la capacidad de restaurar los datos en caso de un incidente que afecte los respaldos locales y el centro de datos.

Estrategia De Copias De Seguridad

Para administrar de manera efectiva y segura la información de una empresa, es necesaria una estrategia de copias de seguridad. No existe una estrategia universal porque las necesidades de cada empresa son diferentes. Sin embargo, es posible establecer requisitos mínimos que sean apropiados para la mayoría de las empresas. Estos requisitos pueden incluir la frecuencia de las copias de seguridad, la retención de datos, la ubicación de las copias, las pruebas regulares de restauración y la encriptación de los datos respaldados.

Almacenamiento principal: Para alojar las copias de seguridad, se deben implementar dos niveles de almacenamiento en el contexto del almacenamiento principal, siguiendo la regla de respaldo 3-2-1. Contar con un repositorio principal de respaldo que ofrezca rapidez y permita una optimización eficiente del espacio utilizado es esencial. Debido a su capacidad para brindar altos niveles de velocidad, confiabilidad y seguridad, en este escenario, se recomienda utilizar tecnologías de almacenamiento en disco como SAN (Storage Area Network), NAS (Network-Attached Storage) o DAS (Direct-Attached Storage).

Almacenamiento secundario: El almacenamiento secundario difiere del almacenamiento primario en disco porque requiere una segunda copia de respaldo en un medio de almacenamiento alternativo. Las unidades de cinta LTO/DAT y una segunda cabina de disco son opciones recomendadas. Esta táctica brinda una protección adicional de datos y una mayor resiliencia.

Retención de copias: La retención de copias se ajustará en función de la capacidad de almacenamiento en disco disponible. Se buscará mantener las copias de seguridad durante un período adecuado de tiempo, ajustando este período en función de las limitaciones de espacio. Para evitar la eliminación de estas copias, debe configurar el software de backup.

Retención de copias: Los cartuchos de cinta deben extraerse y archivarse en un armario ignífugo. Se recomienda la conservación de:

- El backup completo semanal más reciente, que retiene las cuatro semanas anteriores.
- El backup completo más reciente de cada mes, que guarda los doce meses anteriores.
 - El backup completo anual más reciente, que contiene los datos de los últimos cinco años.

Programación y periodicidad: Esto se refiere a la cantidad de veces que se realizan las copias de seguridad. Esta frecuencia puede modificarse según las necesidades específicas de la empresa, ya que en algunos casos los archivos o datos se actualizan con frecuencia a lo largo del día, lo que podría requerir copias de seguridad con mayor frecuencia. Se puede considerar hacer una copia de seguridad al final de cada día en condiciones normales.

Sin embargo, puede ser necesario realizar copias de seguridad inmediatas de los cambios en situaciones que requieran una pérdida mínima de datos en caso de incidente. La frecuencia de las copias de seguridad será determinada por los requisitos de RPO (Objetivo del Punto de Recuperación) establecidos por la empresa. El punto en el cual una empresa está dispuesta a tolerar la pérdida de datos en caso de un incidente o desastre se conoce como RPO.

Se establecerá una planificación estándar mínima que podría ser aplicable a la mayoría de las empresas en este contexto, considerando una ventana de copias regular durante las noches y los fines de semana.

La siguiente imagen muestra una planificación de backups periódicos para un mes utilizando copias diferenciales a disco (D), copias completas a disco (F) y copias a cinta (C).

Tabla 1

Estrategia de respaldos mensual. Ejemplo planificación de Backup.

Planificación Mensual de Backups						
Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
D	D	D	D	D	F + C	
D	D	D	D	D	F + C	
D	D	D	D	D	F + C	
D	D	D	D	D	F + C	

Fuente. Elaboración propia (2024)

Esta tabla representa una planificación semanal de backups para un mes típico. La estrategia implementada combina diferentes tipos de copias de seguridad para optimizar el uso de recursos y garantizar una protección integral de los datos:

- *D*: Representa una copia de seguridad diferencial a disco. Este tipo de backup se realiza diariamente de lunes a viernes. Las copias diferenciales almacenan solo los cambios realizados desde el último backup completo, lo que permite una recuperación más rápida que las copias incrementales y un uso más eficiente del espacio de almacenamiento en comparación con las copias completas diarias.
- *F*: Indica una copia de seguridad completa (full) a disco. Esta se realiza semanalmente, los sábados y domingos. El backup completo copia todos los datos seleccionados, independientemente de cuándo se modificaron por última vez. Aunque consume más tiempo y espacio, proporciona un punto de restauración completo y simplifica el proceso de recuperación.
- *C*: Señala una copia a cinta. Esta se realiza también los sábados y los domingos, junto con la copia completa. El uso de cintas proporciona un medio de almacenamiento externo y duradero, ideal para el archivado a largo plazo y la protección contra desastres que podrían afectar al almacenamiento en disco.

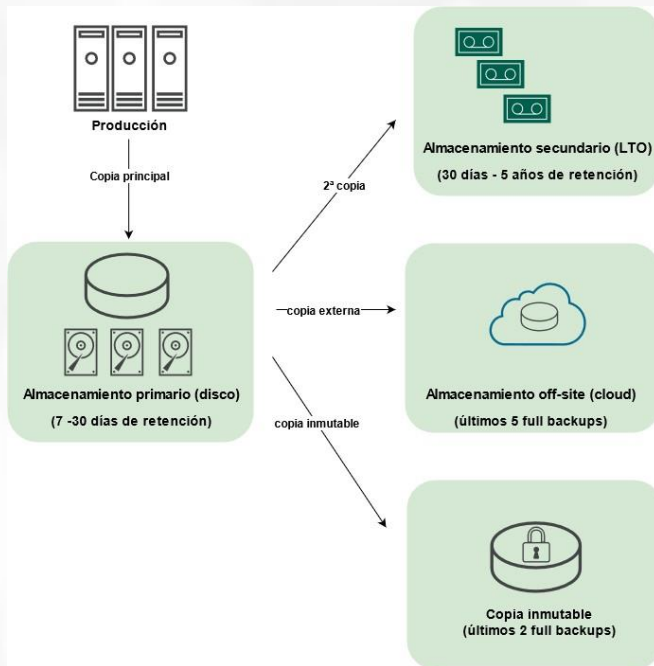
Esta estrategia de backup garantiza una protección diaria de los datos con las copias diferenciales, mientras que las copias completas semanales y el respaldo a cinta ofrecen puntos de recuperación más robustos y opciones de almacenamiento a largo plazo. La combinación de estos métodos permite un equilibrio entre la frecuencia de los backups, el uso eficiente del almacenamiento y la capacidad de recuperación rápida en caso de pérdida de datos.

La programación de copias de seguridad no es universal, como se mencionó anteriormente. En función de la importancia de los datos y los requisitos de RPO y RTO del negocio, puede haber una variedad de programaciones dentro de la misma empresa.

A continuación, se muestra un diagrama de un ejemplo de estrategia de copia de seguridad. Diseño de Estrategia de Respaldo y Almacenamiento de Datos

Figura 6

Ejemplo Diseño de estrategia de backup.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Metodología y Fases del Proyecto de Respaldo y Recuperación de Datos

Se proporciona una descripción detallada del enfoque metodológico utilizado para completar las distintas fases del proyecto. Para garantizar una ejecución eficiente y ordenada del proyecto, es fundamental dividirlo en etapas claramente definidas. La investigación inicial y el

análisis del problema se identifican como el punto de partida. En este punto, las estrategias de respaldo y recuperación ante desastres o incidentes de seguridad se examinan minuciosamente.

Posteriormente, como respuesta a la identificación previa de problemas, se aborda la etapa de estudio y comparación de alternativas viables. En este momento, se realiza una evaluación detallada de las diversas opciones de software disponibles en el mercado con el fin de elegir las que más se ajusten a las necesidades y objetivos del proyecto y que puedan integrarse para abordar los desafíos planteados.

La instalación del sistema se presenta como una fase crucial del proyecto, donde se prioriza llevar a cabo una prueba de concepto completamente funcional. Además, se enfatiza la importancia de documentar detalladamente todo el proceso de implementación para tener una guía clara y completa que facilite la replicación y el mantenimiento del sistema a lo largo del tiempo.

Finalmente, la etapa de verificación y pruebas es la etapa en la que se verifica la eficacia y el funcionamiento adecuado de la infraestructura elegida. Se realizan numerosas pruebas para asegurarse de que todas las funcionalidades funcionen de manera óptima y que la solución propuesta cumple con los requisitos y expectativas establecidos inicialmente.

Conclusiones

Se logró cumplir con el objetivo principal de crear e implementar un sistema completo de copias de seguridad y recuperación de información ante desastres, ya que se han alcanzado satisfactoriamente todos los objetivos específicos planteados inicialmente. A continuación, se detallan los logros obtenidos en cada área:

Respaldo ante incidentes leves: la capacidad de restaurar ante incidentes de menor gravedad ha sido satisfactoriamente alcanzada por el plan de copias de seguridad local implementado, lo que garantiza la disponibilidad de datos en casos de pérdida parcial o daños menores.

Protección contra ransomware: este requisito se ha cumplido exitosamente mediante la implementación de medidas específicas para asegurar las copias ante ataques de ransomware, proporcionando una capa adicional de seguridad para prevenir y enfrentar estas amenazas.

Replicación optimizada: la atención a los tres tipos de replicación ha reducido significativamente los valores de RTO (Objetivo de Tiempo de Recuperación) y RPO (Objetivo de Punto de Recuperación), lo que es un logro significativo en la garantía de la continuidad de las operaciones.

Compatibilidad con múltiples servidores: la infraestructura diseñada se alinea con la meta de evitar ataduras a un proveedor específico, demostrando su compatibilidad con dos proveedores de servidores diferentes y ofreciendo flexibilidad operativa y reduciendo los riesgos asociados con el bloqueo de proveedor.

Reducción de tiempos de no disponibilidad: la implementación de un balanceador DNS que puede conmutar entre sitios en minutos ha demostrado ser efectiva para reducir los tiempos de no disponibilidad, lo que contribuye a la mejora de la continuidad operativa.

Adherencia a Normativas de Seguridad: la selección de software compatible con los proveedores cloud principales, AWS y Azure, garantiza el cumplimiento de regulaciones de seguridad a nivel mundial, demostrando un fuerte compromiso con la protección y seguridad de datos sensibles en cumplimiento con estándares normativos internacionales.

Eficiencia en la Gestión de Costos: la gestión eficiente de costos se logra mediante el uso de una solución de balanceo DNS de código abierto y el análisis exhaustivo de las soluciones de respaldo. Esto demuestra una gestión cuidadosa de recursos y maximización del retorno de inversión.

Validación funcional: la realización de una prueba de concepto real ha validado la funcionalidad de todas las partes de la solución, confirmando su efectividad y aptitud para su propósito previsto.

A lo largo del proyecto, se ha demostrado un enfoque riguroso en la identificación y selección de los productos que mejor compondrían una solución integral y completa, lo que sustenta el logro exitoso de los objetivos establecidos.

Mediante el cumplimiento de estos objetivos específicos, la solución desarrollada en este trabajo ha demostrado su capacidad para hacer frente a los desafíos planteados, proporcionando una respuesta efectiva y robusta en la gestión de backup y recuperación de datos.

ANEXOS

Glosario de términos relacionados con la seguridad informática y respaldo de datos.

Backup: También conocido como respaldo, es una copia de la información que puede usarse para recuperar y restaurar la información original cuando se pierda o se dañe, incluso hasta cuando sea robada (Smith, 2022).

La mayoría de la información que manejan las empresas y las entidades públicas se almacena digitalmente en la nube, que puede ser pública como Azure, Google Cloud o AWS (Amazon Web Services) o nube privada, que es la infraestructura propia de las empresas. Por tanto, el respaldo se puede definir como una acción indispensable para proteger y garantizar la continuidad del negocio de la empresa y su reputación (Johnson & Lee, 2023). Es fundamental que nuestra estrategia de backup funcione correctamente porque ninguna infraestructura tecnológica está libre de incidentes (García, 2024).

Principales amenazas a las que están expuestos los sistemas informáticos (Wilson, 2023):

Errores humanos: Errores cometidos sin intención, como cuando los usuarios borran o modifican información de los sistemas accidentalmente.

Vandalismo: Se refiere a incidentes o daños intencionados que pueden tener un impacto en la infraestructura tecnológica.

Fallos hardware: Problema causado por fallas y mal funcionamiento de componentes físicos del sistema.

Sabotaje informático: Se define como un ataque o manipulación intencionada de sistemas o datos de la empresa, por parte de terceros, empleados o exempleados (Thompson, 2024).

Referencias bibliográficas

- Barroso, A. C., & Calero, J. M. (2022). Estrategias de recuperación ante desastres en la era digital. *Revista de Seguridad Informática*, 15(3), 78-95.
- Brown, A., & Davis, R. (2023). Data Backup Strategies and Business Continuity. *Journal of Business Resilience*, 15(3), 178-195.
- Commvault. (2023, October 15). The importance of data backup and recovery in the digital age. Commvault Blog. <https://www.commvault.com/blog/importance-of-data-backup-and-recovery-in-digital-age>
- García-López, M. (2023). Implementación de planes de contingencia en empresas digitales. *Tecnología y Gestión Empresarial*, 8(2), 112-130.
- García, M., Rodríguez, L., & Sánchez, K. (2024). Platform-Independent Approaches to Data Backup and Recovery. *International Journal of Information Systems*, 22(2), 89-110.
- García, M. (2024). Estrategias de backup en la era digital. *Revista de Seguridad Informática*, 12(3), 78-95.
- International Data Protection Association. (2024). *Global Standards for Data Backup and Recovery*. IDPA Publishing.
- Johnson, A., & Lee, B. (2023). Cloud storage and data protection in modern enterprises. *Journal of Information Security*, 15(2), 210-225.
- Martínez, R., & Sánchez, L. (2021). La importancia de los respaldos en la administración de bases de datos. *Journal of Database Management*, 12(4), 345-360.

- Rodríguez-Gómez, P. (2024). Resiliencia empresarial: Estrategias para la continuidad del negocio en la era digital. *Business Continuity Review*, 18(1), 22-40.
- Smith, J., & Johnson, E. (2023). Fundamentals of Data Backup: A Comprehensive Guide. *IT Security Review*, 18(4), 205-220.
- Smith, R. (2022). Fundamentals of data backup and recovery. *IT Professional*, 24(1), 45-60.
- Thompson, C. (2024). Comparative Analysis of Data Backup Software Tools. *Tech Innovations Quarterly*, 7(1), 45-62.
- Thompson, E. (2024). Cybersecurity threats in the corporate world. *Business Technology Review*, 18(4), 112-130.
- Veeam Software. (2024, January 8). Modern data protection report 2024. Veeam Resources. <https://www.veeam.com/wp-modern-data-protection-report.html>
- Veeam Software. (2024, 27 febrero). 2022 Data Protection Trends Report. <https://www.veeam.com/wp-data-protection-trends-report.html>
- Wilson, C. (2023). Understanding and mitigating information system vulnerabilities. *International Journal of Computer Security*, 7(1), 15-32
- Wilson, P., & Lee, S. (2022). Tailoring Backup Policies to Organizational Needs. *Enterprise Information Management Journal*, 12(2), 123-140.



CAPÍTULO #5

Attribute-Driven Design (ADD 3.0): Adopción del Método para la Definición de Arquitecturas de Software

Attribute-Driven Design (ADD 3.0): Adoption of the Method for Defining Software Architectures

Carlos Andrés Arboleda Suaza ¹⁴

Jorge Eliecer Giraldo Plaza ¹⁵

Resumen

Esta investigación se enfoca en identificar la adopción del método Attribute-Driven Design o Diseño Basado en Atributos (ADD – Por sus siglas en ingles) para la definición de arquitecturas dentro de los procesos de desarrollo de software empresarial, a partir del análisis de sus principales características, masificación en su uso y ventajas ofrecidas para agilizar el proceso de arquitectura y diseño de las soluciones tecnológicas. La metodología empleada para identificar la adopción del método es una encuesta cuantitativa mediante el uso de la metodología Likert que permite medir el nivel de conocimiento conceptual y uso de diferentes patrones, métodos y metodologías arquitectónicas en un grupo poblacional de expertos en arquitectura, diseño y desarrollo de software.

¹⁴ Especialista en Seguridad Informática. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3065-8861>. carlos_suaza54182@elpoli.edu.co.

¹⁵ Doctor en Ingeniería de Sistemas e Informática. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-1090-3070>. jegiraldo@elpoli.edu.co.

Se formularon ocho preguntas divididas en adopción de la arquitectura y diseño de software en una solución tecnológica, entendimiento en el uso y aplicación de patrones arquitectónicos, consideración de la relevancia en el uso de métodos arquitectónicos, y relevancia en el uso de las metodologías ágiles para el diseño de software. Como resultado se identifica que un gran porcentaje de profesionales de las áreas de desarrollo de software empresarial comparten la importancia del uso de la arquitectura y diseño para lograr la consecución exitosa en sus proyectos.

Palabras clave: Atributos de Calidad, Patrones Arquitectónicos, Arquitectura de Software, Diseño de Software.

Abstract

This research focuses on identifying the adoption of the Attribute-Driven Design or Attribute-Based Design (ADD) method for defining architectures within business software development processes, based on the analysis of their main characteristics, widespread use and advantages offered to streamline the architecture and design process of technological solutions. The methodology used to identify the adoption of the method is a quantitative survey through the use of the Likert methodology that allows measuring the level of conceptual knowledge and use of different architectural patterns, methods and methodologies in a population group of experts in architecture, design and software development.

Eight questions were formulated divided into adoption of software architecture and design in a technological solution, understanding of the use and application of architectural patterns, consideration of the relevance in the use of architectural methods, and relevance in the use of agile methodologies to software design. As a result, it is identified that a significant percentage

of professionals in the areas of business software development share the importance of using architecture and design to achieve successful achievement in their projects.

Keywords: Quality Attributes, Architectural Patterns, Software Architecture, Software Design.

Introducción

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE – Por sus siglas en inglés), describe la arquitectura de software como la organización fundamental de un sistema que se centra en sus componentes, las relaciones entre ellos y el entorno, y los principios que guían su diseño y desarrollo (Hilliard, 2000). Además es una estrategia sistemática, disciplinada y cuantificable que permite generar estrategias de desarrollo aplicables para el mantenimiento del software; es decir, aplicar la ingeniería al software (Thayer, 2003). En los fundamentos para el estudio de la arquitectura de software (Perry & Wolf, 1992) se describen las principales características que toda arquitectura de software debe cumplir: ser un marco de referencia orientado a los requisitos, ser base técnica y gerencial para el diseño, ser reutilizable, evolutiva y escalable y también ser base para el análisis de la dependencia y consistencia.

La arquitectura de software se encarga de la definición a alto nivel de un sistema desde su aspecto estructural, enfocándose en el cumplimiento de los objetivos del software, alineándose con el cumplimiento de las decisiones de diseño, reglas y patrones que enmarcan ese diseño y la implementación del software. El Software Engineering Institute o Instituto de Ingeniería del Software (SEI – Por sus siglas en inglés) denomina a la arquitectura de software como “las

estructuras de un sistema, que consta de elementos de software con propiedades visibles externamente y las relaciones existentes entre ellos” (Kotov & Klein, 2021).

El diseño de software es un ejercicio de modelamiento a bajo nivel, que se centra en ciertos detalles específicos de su construcción basados en decisiones de arquitectónicas, utilizando las teorías, métodos y herramientas necesarias para el desarrollo de software. Durango (2015) llama a la disciplina del diseño de software como: “el proceso para la definición de la arquitectura, módulos, componentes, interfaces y otras características de un sistema y el resultado generado a partir de la implementación de ese proceso”.

Ambas disciplinas (arquitectura y diseño de software) se apoyan en el uso de patrones, métodos y metodologías que brindan las herramientas necesarias para lograr el objetivo de alinear el dominio del negocio con la construcción de las soluciones de software. Los patrones de arquitectura son las estructuras de diseño necesarias para construir software que permitan la creación de un marco de referencia tecnológico para crear nuevas soluciones de software. Mark Richards (2015) define los siguientes modelos de arquitectura de software: Microkernel, Microservicio, Arquitectura en Capas, Basado en el Evento y Basado en el Espacio.

Los métodos arquitectónicos son marcos de referencia para tener una visión de la arquitectura empresarial basada en los requisitos del negocio y brindar apoyo a arquitectos e ingenieros de software para cerrar y minimizar la abstracción entre la definición de la problemática y la implementación de la solución. Algunos de estos métodos tienen como objetivo crear una arquitectura que cumpla con los requisitos iniciales, otros están dirigidos a evaluar configuraciones arquitectónicas ya existentes y elegir la mejor según las necesidades reflejadas en los requisitos. Ellos se encuentran en las primeras etapas del proceso de diseño de

software y en la actualidad son considerados parte esencial del mismo (Losavio & Guillén-Drija, 2010).

Las metodologías arquitectónicas permiten una gestión ágil de grupos de trabajo basada en procesos documentados, iterativos e incrementales. Son un modo sistemático de realizar, gestionar y administrar proyectos, con un alto porcentaje de éxito. Una metodología para el desarrollo de software comprende los procesos a seguir sistemáticamente para idear la implementación y el mantenimiento del software, desde el momento en que surge la necesidad del producto, hasta el propósito para el cual fue creado (Maida & Pacienza, 2015).

Según (Willcocks & Lacity, 2016) hay una gran expectativa a nivel mundial respecto a cómo abordar la automatización de procesos y servicios, robótica, el futuro del trabajo, entre otros, indicando que es necesario abordar estos temas como problemas abiertos en investigación. La mayoría de las soluciones de vanguardia de software empresarial como Robotic Process Automation o Automatización Robótica de Procesos (RPA – Por sus siglas en inglés) y Software Oriented Architecture o Arquitectura Orientada a Servicios (SOA – Por sus siglas en inglés) están orientadas a resolver estas necesidades pero a su vez requieren ser implementadas a partir de métodos arquitectónicos profesionales como lo son ADD y DDD con el fin de lograr la masificación y mayor alcance de sus reglas de negocio las cuales se encuentran alojadas en los sistemas internos de las organizaciones (Aguirre & Rodríguez, 2017).

El principal problema que afronta estas organizaciones para la adoptar de enfoques de computación centrada en la automatización de procesos y computación distribuida resulta ser la carencia de arquitecturas de referencia empresariales estandarizadas que apoyen su implementación. Como lo indica Clint Boulton (2018), los profesionales en el diseño de software

consideran que la definición de arquitecturas de referencia estandarizadas a partir de métodos como ADD o DDD y apoyadas con tecnologías como RPA y SOA, permitirán a las empresas lograr la automatización en la ejecución de sus procesos comerciales mediante la sistematización de sus reglas de negocio, adicionalmente permitirá que los usuarios comerciales puedan dedicar más tiempo a las actividades de mayor valor agregado para las organizaciones.

Este proyecto busca identificar la adopción de métodos de análisis arquitectónicos como ADD o DDD por parte de los expertos en software, para la construcción de soluciones profesionales que permitan suplir esta necesidad empresarial. ADD es un método sistemático para el diseño de una arquitectura de software que se enfoca en el proceso de análisis de requisitos en función de los atributos de calidad, requerimientos funcionales, requerimientos no funcionales y restricciones del negocio.

Originalmente desarrollado por el SEI en el 2000, posteriormente la versión ADD 2.0 fue publicada en el 2006 y finalmente la versión ADD 3.0 fue publicada en el 2016, esta última está enfocada en mejorar la adopción del método por parte de los profesionales de la arquitectura de software para alinearla con la forma en que se desarrolla una solución en la actualidad (Kazman *et al.*, 2016). ADD permite mediante el análisis de los atributos de calidad obtener una arquitectura fundacional del sistema, así como también la identificación y clasificación de sus módulos y componentes siguiendo un proceso de diseño recursivo que permita descomponer un sistema o elementos de un sistema, aplicando tácticas y patrones arquitectónicos para satisfacer los requisitos de calidad, siguiendo el ciclo "Planear, Hacer y Verificar" (Bass *et al.*, 2003).

- **Planear:** Los atributos de calidad y las restricciones de diseño son consideradas para seleccionar qué tipos de elementos se utilizan en la arquitectura.
- **Hacer:** Los elementos son instanciados para satisfacer los atributos de calidad, así como los requisitos funcionales.
- **Verificar:** El resultado es analizado para determinar si los requisitos son satisfechos.

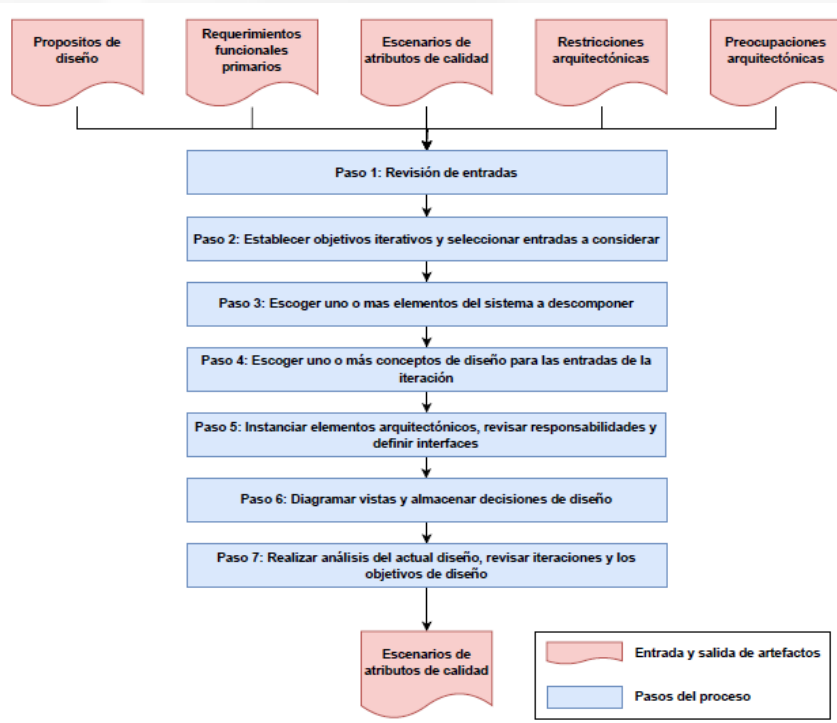
El método ADD comprende un proceso recursivo que descompone el sistema o elemento del sistema a partir de tácticas y patrones arquitecturales para satisfacer los requerimientos de atributos de calidad, con el propósito de alcanzar un diseño sólido de la arquitectura de software del sistema (Wojcik *et al.*, 2006), este se implementa a partir del análisis de las “entradas de información”, las cuales están compuestas por: propósito de diseño, requisitos funcionales primarios, escenarios de atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitectónicas, entre otros.

Luego el “proceso iterativo”, que comprende: la revisión de las entradas de información, el establecimiento de objetivos a partir de conductores, la selección de elementos del sistema a refinar, escoger un diseño que satisfaga los conductores seleccionados, la asignación de responsabilidades y definiciones de interfaces, diseño, almacenamiento y análisis de las decisiones arquitectónicas y finalmente la revisión del cumplimiento de los objetivos. Por último la “salida”, que comprende un diseño de la arquitectura de software. Si se requiere refinar ese diseño, se itera nuevamente todo el proceso.

El método ADD está compuesto por los siguientes pasos (Ver Figura 1).

Figura 1

Pasos del método Attribute-Driven Design (ADD 3.0)



Fuente. ADD: Rethinking Drivers and Decisions in the Design Process Version 3.0, SEI/Carnegie Mellon, 2015

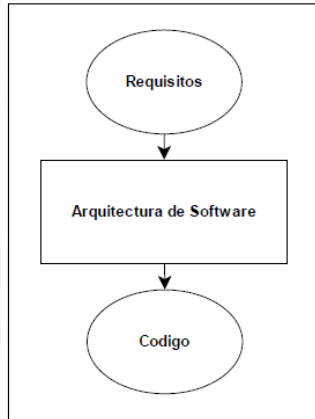
La arquitectura se define como la organización fundamental de un sistema, encarnada en sus componentes, las relaciones entre ellos y el entorno, y los principios que guían su diseño y evolución. Los elementos que determinan la utilidad, el costo y riesgo de un sistema son en ocasiones físicos y otras veces lógicos (Reynoso, 2004). Algunos trabajos relacionados con la definición de arquitecturas de referencia empresariales son los siguientes: (Weyrich & Ebert, 2015). *Reference architectures for the internet of things*. IEEE Software, proponen una arquitectura de referencia para el internet de las cosas, (Liu *et al.*, 2011). *NIST cloud computing*

reference architecture. NIST Special Publication, definen una arquitectura para computación en la nube, (Kalantari *et al.*, 2013). *A Service Oriented Security Reference Architecture*. International Journal of Advanced Computer Science and Information Technology, diseñan una arquitectura de referencia orientada a servicios seguros, (Pourmirza *et al.*, 2019). *BPMS-RA: a novel reference architecture for business process management systems*. ACM Transactions on Internet Technology, proponen una arquitectura de referencia para los sistemas de gestión de procesos de negocio y (Galvis Benítez, 2024). *Análisis de la aplicación de automatización robótica de procesos*, propone demostrar como la tecnología RPA representa una herramienta de solución al problema de integración y automatización de procesos dentro de una empresa de distribución de energía.

Como lo indica Garlan (*et al.*, 1993), en la actualidad se busca que los estilos de arquitectura sean lo más genéricos posibles y que también permitan una interconexión exitosa entre los diferentes componentes y las diferentes tecnologías relacionadas para la solución determinada, a su vez MacKenzie (*et al.*, 2006), describe un modelo de referencia como un marco abstracto para comprender relaciones significativas entre las entidades de algún entorno, permitiendo el desarrollo de arquitecturas concretas usando estándares consistentes y especificaciones que soporten ese ambiente. La arquitectura de software típicamente juega un rol de puente (bridge) entre los requerimientos y el código (Garlan, 2014), con base en esos requerimientos es posible identificar cuál es la promesa del funcionamiento del software y qué atributos de calidad deben tenerse en cuenta en la etapa de análisis y diseño. (Ver Figura 2).

Figura 2

Arquitectura de Software como Puente



Fuente. ADD: Software Architecture / David Garlan, 2014

Metodología

El método de recolección y análisis de la información utilizado para medir la adopción de los conceptos de arquitectura y diseño de software (patrones, métodos y metodologías), fue una encuesta cualitativa, con el uso de la escala de calificación Likert y las opciones de respuesta, tales como: totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo y totalmente de acuerdo. Las escalas de valor y de estimación tipo Likert son utilizadas para determinar la percepción de alguna variable cualitativa que por su naturaleza denota algún orden. (Canto de Gante et al., 2020).

Las preguntas se dividieron en las siguientes categorías, (1) impacto de la arquitectura y diseño de software en una solución tecnológica, (2) entendimiento en el uso y aplicación de patrones arquitectónicos, (3) consideración de la relevancia en el uso de métodos arquitectónicos,

y (4) relevancia en el uso de metodologías ágiles para el diseño de software empresarial, por parte de los roles del arquitecto, diseñador y desarrollador de software.

La población objetivo estará enmarcada en profesionales de software empresarial con los roles de arquitectos, diseñadores, desarrolladores y líderes técnicos.

Resultados

Arquitectura y diseño de software.

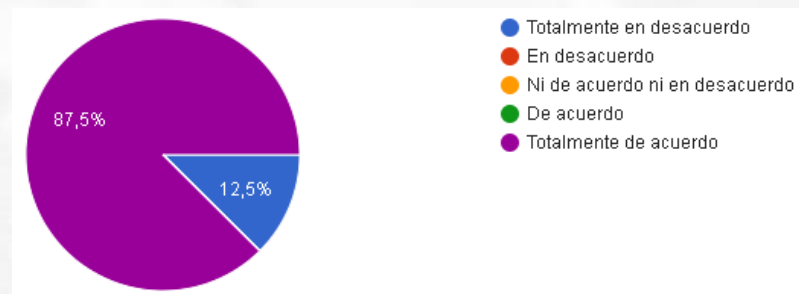
El objetivo es identificar si el encuestado tiene una comprensión clara de los conceptos de arquitectura y diseño y su impacto en un proyecto de software empresarial.

Pregunta 1: ¿Considera que la definición de la arquitectura de software tiene un impacto positivo en una solución tecnológica?

La adopción de los conceptos de arquitectura y diseño de software son ampliamente aceptados y adoptados por los expertos en el desarrollo de software empresarial (Ver Figura 3).

Figura 3

Encuesta Arquitectura y Diseño (Arquitectura de Software)



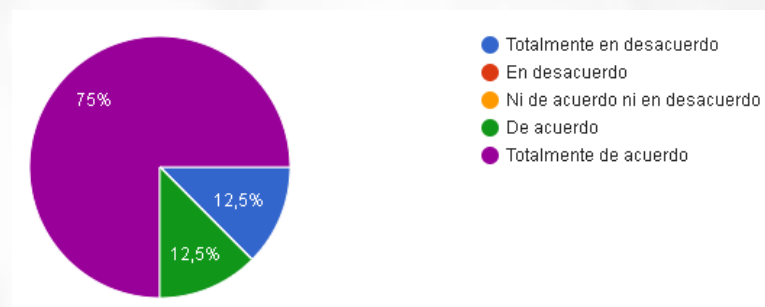
Fuente. Elaboración propia (2022)

Pregunta 2: ¿Considera que la definición del diseño de software tiene un impacto positivo en una solución tecnológica?

Si bien el diseño de software es ampliamente aceptado, en algunos escenarios su implementación no es necesaria debido, entre otras cosas, a los acuerdos de entrega de artefactos del cliente, tiempos asignados, experiencia en el desarrollo del área de tecnología, entre otros factores. (Ver Figura 4).

Figura 4

Encuesta Arquitectura y Diseño (Diseño de Software)



Fuente. Elaboración propia (2022)

Patrones arquitectónicos.

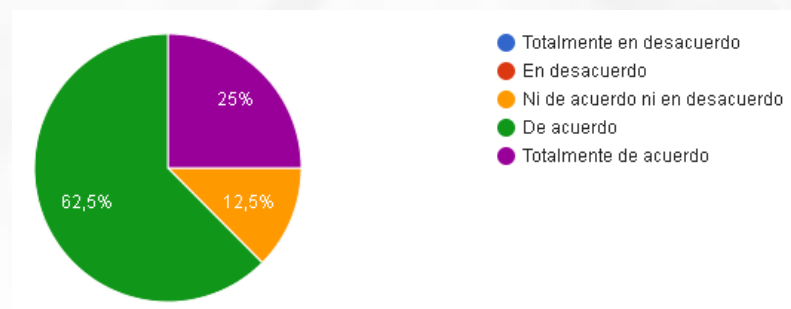
El propósito es identificar si el encuestado implementa los patrones técnicos más comunes en las arquitecturas de software actuales.

Pregunta 3: ¿El uso del patrón arquitectónico para el de diseño de software MVC es uno de los más usados para ser aplicado en la definición de una solución web?

Aunque el uso del patrón Model-View-Controller o Modelo-Vista-Controlador (MVC – Por sus siglas en inglés) es muy común en el desarrollo de software empresarial, también se puede utilizar conjuntamente con otros patrones como Service-Oriented Architecture o Arquitectura Orientada a Servicios (SOA – Por sus siglas en inglés), entre otros. (Ver Figura 5).

Figura 5

Encuesta Patrones Arquitectónicos (Patrón MVC)



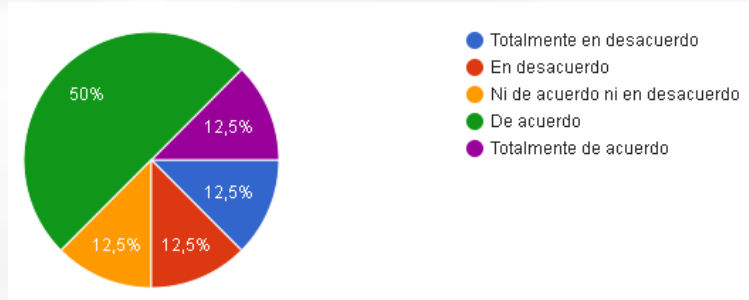
Fuente. Elaboración propia (2022)

Pregunta 4: ¿El uso del patrón arquitectónico para el de diseño de software Cliente-Servidor no es apropiado para ser aplicado en la definición de una solución distribuida?

Los expertos en desarrollo de software empresarial han demostrado un punto medio de aceptación en su concepción, debido a la adopción a nivel empresarial de las plataformas de despliegue en la nube con esquemas público, privado e híbrido. (Ver Figura 6).

Figura 6

Encuesta Patrones Arquitectónicos (Patrón Cliente-Servidor)



Fuente. Elaboración propia (2022)

Métodos arquitectónicos.

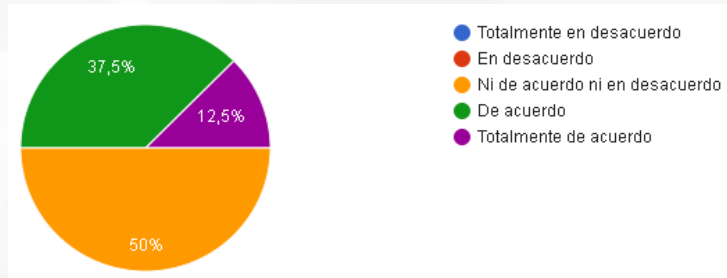
El objetivo es identificar si el encuestado conoce los métodos arquitectónicos más utilizados en el diseño de software empresarial y si identifican sus diferencias.

Pregunta 5: ¿Considera que el uso del método arquitectónico para el diseño de software ADD se encuentra muy masificado para la definición de una solución tecnológica?

Aunque el método ADD es muy popular, su aplicación en proyectos aún no se encuentra muy masificada y no se considera un factor determinante para el éxito en una definición arquitectónica. (Ver Figura 7).

Figura 7

Encuesta Métodos Arquitectónicos (ADD)



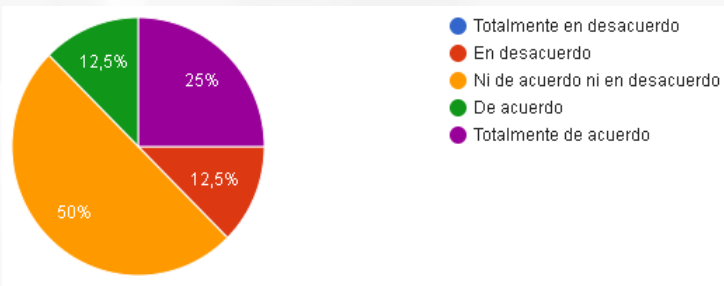
Fuente. Elaboración propia (2022)

Pregunta 6: ¿Considera que el uso del método arquitectónico para el diseño de software DDD se encuentra muy masificado para la definición de una solución tecnológica?

Tanto ADD como DDD son métodos profesionales para las definiciones arquitectónicas empresariales, lo que demuestra que su aplicabilidad depende del conocimiento del arquitecto, presupuesto asignado por parte de los stakeholders, masificación de la mano con el tiempo, y los recursos asignados para las actividades arquitectónicas. (Ver Figura 8).

Figura 8

Encuesta Métodos Arquitectónicos (DDD)



Fuente. Elaboración propia (2022)

Metodologías arquitectónicas.

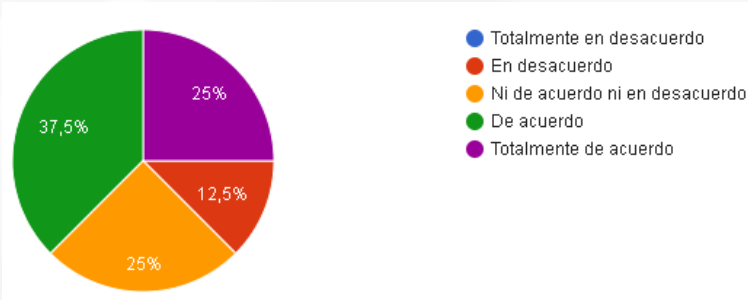
Se busca identificar si el encuestado tiene claras las metodologías arquitectónicas más comunes para gestionar proyectos de software empresarial y qué tan relevante fue su contribución en términos del éxito de los proyectos.

Pregunta 7: ¿El rol del arquitecto de software se ha transformado con el auge de las metodologías arquitectónicas para el diseño de software?

Debido a su nivel de experticia, el rol del arquitecto de software empresarial se ha combinado con otras actividades, como gestión, planificación, diseño, desarrollo y seguimiento al proyecto, por esta razón el rol del arquitecto incrementó su campo de acción y responsabilidades. (Ver Figura 9).

Figura 9

Encuesta Metodologías Arquitectónicas (Rol del Arquitecto)



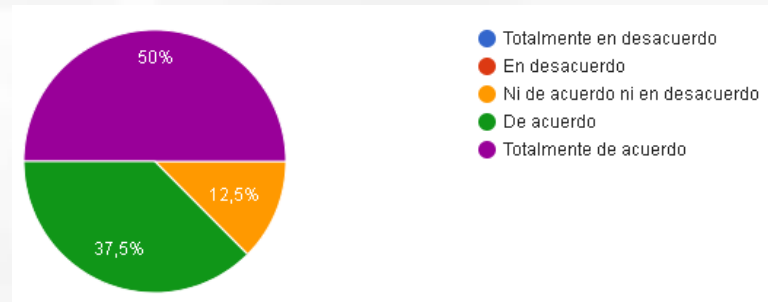
Fuente. Elaboración propia (2022)

Pregunta 8: ¿Es relevante el diseño arquitectónico en proyectos que se gestionan con metodologías arquitectónicas ágiles como SCRUM?

La promesa de agilidad de SCRUM se fundamenta en la claridad del diseño destinado a entregar tiempos acordados dentro de los plazos acordados, razón por la cual los artefactos de diseños arquitectónico son insumos necesarios en metodologías arquitectónicas ágiles como SCRUM. (Ver Figura 10).

Figura 10

Encuesta Metodologías Arquitectónicas (Relevancia del Diseño)



Fuente. Elaboración propia (2022)

Discusión

Un gran porcentaje de profesionales en el área de desarrollo de software empresarial apoyan el uso de la arquitectura y el diseño de software como base para lograr los resultados de un proyecto. dado que los requerimientos son la entrada clave para el método ADD, el conocimiento del dominio de negocio es esencial para recopilar por parte de los expertos la información necesaria para alimentar los requisitos funcionales y no funcionales, ya que de estos depende la adecuada implementación de una arquitectura que utiliza ADD.

El producto final para un proyecto de software abordado mediante ADD, será resultado del análisis de los requerimientos funcionales y no funcionales, los cuales deberán ser proporcionados por los usuarios interesados en el proyecto y a su vez estos deberán apoyar la cadena de valor de los procesos empresariales, con base en esto el levantamiento de requisitos cobra una gran relevancia en su nivel de claridad y eficiencia para la identificación de los

procesos candidatos a ser sistematizados, estos requerimientos correctamente identificados e implementados incrementaran el éxito de la solución de software.

Los profesionales en el desarrollo de software empresarial son conscientes de la existencia de los métodos ADD y DDD, y comprenden su importancia en el diseño de la arquitectura base de cualquier proyecto empresarial, a su vez reconocen que el uso de patrones arquitectónicos populares, tales como Modelo Vista Controlador, Cliente-Servidor, Multi Nivel – Multi Capa, SOA, RPA, entre otros, son afectados positivamente por el uso del métodos como ADD, ya que este se enfoca en la implementación genérica de atributos de calidad aplicables a muchos patrones relevantes en cualquier tipo de software, como lo son la seguridad, compatibilidad, portabilidad, etc.

El método ADD se enfoca en la generación de un diseño arquitectónico estandarizado que promueva una alta cohesión, con un bajo acoplamiento de los procesos empresariales, implementando en la solución los principales atributos de calidad identificados según los requerimientos, como la funcionalidad, rendimiento, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad, portabilidad, entre otros.

Este ejercicio no garantiza alcanzar el éxito de un proyecto de software empresarial, porque depende en gran medida de la claridad del levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales, por lo que se debe enfatizar esta etapa para que este insumo alcance su objetivo y se refleje en la arquitectura de diseño base seleccionada.

Conclusiones

ADD permite la implementación de una arquitectura empresarial profesional, requerimiento base para que un sistema que cumpla con la promesa de entrega de un producto mínimo viable durante la etapa de diseño y desarrollo de software. ADD reduce Los riesgos asociados con las habilidades tecnológicas y la experiencia profesional del arquitecto, al proporcionar una ruta que construya una arquitectura de software empresarial de manera estandarizada.

ADD utiliza atributos de calidad y requerimientos funcionales y no funcionales como base para diseñar una arquitectura de software conceptual que cumpla con las necesidades empresariales del negocio. El uso de ADD no garantiza el éxito final de una solución de software empresarial a menos que todos los atributos y requerimientos se aborden de manera efectiva y se satisfaga el cumplimiento en cada etapa del desarrollo del producto de software, así como también velar por el cumplimiento de cada una de las etapas del ciclo de vida del desarrollo del producto de software.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, S., & Rodriguez, A. (2017). Automation of a business process using robotic process automation (RPA): A case study. *Applied Computer Sciences in Engineering: 4th Workshop on Engineering Applications, WEA 2017, Cartagena, Colombia, September 27-29, 2017, Proceedings 4*, 65–71.
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2003). Addison-Wesley Professional. *Software Architecture in Practice*.
- Boulton, C. (2018). What is RPA? A revolution in business process automation. *Computerworld Hong Kong* (May 2017).
- Canto de Gante, Á. G., Sosa González, W. E., Bautista Ortega, J., Escobar Castillo, J., & Santillán Fernández, A. (2020). Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social. *Revista de La Alta Tecnología y Sociedad*, 12(1).
- Durango, A. (2015). *Diseño de Software: 2a Edición*. IT campus academy.
- Galvis Benitez, M. A. (2024). Análisis de la aplicación de automatización robótica de procesos (rpa) en el ámbito empresarial.
- Garlan, D. (2014). Software architecture: a travelogue. In *Future of Software Engineering Proceedings* (pp. 29–39).
- Garlan, D., & Shaw, M. (1993). An introduction to software architecture. In *Advances in software engineering and knowledge engineering* (pp. 1–39). World Scientific.

- Hilliard, R. (2000). Ieee-std-1471-2000 recommended practice for architectural description of software-intensive systems. IEEE, [Http://Standards. Ieee. Org](http://standards.ieee.org), 12(16–20), 2000.
- Kalantari, A., Esmaeili, A., & Ibrahim, S. (2013). A service oriented security reference architecture. *International Journal of Advanced Computer Science and Information Technology (IJACSIT)* Vol, 1, 25–31.
- Kazman, R., Cervantes, H., Haziyeu, S., & Hrytsay, O. (2016). Tutorial summary for designing software architectures using ADD 3.0. 2016 13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA), 253.
- Kotov, A., & Klein, J. (2021). SEI Software Architecture Principles and Practices Overview Training. Tech. rep. Pittsburgh, PA 15213: Software Engineering Institute, Carnegie
- Liu, F., Tong, J., Mao, J., Bohn, R., Messina, J., Badger, L., & Leaf, D. (2011). NIST cloud computing reference architecture. *NIST Special Publication*, 500(2011), 1–28.
- Losavio, F., & Guillén-Drija, C. (2010). Comparación de métodos para la arquitectura del software: Un marco de referencia para un método arquitectónico unificado. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(1), 71–87.
- MacKenzie, C. M., Laskey, K., McCabe, F., Brown, P. F., Metz, R., & Hamilton, B. A. (2006). Reference model for service oriented architecture 1.0. *OASIS Standard*, 12(S18), 1–31.
- Maida, E. G., & Pacienza, J. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*.
- Perry, D. E., & Wolf, A. L. (1992). Foundations for the study of software architecture. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 17(4), 40–52.

- Pourmirza, S., Peters, S., Dijkman, R., & Grefen, P. (2019). BPMS-RA: a novel reference architecture for business process management systems. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 19(1), 1–23.
- Reynoso, C. B. (2004). *Introducción a la Arquitectura de Software*. Universidad de Buenos Aires, 33.
- Richards, M. (2015). *Software architecture patterns (Vol. 4)*. O'Reilly Media, Incorporated 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA
- Thayer, R. H. (2003). Software engineering glossary. *IEEE Software*, 20(4), c3.
- Weyrich, M., & Ebert, C. (2015). Reference architectures for the internet of things. *IEEE Software*, 33(1), 112–116.
- Willcocks, L. P., & Lacity, M. (2016). *Service automation robots and the future of work*. SB Publishing.
- Wojcik, R., Bachmann, F., Bass, L., Clements, P., Merson, P., Nord, R., & Wood, B. (2006). *Attribute-driven design (ADD), version 2.0*. CMU/SEI-2006-TR-023). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute



TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

- Desarrollo e innovación de productos y procesos en la Industria de alimentos.
- Uso de nuevas materias primas alimentarias.
- Alimentos funcionales y componentes bioactivos.
- Nutrición y salud pública.
- Bioprocesos.
- Peligros químicos en alimentos.

CAPÍTULO #6

Efecto de la adición de cascarilla de cacao sobre las propiedades de cocción de una hamburguesa.

Effect of Cocoa Husk Addition on the Cooking Properties of a Burger

Johannes Delgado Ospina¹⁶

Diana Paola Navia Porras¹⁷

Raquel Lucas González¹⁸

Manuel Viuda Martos¹⁹

Juana Fernández López²⁰

José Ángel Pérez Álvarez²¹

Maria Martuscelli²²

Clemencia Chaves López²³

¹⁶ Ph.D. Universidad de San Buenaventura. Cali, Colombia. <http://orcid.org/0000-0001-8095-4741>. jdelgado1@usbcali.edu.co.

¹⁷ Ph.D. Universidad de San Buenaventura. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-8448-174X>. dpnavia@usbcali.edu.co.

¹⁸ Ph.D. Universidad Miguel Hernández. Elche, España. <https://orcid.org/0000-0003-0309-7031>. raquel.lucas@graduado.umh.es.

¹⁹ Ph.D. Universidad Miguel Hernández. Elche, España. <https://orcid.org/0000-0001-9801-3819>. mviuda@umh.es.

²⁰ Ph.D. Universidad Miguel Hernández. Elche, España. <https://orcid.org/0000-0002-4771-8437>. j.fernandez@umh.es.

²¹ Ph.D. Universidad Miguel Hernández. Elche, España. <https://orcid.org/0000-0002-1143-5646>. ja.perez@goumh.umh.es.

²² Ph.D. Universidad de Teramo. Teramo, Italia. <https://orcid.org/0000-0002-5919-305X>. mmartuscelli@unite.it.

²³ Ph.D. Universidad de Teramo. Teramo, Italia. <https://orcid.org/0000-0001-7373-7888>. cchaveslopez@unite.it.

Resumen

La incorporación de fibras vegetales en los productos cárnicos procesados brinda al consumidor un producto con características sensoriales y nutricionales superiores. La cascarilla de cacao (CC) tiene un alto valor funcional y nutricional, no solo por su contenido de fibra sino también por sus compuestos fenólicos, teobromina, lípidos y proteínas que pueden tener propiedades bioactivas benéficas para el consumidor. En este estudio se evaluó la incorporación de la CC en una hamburguesa y sus efectos sobre las propiedades de cocción de la hamburguesa cruda y cocida. Las hamburguesas se prepararon siguiendo una formulación industrial e incorporando la cascarilla obtenida de muestras de cacao criollo de Colombia a diferentes concentraciones (0, 1,5 y 3,0%). La adición de CC incrementó significativamente el contenido de fibra (de 0,13 a 0,93 - 1,78 %) y lípidos (de 10,74 a 13,34 - 13,42 %) en la hamburguesa cocida. Se encontró que la incorporación de CC mejora las propiedades de cocción, disminuye la pérdida de peso y volumen y aumenta la retención de lípidos. También se encontró que la dureza de la hamburguesa aumentó al aumentar el contenido de CC. En conclusión, la cascarilla de cacao es un nuevo ingrediente potencial para hamburguesas de carne saludables.

Palabras clave: Cascarilla de cacao, fibra dietaria, biocompuestos.

Abstract

The incorporation of vegetable fibers in processed meat products provides the consumer with a product that has superior sensory and nutritional characteristics. Cocoa husk (CH) has high functional and nutritional value, not only due to its fiber content but also its phenolic compounds, theobromine, lipids, and proteins, which can have beneficial bioactive properties for the consumer. In this study, the incorporation of CH in a burger and its effects on the cooking properties of both raw and cooked burgers were evaluated. The burgers were prepared following an industrial formulation and incorporating husk obtained from samples of Colombian Criollo cocoa at different concentrations (0, 1.5, and 3.0%). The addition of CH significantly increased the fiber content (from 0.13% to 0.93% - 1.78%) and lipids (from 10.74% to 13.34% - 13.42%) in the cooked burger. It was found that the incorporation of CH improves cooking properties, reduces weight and volume loss, and increases lipid retention. It was also found that burger hardness increased with the higher CH content. In conclusion, cocoa husk is a potential new ingredient for healthy meat burgers.

Keywords: Cocoa husk, dietary fiber, biocompounds.

Introducción

La industria cárnica debe adaptarse rápidamente a los planes gubernamentales para reducir la obesidad y ofrecer a los futuros consumidores postpandemia, alimentos más saludables y benéficos para su salud. La “Estrategia Alimentaria Nacional” del Reino Unido, hace un llamado claro y convincente a la industria alimentaria para que haga más por la salud y el medio ambiente, lo que lo que claramente conduce a una reformulación de los alimentos, para hacerlos mucho más saludables (Perrett, 2020). Las empresas deben garantizar que los alimentos sean saludables, confiables, sostenibles, resilientes y productivos; por lo tanto, solo aquellas industrias que inviertan en I+D+i pueden aceptar este gran desafío que, hasta ahora, nunca se había planteado (Pérez-Alvarez *et al.*, 2020).

La fibra dietaria (FD) se encuentra en productos alimenticios agrícolas como granos, cereales, vegetales y frutas; cada una de estas fibras, exhibe una estructura química y propiedades funcionales únicas. Contienen oligosacáridos, lignina, polisacáridos y, en menor cantidad, otros compuestos vegetales relacionados. En las últimas décadas ha aumentado el interés por los alimentos ricos en fibra, debido a sus efectos benéficos sobre la salud humana. De hecho, las poblaciones cuya dieta es rica en fibra dietaria, tienen una menor probabilidad de padecer enfermedades crónicas que las poblaciones con una dieta pobre en fibra (Raninen *et al.*, 2011).

El alto consumo de fibra dietaria se ha asociado con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes, hipertensión, enfermedades gastrointestinales, e incluso alivia el estrés (Anderson *et al.*, 2009). Además, el consumo de fibra exhibe numerosos efectos biológicos relacionados con la salud gastrointestinal. De hecho, la fracción insoluble de la fibra

dietaria se ha asociado con la regulación intestinal, mientras que, la fracción soluble tiene relación con la disminución del nivel de colesterol y la absorción intestinal de la glucosa.

La fibra dietaria recomendada en una dieta para adultos es de 21 a 36 g/día, de los cuales el 70 u 80 % debe ser de tipo insoluble (Trumbo *et al.*, 2002). A pesar de esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que las personas, hoy en día, consumen más alimentos ricos en energía, grasas, azúcares libres y sal/sodio, y muchas personas no comen suficientes frutas, verduras y otras fuentes de fibra dietaria, como los cereales integrales (World Health Organization, 2020).

Entre los productos de la industria cárnica, las hamburguesas y las salchichas son los más populares entre los consumidores jóvenes. Sin embargo, se debe tener en cuenta que muchos sectores de la población los consideran poco saludables. Se han realizado estudios sobre las salchichas tipo Frankfurt, con el propósito de mejorar su valor nutricional, haciendo uso de subproductos y/o semillas de chía y quinua (Fernández-López *et al.*, 2021). En general, muchos productos comerciales ya incorporan diferentes tipos de fibra dietaria y su adición a los productos cárnicos es muy bien aceptada por una parte significativa de consumidores, incluidos los flexitarianos. Además, se cree que las fibras provenientes de técnicas de valoración sostenible son mucho mejores porque contribuyen al desarrollo de la economía circular (García-Herrero *et al.*, 2019).

En los últimos años, los investigadores han recomendado agregar fibra a todos los productos cárnicos (Mehta *et al.*, 2015), con el propósito de favorecer una dieta equilibrada y saludable y, dotar a los alimentos de funciones renovadas. El propósito de agregar fibra dietaria a estos productos es mejorar las propiedades reológicas y la estabilidad, en relación con la

sustitución parcial de grasa. En particular, se recomienda la fibra soluble ya que sostiene la matriz de gel formada por las proteínas solubles de la carne y la grasa (Cui *et al.*, 2011).

La cascarilla de cacao es un residuo agroindustrial, que se obtiene tras tostar y moler el cacao, contiene cantidades significativas de fibra soluble (Botella-Martínez *et al.*, 2021; Lecumberri *et al.*, 2007) y, como lo sugieren Nsor-Atindana *et al.*, (2012) podría ser una fuente económica y alternativa de fibra dietaria que posee un alto valor nutricional debido a la presencia de una variedad de biocompuestos, como compuestos fenólicos, teobromina y lípidos (Delgado-Ospina *et al.*, 2020, 2021). En este contexto, se ha propuesto la adición de fibra de cascarilla de cacao como sustituto de grasas en muffins de chocolate (Martínez-Cervera *et al.*, 2011) y, en la elaboración de pan de trigo fresco y almacenado (Collar *et al.*, 2009), en ambos casos los autores encontraron un efecto suavizante sobre el producto. Aunque se han realizado estudios sobre la adición de fibra a los derivados cárnicos, no se conocen estudios sobre la adición de cascarilla de cacao.

Este trabajo ofrece una alternativa para aprovechar de manera integral la cascarilla de cacao, un recurso alimenticio que tiene un alto potencial en la agroindustria del país. Este estudio tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad de incorporar cascarilla de cacao en un producto cárnico como la hamburguesa de carne de res (ternera). Se busca obtener una hamburguesa rica en fibra, aprovechando las propiedades de la cascarilla, y analizar cómo esta afecta el color, la textura y las características de cocción del producto final.

Metodología

1. Obtención y caracterización de la cascarilla de cacao.

La cascarilla de cacao se obtuvo de 3 muestras de 2 kg de cacao criollo de Colombia, las muestras de cacao se tostaron a 135°C durante 15 minutos y la cascarilla se obtuvo después de separar mecánicamente los granos. La cascarilla se molió en un molino de impacto (IKA MF 10.2, Staufen, Alemania) y se pasó a través de un tamiz de 1 mm de tamaño de poro. La caracterización se realizó según lo informado por Delgado-Ospina *et al.*, (2021). La composición proximal (proteínas, lípidos, humedad, cenizas y fibra dietaria total (FDT)); análisis físico químico (pH, actividad del agua (aw), análisis colorimétrico); propiedades tecnofuncionales (capacidad de retención de agua (WHC) y la capacidad de retención de aceite (OHC)).

2. Elaboración de hamburguesas.

Las hamburguesas fueron elaboradas con una formulación industrial, conformada por los siguientes ingredientes: carne de ternera de res (60,8%), cerdo (32,8%), pimienta negra (0,3%), sal (1,4%) y agua (4,7%). Para los tratamientos, se agregaron a la composición de la hamburguesa dos concentraciones diferentes de cascarilla (0, 1,5 y 3,0%) de acuerdo a validaciones previas. La carne se molió en una picadora de carne (Advance, Rhino, México) y se mezcló en un bowl con la cascarilla y los demás componentes. Se formaron porciones de 90 g por compresión y se almacenaron a 4°C durante 48 horas hasta su uso en los análisis. Se cocinaron en parrilla eléctrica a 175°C por 4 minutos, por ambos lados al mismo tiempo.

3. Composición proximal en hamburguesas.

La composición proximal de las hamburguesas se determinó mediante los siguientes métodos AOAC: lípidos (AOAC 991.36), proteínas (AOAC 981.10), humedad (AOAC 925.45), cenizas (AOAC 923.03) y fibra (AOAC 985.29) (Horwitz, 2000).

4. Análisis fisicoquímicos en hamburguesas.

Se midió el pH de las hamburguesas perforando la carne en tres puntos diferentes con un electrodo de penetración conectado a un pH-metro (modelo 507 Crison, Barcelona, España). La actividad de agua (a_w) se midió con un medidor de actividad de agua a 25 °C (Novasina TH-500, Pfaeffikon, Switzerland). El análisis colorimétrico se realizó utilizando el Espectrofotómetro CM-700d con iluminante D65 y observador 10° (Konica Minolta, Osaka, Japón), midiendo directamente sobre la superficie de la hamburguesa en 4 puntos para determinar las coordenadas de color CIELab (L^* , a^* y b^*), croma C^* , ángulo de matiz h y la diferencia de color ΔE^* . Finalmente, la evaluación del color de la carne se realizó de acuerdo a las directrices de AMSA (American Meat Science Association, 2012).

5. Propiedades de textura.

El análisis del perfil de textura se realizó en hamburguesas crudas y cocidas después de ser estabilizadas a temperatura ambiente durante 30 minutos, utilizando un Texturómetro (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Las hamburguesas se cortaron en secciones de 30 mm² y se sometieron a 2 ciclos de compresión hasta alcanzar una deformación del 75% de su altura original, la velocidad de la sonda fue de 5 mm/s y la fuerza de activación de 5 g. Se obtuvieron las curvas de deformación fuerza-tiempo y se calcularon los siguientes atributos:

dureza (N), adherencia, elasticidad (mm), cohesión (Nmm), gomosidad, masticabilidad (Nmm) y resiliencia. Se realizaron cuatro determinaciones por muestra.

6. Propiedades de cocción.

Para determinar las propiedades de cocción, se midieron el peso y volumen de las hamburguesas antes y después de cocción. Se calcularon aumento de espesor, reducción de diámetro, pérdida de volumen, retención de humedad, pérdida de peso y retención de grasa según Longato *et al.*, (2017) usando las ecuaciones 1 a 6. El análisis se repitió cuatro veces para cada tratamiento.

$$\text{Incremento de espesor} = (\text{espesor cocido} - \text{espesor crudo}) / (\text{espesor crudo}) \times 100$$

Ecuación 1

$$\text{Reducción de diámetro} = (\text{diámetro crudo} - \text{diámetro cocido}) / (\text{diámetro crudo}) \times 100$$

Ecuación 2

$$\text{Pérdida de volumen} = (\text{volumen crudo} - \text{volumen cocido}) / (\text{volumen crudo}) \times 100$$

Ecuación 3

$$\text{Retención de humedad} = (\text{humedad cocida}) / (\text{humedad cruda}) \times 100$$

Ecuación 4

$$\text{Pérdida de peso} = (\text{peso crudo} - \text{peso cocido}) / (\text{peso crudo}) \times 100$$

Ecuación 5

$$\text{Retención de grasa} = (\text{grasa cocida}) / (\text{grasa cruda}) \times 100$$

Ecuación 6

7. Análisis estadístico.

Los datos cuantitativos se recolectaron bajo un modelo de diseño completamente al azar de acuerdo a las metodologías propuestas. Para evaluar la significancia estadística de los tratamientos se realizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y la prueba de comparación de medias HDS de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI. Los experimentos se llevaron a cabo por triplicado y los datos se presentan como valores medios \pm desviación estándar.

Resultados

1. Composición proximal de la cascarilla y la hamburguesa.

En general, la cascarilla de cacao presentó un menor contenido de fibra dietaria total, un mayor contenido de lípidos y un contenido de proteínas similar al reportado por Lecumberri *et al.*, (2007) (Tabla 1). El alto contenido de proteínas en la cascarilla (15,17%) se debe principalmente al aporte del embrión de la semilla de cacao que se separa con la cascarilla durante el proceso de descascarillado. La adición de CC no modificó significativamente el contenido de proteínas en los tratamientos, aunque, se espera que cambie el perfil de aminoácidos por lo que en posteriores estudios se deberá determinar la calidad de las proteínas proporcionadas en términos del perfil de aminoácidos.

La cascarilla de cacao presentó un contenido de fibra de 48,09 %, representado principalmente por fibra insoluble. Como se esperaba, la adición de la cascarilla aumentó el contenido de fibra de la hamburguesa en 0,76 % y 1,35% en los tratamientos CC1,5% y CC3,0%, respectivamente, lo cual es aceptable para productos sin fibra. El contenido de lípidos

de la cascarilla (15,07%) proviene de pequeñas fracciones de grano que, al ser más ligeras, se separan de los granos durante el proceso de descascarillado. La adición de la CC aumentó el contenido de lípidos en los tratamientos y de manera significativa en CS3,0 que aumentó de 7,17 a 10,54 %. Es bien sabido que aumentar el contenido de fibra y grasa de origen vegetal mejora las propiedades nutricionales del producto (Fernández-López *et al.*, 2019).

El pH de la cascarilla de cacao fue ligeramente inferior al de la hamburguesa control. Sin embargo, la adición de la cascarilla a la hamburguesa en los tratamientos no disminuyó el pH de manera significativa ($P < 0,05$), lo cual garantiza ventajas para la estabilidad del color y una óptima durabilidad del producto.

En cuanto a la humedad, se detectó una ligera reducción al aumentar la proporción de cascarilla, debido a que la fibra contiene muy poca agua (1.88%) y su capacidad de retención de agua es baja (4,62 g H₂O/g CC) (Delgado-Ospina *et al.*, 2021), lo que se refleja en las características texturales de la hamburguesa. Durante la cocción se pierde principalmente agua, lo que hace que se alteren las proporciones de los componentes de la hamburguesa, por lo que se observó un aumento significativo esperado ($P < 0,05$) de la fibra debido a la presencia de más cascarilla en los tratamientos.

Después de la cocción, el contenido de lípidos aumentó significativamente ($P < 0,05$) con respecto al control pero no entre los tratamientos; este aumento está relacionado con el aporte de lípidos de la cascarilla y de la capacidad de retención de lípidos que evita su pérdida durante el proceso de cocción. Aunque el contenido de proteína pareció reducirse, esta reducción no fue estadísticamente significativa ($P > 0,05$) y está directamente relacionada con el aumento en el contenido de fibra y lípidos del producto final. Los parámetros de pH, Aw y cenizas no mostraron cambios significativos debido a la adición de cascarilla.

Tabla 1

Composición proximal (g/100 g muestra)

	Cascarilla	Hamburguesa cruda			Hamburguesa cocida		
		Control	CC 1,5%	CC 3,0%	Control	CC 1,5%	CC 3,0%
Proteína (%)	15,17 ± 0,28 a	18,87 ± 0,12 b	18,61 ± 0,66 b	18,41 ± 0,28 b	27,23 ± 1,06 c	25,51 ± 0,63 c	25,79 ± 0,01 c
Lípidos (%)	15,07 ± 0,16 c	7,17 ± 1,08 a	8,30 ± 1,62 a	10,54 ± 0,97 b	10,74 ± 1,21 b	13,34 ± 0,97 c	13,42 ± 0,49 c
Fibra (%)	48,09 ± 0,30	0,03 ± 0,02 a	0,76 ± 0,12 b	1,35 ± 0,23 c	0,13 ± 0,10 a	0,93 ± 0,22 b	1,78 ± 0,35 d
Humedad (%)	1,88 ± 0,30 a	67,21 ± 0,1 e	65,73 ± 1,0 d	64,96 ± 0,4 d	56,12 ± 0,4 c	55,97 ± 0,3 c	54,35 ± 0,4 b
Cenizas (%)	7,0 ± 0,5 f	2,41 ± 0,03 b	2,54 ± 0,04 c	2,27 ± 0,01 a	3,11 ± 0,03 e	3,12 ± 0,01 e	3,00 ± 0,01 d
pH	5,34 ± 0,02 a	5,71 ± 0,02 b	5,69 ± 0,01 b	5,69 ± 0,01 b	6,06 ± 0,02 c	6,04 ± 0,01 c	6,06 ± 0,01 c
Aw	0,585 ± 0,015 a	0,949 ± 0,003 c	0,955 ± 0,002 d	0,951 ± 0,004 cd	0,947 ± 0,004 c	0,943 ± 0,002 b	0,940 ± 0,002 b

Fuente. Elaboración propia (2024)

**Los resultados se expresan como medias ± desviaciones estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).*

2. Evaluación del color.

El color es el atributo de calidad más importante que los consumidores consideran al seleccionar un producto cárnico procesado. La cascarilla de cacao tiene un color marrón característico que puede cambiar el color de los productos a los que se les añade. Los datos de color se presentan en la Tabla 2. La adición de la cascarilla a la hamburguesa provocó una disminución en los valores de L^* , este efecto se puede atribuir a dos factores, el primero es el efecto del color oscuro de la cascarilla hidratada dentro de la matriz y, el segundo, es el fenómeno de reflexión de la luz en la superficie de la hamburguesa, que se debe principalmente a la reducción del agua libre en la superficie debido a la alta retención de agua de la cascarilla.

Por otro lado, los valores de a^* y b^* son útiles para identificar el desarrollo de un producto cárnico. Ambos disminuyen durante la oxidación, y son los mejores indicadores de los cambios de la mioglobina durante la maduración de la carne (Hernández Salueña *et al.*, 2019). La adición de cascarilla también provocó una disminución significativa en los valores de a^* y b^* en las muestras de hamburguesas. Aunque esta tendencia puede indicar una posible oxidación de la mioglobina (color rojo) a metamioglobina (color marrón-pardo), el corto tiempo entre la adición de la cascarilla y la medición del color sugiere que los cambios están relacionados con el aporte del color de la cascarilla y no con procesos oxidativos.

El croma C^* y el ángulo de matiz h^* están directamente relacionados con la percepción visual del color por parte de los humanos, el aumento de la cascarilla en hamburguesa produjo una disminución en los valores de C^* y un aumento en los valores de h_{ab} , por lo que la intensidad del color de las muestras fue menor y el tono cambió de rojo a amarillo. Según Hernández-Salueña *et al.*, (2019), la oxidación de la mioglobina a metamioglobina de la carne da como resultado una disminución de los valores de C^* pero ningún cambio significativo en la h_{ab} , fortaleciendo el argumento de que los cambios de color están relacionados con un efecto de color de la cascarilla.

El ΔE^* es un buen parámetro para monitorear los cambios de color si se establece cuál es el umbral en el cual un observador considera que una muestra es diferente; los umbrales dependen de las características de la muestra, aunque los valores para productos cárnicos como la carne de hamburguesa no se han establecido, la mayoría de los reportes indican que valores >3 son cambios perceptibles por el observador (Fernández-López *et al.*, 2019). En este sentido, la adición de cascarilla produjo valores de ΔE que excedieron el umbral, lo que significa que esta

adición da a las muestras un color diferente en comparación con la muestra control, la cual tiende a aumentar al incrementar la concentración de cascarilla.

Tabla 2

Parámetros de color de la hamburguesa con la adición de cascarilla de cacao.

	L*	a*	b*	C*	h_{ab}	ΔE^*
Hamburguesa cruda						
Control	46,94 ± 0,17 c	13,64 ± 0,11 f	20,26 ± 0,02 f	24,42 ± 0,05 f	56,04 ± 0,24 b	-
CC 1,5%	43,39 ± 1,38 b	10,19 ± 0,25 de	17,91 ± 0,73 d	20,61 ± 0,52 d	60,34 ± 1,55 c	7,82 ± 3,17 a
CC 3,0%	41,94 ± 1,0 b	9,75 ± 0,11 d	19,32 ± 0,30 e	21,64 ± 0,21 e	63,21 ± 0,62 c	10,35 ± 1,37 a
Hamburguesa cocida						
Control	53,33 ± 1,03 e	5,32 ± 0,73 ab	13,12 ± 0,76 b	14,18 ± 0,70 b	67,91 ± 3,21 d	-
CC 1,5%	49,07 ± 1,38 d	5,24 ± 0,53 a	13,90 ± 0,32 bc	14,86 ± 0,35 bc	69,35 ± 1,96 d	9,45 ± 1,77 a
CC 3,0%	47,52 ± 1,11 cd	5,96 ± 0,33 b	14,35 ± 0,35 c	15,54 ± 0,38 c	67,44 ± 1,07 d	11,47 ± 1,36 a

Fuente. Elaboración propia (2024)

Abreviaturas: L, luminosidad; a*, coordenada rojo/verde; b*, coordenada amarillo/azul; C*, croma; ángulo de tono o matiz; ΔE , diferencias de color. Los resultados se expresan como medias \pm desviaciones estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).*

En la hamburguesa cocida con adición de cascarilla, el cambio de color evaluado como ΔE^* indicó que las muestras difieren significativamente del control ($\Delta E^* > 3$), pero no entre sí ($\Delta E_{(CC1,5-CC3,0)} = 2,02$) ($P < 0,01$). Es posible que el color oscuro de las muestras añadidas con cascarilla de cacao confunda al consumidor en el tiempo de cocción adecuado. La disminución significativa de la luminosidad respecto al control se debe a los mismos factores mencionados

anteriormente para la adición de la cascarilla a la carne, una menor luminosidad implica un color más oscuro que puede confundirse con una cocción temprana. El aumento de b^* y Croma puede reflejar la menor oxidación de la mioglobina debido al aumento de la temperatura en comparación con el grupo control (Hernández Salueña *et al.*, 2019).

3. Análisis de perfil de textura.

El análisis del perfil de textura de las hamburguesas crudas (Tabla 3) mostró una variación significativa en la mayoría de los parámetros ($P < 0,05$), en este punto dichos valores de textura impactan en su vida útil y la percepción inicial del consumidor. En hamburguesa cruda, la dureza aumentó (57,59 a 58,24 y 62,95 N) al agregar CC1,5% y CC3,0%, respectivamente ($P < 0,05$). Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Sánchez-Zapata *et al.*, (2013) quienes encontraron que la adición de fibra insoluble a salchichas aumentó su dureza, atribuido a su capacidad para promover y/o fortalecer las conexiones entre los componentes de la matriz (Cruz *et al.*, 2010). Esto es favorable, ya que se puede evitar añadir agentes aglutinantes como la miga de trigo (Pietrasik *et al.*, 2020) o pan rallado y huevo (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2009) para mantener la forma deseada.

La adición de cascarilla de cacao a la hamburguesa no afectó significativamente la adherencia ($P > 0,05$), lo que indica que las hamburguesas con y sin cascarilla se mantuvieron unidas de manera similar durante la manipulación. Sin embargo, las propiedades texturales como la elasticidad, la cohesión, la gomosidad, la masticabilidad y la resiliencia disminuyeron significativamente ($P < 0,05$) con la adición de cascarilla. Esta disminución en las propiedades texturales podría estar relacionada con la reducción de la hidratación de la hamburguesa, la cual se atribuye al bajo contenido de agua de la cascarilla al momento de incorporarla en la formulación. Adicionalmente, la cascarilla de cacao, rica en fibra insoluble, tiene la capacidad de

absorber y retener agua, lo que podría haber limitado la disponibilidad de agua para las proteínas de la carne durante la formación de la hamburguesa.

Esta menor hidratación podría haber impactado la desnaturalización de las proteínas y la formación de la red miofibrilar, elementos clave que determinan la textura de la carne. Como resultado, las hamburguesas con cascarilla podrían percibirse como menos elásticas, cohesivas, gomosas, masticables y resilientes en comparación con las hamburguesas sin cascarilla. Es importante destacar que la magnitud de la disminución en las propiedades texturales podría depender de la cantidad de cascarilla añadida a la hamburguesa. Estudios futuros podrían explorar el efecto de diferentes niveles de cascarilla en las propiedades texturales y sensoriales de las hamburguesas.

La dureza de las hamburguesas cocidas aumentó significativamente en 184,50, 249,13 y 236,56 N cuando se añadió CC1,5 % y CC3,0 %, respectivamente ($P < 0,05$). Es importante resaltar que este valor aumentó durante la cocción, probablemente porque la cascarilla incrementó el fortalecimiento de la red proteína-agua, la interacción proteína-proteína, o nuevas interacciones entre la cascarilla y las proteínas que aumentaron la resistencia del gel con la cocción. Se necesitan más estudios para respaldar esta afirmación. Por lo general, un aumento del contenido de grasa en el producto conduce a una disminución de la dureza, pero en este caso no se observó debido al fuerte efecto de interacción de la fibra dietaria.

En cuanto a la gomosidad, esta también aumentó significativamente con la adición de la cascarilla, sin diferencias significativas entre las dos concentraciones de cascarilla. La adherencia y cohesión se mantuvieron constantes, mientras que la elasticidad, la masticabilidad y la resiliencia disminuyeron ($P < 0,05$) en las muestras con adición de cascarilla; la disminución de estos parámetros puede estar relacionada con la disminución de la hidratación de la

hamburguesa. En general, el producto se presentó con mayor dureza, pero con mejor masticabilidad.

Tabla 3

Parámetros de perfil de textura de las hamburguesas.

	Dureza (N)	Adherencia	Elasticidad			Masticabilidad	
			(mm)	Cohesión	Gomosidad (N)	(N mm)	Resiliencia
Hamburguesa cruda							
Control	57,59 ± 2,29 a	1,93 ± 0,04 b	0,30 ± 0,02 c	0,39 ± 0,01 c	22,60 ± 1,09 b	6,82 ± 1,11 b	0,126 ± 0,007 b
CC 1.5%	58,24 ± 2,73 ab	2,09 ± 0,66 b	0,23 ± 0,06 b	0,33 ± 0,02 a	19,82 ± 1,54 a	4,52 ± 1,23 a	0,097 ± 0,007 a
CC 3.0%	62,95 ± 1,05 b	3,10 ± 1,49 b	0,23 ± 0,03 b	0,36 ± 0,02 b	22,86 ± 0,96 b	5,36 ± 0,75 a	0,103 ± 0,07 a
Hamburguesa cocida							
Control	184,50 ± 76,11 c	0,010 ± 0,009 a	0,19 ± 0,06 b	0,67 ± 0,02 e	123,37 ± 19,80 c	21,65 ± 0,74 d	0,274 ± 0,015 d
CC 1.5%	249,13 ± 45,97 d	0,011 ± 0,009 a	0,12 ± 0,02 a	0,67 ± 0,01 e	166,25 ± 32,58 d	19,82 ± 0,50 c	0,267 ± 0,015 d
CC 3.0%	236,56 ± 19,75 cd	0,012 ± 0,003 a	0,13 ± 0,02 a	0,65 ± 0,01 d	153,54 ± 12,44 d	19,55 ± 1,01 c	0,253 ± 0,010 c

Fuente. Elaboración propia (2024)

**Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (P < 0,05).*

4. Propiedades de cocción.

Las propiedades de cocción de las hamburguesas adicionadas con cascarilla se presentan en la Tabla 4. Los cambios en las dimensiones durante la cocción se deben principalmente a la liberación de agua y grasas, que disminuyen su retención en la matriz como resultado de la desnaturalización de las proteínas. No se observó un cambio significativo (P>0,05) en el aumento de espesor entre los tratamientos. Valores similares son reportados por Pietrasik *et al.*,

(2020), aunque el valor de control depende exclusivamente de los diferentes cortes de carne. En contraste, la reducción de diámetro y la pérdida de volumen se redujeron significativamente ($P < 0,05$) con la adición de fibra, pero sin diferencias ($P > 0,05$) entre ambos tratamientos. En este caso, mantener el tamaño de la hamburguesa después de la cocción es muy importante desde el punto de vista de los estándares de calidad. Este comportamiento puede atribuirse al efecto de los enlaces formados entre grupos polares de proteínas y fibras, disminuyendo la distorsión por el aumento de temperatura (Sánchez-Zapata *et al.*, 2013).

La retención de humedad aumentó con la adición de CC1,5% pero no con CC3,0%, lo que confirma la baja capacidad de retención de agua observada, por lo que el calentamiento provoca que la humedad no se retenga en mayor proporción como lo reportado para la adición de piel de avellana a las hamburguesas de pollo (Longato *et al.*, 2019). Se observó un aumento estadísticamente significativo ($P < 0,05$) en la retención de grasa en comparación con el grupo control, aunque la capacidad de retención de aceite de la fibra fue baja, lo que puede indicar que la retención estuvo determinada por interacciones adicionales en la matriz causadas por la cascarilla.

Finalmente, la pérdida de peso, muy importante para mantener los estándares de calidad, fue menor en los tratamientos que en el grupo control, principalmente debido a una menor pérdida de grasa, como lo confirma el análisis proximal, el cual mostró un mayor contenido de grasa después de la cocción en los tratamientos, aunque no hubo diferencias significativas entre ellos (Tabla 1).

Tabla 4

Propiedades de cocción de las hamburguesas.

Hamburguesa cocida	Incremento de espesor (%)	Reducción de diámetro (%)	Pérdida de volumen (%)	Retención de humedad (%)	Pérdida de peso (%)	Retención de grasas (%)
Control	22,0 ± 6,1 a	19,3 ± 2,6 a	21,81 ± 5,1 a	83,5 ± 0,6 a	30,97 ± 2,6 a	52,74 ± 5,9 a
CC 1,5%	24,1 ± 5,0 a	15,8 ± 2,7 b	11,50 ± 6,2 b	85,1 ± 1,4 b	24,65 ± 1,8 b	63,98 ± 4,7 b
CC 3,0%	21,4 ± 5,5 a	16,1 ± 2,0 b	13,74 ± 6,0 b	83,7 ± 0,8 a	25,12 ± 2,0 b	69,88 ± 2,6 c

Fuente. Elaboración propia (2024)

* Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

En general, las propiedades de cocción mejoraron con la adición de la cascarilla y se observó un producto más estable. En estudios posteriores, se puede realizar un análisis de la vida útil para determinar el efecto de la adición de la cascarilla de cacao y el almacenamiento en condiciones de refrigeración sobre la estabilidad del producto.

Conclusiones

La adición de cascarilla de cacao mejoró las propiedades de cocción sin afectar de manera significativa las propiedades estructurales de la hamburguesa. Es importante destacar que la incorporación de la cascarilla de cacao a la composición de la hamburguesa no solo supone una importante adición de fibra, sino que también incorpora un excelente perfil lipídico.

Los resultados sugieren que la hamburguesa con adición de cascarilla de cacao es un nuevo producto cárnicos que tiene buenas posibilidades de satisfacer la demanda del consumidor, siendo la decisión de compra del consumidor basada en la percepción de salubridad y las características sensoriales, las cuales deben ser evaluadas en el futuro.

Agradecimientos

Este trabajo contó con el apoyo de Colciencias, Patrimonio Autónomo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas. (C. 808-2018. Contrato 240-2019. Número 123280864259). Agradecimientos a la Asociación de Productores de Cacao del Centro del Valle (Tuluá, Colombia) por aportar las muestras de cacao para el estudio.

Referencias bibliográficas

- American Meat Science Association. (2012). *Meat Color Measurement Guidelines*. American Meat Science Association. <https://meatscience.org/publications-resources/printed-publications/amsa-meat-color-measurement-guidelines>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4), 188–205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Botella-Martínez, C., Lucas-Gonzalez, R., Ballester-Costa, C., Pérez-Álvarez, J. Á., Fernández-López, J., Delgado-Ospina, J., Chaves-López, C., & Viuda-Martos, M. (2021). Ghanaian Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Bean Shells Coproducts: Effect of Particle Size on Chemical Composition, Bioactive Compound Content and Antioxidant Activity. *Agronomy*, 11(2), 401. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020401>
- Collar, C., Rosell, C. M., Muguerza, B., & Moulay, L. (2009). Breadmaking performance and keeping behavior of cocoa-soluble fiber-enriched wheat breads. *Food Science and Technology International*, 15(1), 79–87. <https://doi.org/10.1177/1082013208102643>
- Cruz, A. G., Cadena, R. S., Walter, E. H. M., Mortazavian, A. M., Granato, D., Faria, J. A. F., & Bolini, H. M. A. (2010). Sensory analysis: Relevance for prebiotic, probiotic, and synbiotic product development. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 358–373. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00115.x>
- Cui, S. W., Nie, S., & Roberts, K. T. (2011). Functional properties of dietary fiber. In Murray Moo-Young (Ed.), *Comprehensive Biotechnology* (Second edi, p. 5320). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00315-9>

- Delgado-Ospina, J., Di Mattia, C. D., Paparella, A., Mastrocola, D., Martuscelli, M., & Chaves-Lopez, C. (2020). Effect of fermentation, drying and roasting on biogenic amines and other biocompounds in Colombian Criollo cocoa beans and shells. *Foods*, 9(4), 520. <https://doi.org/10.3390/foods9040520>
- Delgado-Ospina, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., Martuscelli, M., & Chaves-López, C. (2021). Bioactive compounds and technological properties of high-fiber co-products of the cacao agro-industrial chain. *Heliyon*, 7(4), e06799. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06799>
- Fernández-López, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., Haros, C. M., & Pérez-Álvarez, J. A. (2019). Chia (*Salvia hispanica* L.) products as ingredients for reformulating frankfurters: Effects on quality properties and shelf-life. *Meat Science*, 156, 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.028>
- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., & Pérez-Alvarez, J. A. (2021). Quinoa and chia products as ingredients for healthier processed meat products: technological strategies for their application and effects on the final product. *Current Opinion in Food Science*, 40, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.004>
- García-Herrero, L., Menna, F. De, & Vittuari, M. (2019). Sustainability concerns and practices in the chocolate life cycle: Integrating consumers' perceptions and experts' knowledge. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.06.003>

Hernández Salueña, B., Sáenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M., & Alberdi Odriozola, C.

(2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157, 107889.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>

Horwitz, W. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC International. In *Association of*

Official Analysis Chemists International (17th ed.). Gaithersburg, Md. : AOAC

International.

Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007).

Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104(3), 948–954.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054>

Longato, E., Lucas-González, R., Peiretti, P. G., Meineri, G., Pérez-Alvarez, J. A., Viuda-

Martos, M., & Fernández-López, J. (2017). The effect of natural ingredients (Amaranth and Pumpkin seeds) on the quality properties of chicken burgers. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 2060–2068.

<https://doi.org/10.1007/s11947-017-1978-0>

Longato, E., Meineri, G., Peiretti, P. G., Gai, F., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. Á.,

Amarowicz, R., & Fernández-López, J. (2019). Effects of hazelnut skin addition on the cooking, antioxidant and sensory properties of chicken burgers. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 3329–3336.

<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03813-7>

Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Mugerza, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Cocoa

fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *LWT - Food Science and*

Technology, 44(3), 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.035>

- Mehta, N., Ahlawat, S. S., Sharma, D. P., & Dabur, R. S. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products—a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 633–647. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>
- Nsor-Atindana, J., Zhong, F., & Mothibe, K. J. (2012). In vitro hypoglycemic and cholesterol lowering effects of dietary fiber prepared from cocoa (*Theobroma cacao* L.) shells. *Food and Function*, 3(10), 1044–1050. <https://doi.org/10.1039/c2fo30091e>
- Pérez-Alvarez, J. A., Alarcón-García, M. A., López-Vargas, J. H., & Pagán-Moreno, M. J. (2020). Aspectos generales de los snacks durante la pandemia del Covid-19. *Tecnifood*, 131, 102–104.
- Perrett, M. (2020). *National Food Strategy makes urgent recommendations after coronavirus and Brexit*. Food Manufacture. <https://www.foodmanufacture.co.uk/Article/>
- Pietrasik, Z., Sigvaldson, M., Soladoye, O. P., & Gaudette, N. J. (2020). Utilization of pea starch and fibre fractions for replacement of wheat crumb in beef burgers. *Meat Science*, 161, 107974. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107974>
- Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., & Poutanen, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: Comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1), 9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
- Sánchez-Zapata, E., Zunino, V., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2013). Effect of tiger nut fibre addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage (“Chorizo”) during the dry-curing process. *Meat Science*, 95(3), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.026>

Sáyago-Ayerdi, S. G., Brenes, A., & Goñi, I. (2009). Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 971–976. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.006>

Trumbo, P., Schlicker, S., Yates, A. A., & Poos, M. (2002). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *Journal of the American Dietetic Association*, 102, 1621–1630. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(02\)90346-9](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(02)90346-9)

World Health Organization. (2020). *Healthy diet*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-di>



CAPÍTULO #7

Fuerza prensil relativa en escolares colombianos de 6 a 8 años: Asociación con indicadores de adiposidad total y central

Relative Grip Strength in Colombian Schoolchildren Aged 6 to 8: Association with Total and Central Adiposity Indicators

Brian Johan Bustos Viviescas ²⁴

Luis Alfredo Duran Luna ²⁵

Rafael Enrique Lozano Zapata ²⁶

Resumen

Actualmente la fuerza prensil relativa ha sido empleada como un biomarcador de salud y riesgo cardiometabólico en adultos, sin embargo, aún es escasa la literatura sobre su relación con la adiposidad en niños, por lo cual, el objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la fuerza prensil relativa con indicadores de adiposidad total y central en escolares colombianos de 6 a 8 años. Método: estudio descriptivo de tipo correlacional, con enfoque cuantitativo y una muestra a conveniencia conformada por 173 niños escolares (94 niños y 79 niñas) en las edades de 6 a 8

²⁴ Mg. en actividad física y entrenamiento deportivo. Centro de Comercio y Servicios. Sena Regional Risaralda. Pereira, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-4720-9018>. bjbustos@sena.edu.co.

²⁵ Mg. en recursos digitales aplicados a la educación. Universidad de Cartagena. Cúcuta, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-7749-1678>. lduranl@unicartagena.edu.co.

²⁶ Dr. en ciencias de la actividad física y el deporte Universidad de Pamplona. Cúcuta, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-6239-5883>. rafaenzo@unipamplona.edu.co.

años de edad, se recolectaron los datos de masa corporal, talla, índice de masa corporal, perímetro de cintura y fuerza prensil, seguidamente con estos se calcularon el índice cintura-talla, índice de conicidad, índice peso-cintura, porcentaje de grasa corporal y fuerza prensil relativa. El análisis estadístico se llevó a en el PSPP con un nivel de confianza del 95% y un p-valor de 0,05.

Resultados: la fuerza prensil relativa acorde a la masa corporal se relaciona inversamente en niños con el índice peso-cintura ($r = -0,29$; $p < 0,01$), y con el porcentaje de grasa corporal en ambos sexos (niños: $r = -0,40$; $p < 0,01$ niños vs niñas: $r = -0,29$; $p < 0,05$), mientras que la fuerza prensil basada en IMC solamente se asoció negativamente con el porcentaje de grasa corporal en niños ($r = -0,29$; $p < 0,01$). Conclusión: los indicadores de adiposidad total y central se asocian significativamente con la fuerza prensil relativa en niños de 6 a 8 años de edad.

Palabras clave: adiposidad, niño, dinamómetro de fuerza muscular, salud pública

Abstract

Currently, relative handgrip strength has been used as a biomarker of health and cardiometabolic risk in adults. However, the literature on its relationship with adiposity in children is still scarce. Therefore, the objective of this study was to analyze the relationship between relative handgrip strength and indicators of total and central adiposity in Colombian school children aged 6 to 8 years. Method: This descriptive correlational study with a quantitative approach included a convenience sample of 173 school children (94 boys and 79 girls) aged 6 to 8 years. Data were collected on body mass, height, body mass index, waist circumference, and handgrip strength. Subsequently, the waist-to-height ratio, conicity index, waist-to-weight ratio, body fat percentage, and relative handgrip strength were calculated. Statistical analysis was conducted using PSPP with a 95% confidence level and a p-value of 0.05.

Results: Relative handgrip strength, adjusted for body mass, was inversely related to the waist-to-weight ratio ($r = -0.29$; $p < 0.01$) and body fat percentage in both sexes (boys: $r = -0.40$; $p < 0.01$ vs. girls: $r = -0.29$; $p < 0.05$). Meanwhile, handgrip strength based on BMI was only negatively associated with body fat percentage in boys ($r = -0.29$; $p < 0.01$). Conclusion: Indicators of total and central adiposity are significantly associated with relative handgrip strength in children aged 6 to 8 years.

Keywords: adiposity, child, handgrip dynamometer, public health

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud en un informe sobre obesidad infantil presentado en el 2016, la obesidad prevalece en neonatos, infantes y adolescentes; así mismo hace una advertencia ante el aumento de estas cifras en todo el mundo, pues si bien algunas regiones logran estabilizar las cifras, en términos absolutos hay más niños con sobrepeso (World Health Organization, 2016), por lo que se ha evidenciado una importancia en el monitoreo de la salud y estado físico para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades en las etapas tempranas (Steffl & Chrudimsky, 2017).

Aunque se ha demostrado que el estado de peso de los niños es el resultado de diversos factores, la obesidad infantil se da como consecuencia de una ingesta excesiva de energía acompañada por un bajo gasto calórico, dando por hecho que una disminución en la práctica deportiva en edades escolares precedida por un estilo de vida sedentaria, amenaza con disparar la epidemia de obesidad infantil (Duffine Gilman & Volpe, 2018), del mismo modo, diversos factores como la inactividad, las enfermedades y la desnutrición pueden incidir negativamente en la cantidad y calidad del músculo esquelético (Cruz et al, 2019).

Es importante recalcar que el músculo esquelético desempeña un papel importante en el metabolismo y la salud general a lo largo del ciclo de vida (Orsso et al, 2019), dado a que la fuerza muscular en niños y jóvenes corresponde a un poderoso marcador de salud (Trajković et al, 2020) y calidad de vida (Evaristo et al, 2019), por este motivo diversos estudios epidemiológicos como estudios epidemiológicos como VENA, HELENA, ALPHA Y FUPRECOL han empleado la fuerza prensil de la mano para evaluar el fitness muscular en niños y adolescentes (Ortega et al, 2005; Ortega et al, 2008; Ruiz et al, 2011; Ramírez et al, 2015).

Por otro lado, se ha identificado que las medidas de adiposidad se asocian con niveles bajos de fuerza muscular (Moliner et al, 2011) y que la adiposidad se asocia significativamente con la enfermedad cardiovascular (Pérez et al, 2018), en consecuencia, dado el creciente aumento de la obesidad en la infancia, es de vital interés comprender cómo la adiposidad se relaciona con la baja fuerza muscular (Palacio et al, 2020), sin embargo los estudios adelantados hasta el momento con respecto a la fuerza prensil relativa han asociado esta variable con el riesgo cardiovascular (Pérez et al, 2018) y la predicción de la obesidad sarcopénica en niños (Palacio et al, 2020; Steffl M, Chrudimsky J, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de este estudio fue analizar la relación entre la fuerza prensil relativa con indicadores de adiposidad total y central en escolares colombianos de 6 a 8 años. Para el logro de este objetivo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1) Describir macro antropométricamente a los participantes objeto de estudio, 2) valorar la fuerza prensil de la mano y la adiposidad total-central, 3) identificar la normalidad de los datos para la fuerza prensil relativa y los indicadores de adiposidad total-central, y 4) relacionar la fuerza prensil relativa con los indicadores de adiposidad total y central.

Metodología

Este estudio es un resultado secundario de la tesis de pregrado denominada “influencia de los indicadores de riesgo cardiovascular en la coordinación motriz de niños de 5 a 8 años de edad del Instituto Técnico Guaimaral de la ciudad de Cúcuta, Colombia” para optar el título de Licenciado en Educación Básica con énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes (Bustos-Viviescas, 2018). se describió macro antropométricamente a los participantes objeto de

estudio. Se valoró la fuerza prensil de la mano y la adiposidad total-central, y se identificó la normalidad de los datos para la fuerza prensil relativa y los indicadores de adiposidad total-central. Finalmente, se relacionó la fuerza prensil relativa con los indicadores de adiposidad total y central.

Tipo de estudio

Descriptivo de tipo correlacional con enfoque cuantitativo y una muestra a conveniencia.

Participantes

173 niños escolares en las edades de (6 a 8 años de edad), siendo 94 niños y 79 niñas. Los sujetos fueron seleccionados teniendo en cuenta lo siguientes criterios de inclusión: a) firma del consentimiento informado, donde se aprobaba la participación de los niños en el estudio. b) no ostentaban ningún tipo de discapacidad sensorial, cognitiva o motora, o c) y no poseían ninguna enfermedad cardiovascular o metabólica diagnosticada.

Indicadores de adiposidad

Fundamentado bajo el concepto de Vasques y otros (2010) para el desarrollo de este estudio se tomaron los datos de masa corporal, talla, índice de masa corporal y perímetro de cintura bajo las siguientes indicaciones:

Masa corporal: el sujeto se ubica descalzo en el centro de la plataforma de la báscula con ropa ligera, sin objetos electrónicos, mirando al frente con los brazos a lo largo del cuerpo y sin realizar ningún movimiento brusco que altere los datos.

Talla: el niño se ubicó descalzo, permaneciendo de pie, erguido, con los talones juntos y con los brazos a lo largo del cuerpo, se debe tener precaución que el sujeto siempre tenga

contacto con la parte superior de la espalda, los glúteos y los talones haciendo contacto con la cinta métrica. Del mismo modo, la cabeza del niño debe estar orientada bajo un plano horizontal con respecto a la protuberancia superior del tragus del oído y el borde inferior de la órbita del ojo (Plano de Frankfort).

Índice de masa corporal: se evaluó teniendo en cuenta los siguientes puntos: peso corporal en kilogramos dividido por el cuadrado de la estatura en metros (kg/m²).

Circunferencia de cintura: para la toma de estas medidas se ubicó el sujeto de pie con el abdomen relajado y con sus brazos cruzados sobre el pecho en el punto medio entre la última costilla y la cresta ilíaca.

Seguidamente, se realizó el cálculo del índice de cintura-talla (ICT) y luego se dividió el perímetro de la cintura entre la talla:

$$\text{ICT} = \text{Circunferencia de cintura (m)} / \text{Talla (m)}$$

Por otra parte, para determinar el índice de conicidad (ICN) se procedió con el cálculo mediante la ecuación referenciada en la literatura, donde se toman las medidas de perímetro de cintura (en metros), la masa corporal (en kg), la estatura (en metros) y para llegar a la conversión de las unidades de volumen y masa a unidades de longitud se aplicó la constante de 0,109 (Valdez et al, 1993).

$$C = (\text{Circunferencia de cintura (m)}) / (0,190 \sqrt{(\text{Masa corporal (kg)} / \text{Talla (m)}))}$$

Igualmente se consideró el índice peso-circunferencia de cintura (IPC) dado a que se recomienda emplear conjuntamente con otros indicadores para evaluar sobrepeso y obesidad (Bauce & Moya, 2020).

$$\text{IPC} = \text{Masa corporal (kg)} / \text{Circunferencia de cintura (cm)}$$

Por último, se empleó la ecuación para estimar la grasa corporal de los participantes la cual cuenta con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.924$ ($p < 0,05$) para niños latinos de 7 a 13 años de edad (Huang et al, 2003).

$$\text{Grasa corporal total (kg)} = 0,632 \times \text{masa corporal (kg)} - 1,606 \times \text{edad} - 1,882 \times \text{sexo} + 3,330$$

Donde, 0 = niña, 1 = niño.

Esta ecuación fue seleccionada dado a que otras ecuaciones emplean mediciones antropométricas específicas como pliegues cutáneos los cuales no fueron posibles recolectar en este estudio, así como tampoco una evaluación por bioimpedancia, por ello, los resultados obtenidos con esta ecuación son orientativos para la grasa corporal en el análisis de esta investigación.

Así mismo, al obtener la masa grasa absoluta se procedió a calcular la relativa con respecto a la masa total (porcentaje de grasa corporal).

En el momento de la toma de medidas se permitió el uso de ropa ligera, excluyendo sudadera, moños en el cabello y elementos electrónicos que alteraran los resultados. Seguidamente se implementaron dos tomas de datos para la masa corporal, talla y perímetro de cintura, con el fin de hallar el promedio de ambas medidas en cada uno de los sujetos.

Evaluación de la fuerza prensil

Para el desarrollo de la toma de la fuerza prensil se utilizó un Dinamómetro Electrónico Camry EH101 (200 lb/90 kg), para su aplicación el sujeto tomó el dinamómetro con una mano y apretándolo utilizando la mayor fuerza posible manteniéndose de pie, erguido con brazos extendidos y sin que estos toquen el cuerpo, por un tiempo mínimo de 2 segundos. Del mismo modo, la medida del agarre del dinamómetro se realizó tanto en la mano derecha como izquierda, calculando el tamaño de la mano del niño.

Para esta investigación se consideraron dos índices de fuerza prensil relativa basada en masa corporal total e índice de masa corporal, por lo que las mediciones de fuerza absoluta corresponderían al numerador y la medida de distribución de la masa del participante el denominador (Choquette et al, 2010).

Fuerza prensil relativa para masa corporal (FPR-MC) = Fuerza prensil absoluta (kg)/masa corporal (kg)

Fuerza prensil relativa para IMC (FPR-IMC) = Fuerza prensil absoluta (kg)/IMC (kg/m²)

Cabe resaltar que la fuerza prensil empleada para estas ecuaciones fue la fuerza prensil media de la mano la cual fue obtenida de la siguiente forma:

Fuerza prensil media (kg) = (Fuerza prensil mano derecha (kg) + Fuerza prensil mano izquierda (kg)) / 2

Análisis estadístico

Se usó el paquete estadístico Microsoft Excel 2007, con el fin de analizar los datos descriptivos (promedio, desviación estándar, frecuencia relativa y absoluta), también se utilizó el PSPP con un nivel de confianza del 95% y un p-valor de 0,05 para obtener la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y aplicando el Coeficiente Correlacional entre la fuerza prensil relativa y los indicadores de adiposidad, por medio de la prueba de Spearman, las variables que no superaron la prueba de normalidad y la prueba de correlación de Pearson para los datos que presentaron distribución normal.

Normas éticas

El presente estudio se desarrolló bajo los parámetros establecidos para investigaciones con seres humanos soportada mediante la Declaración de Helsinki de la Relación Médica Mundial (AMM, 2013) y los estándares éticos establecidos para investigaciones en ciencias del deporte y del ejercicio (Harriss et al, 2017). De la mis manera se consideró la Resolución No. 008430 de 1993, emitida por Ministerio de Salud de la República de Colombia, artículo 11, clasificando esta investigación en un riesgo mayor que el mínimo (Ministerio de Salud de Colombia, 1993). Y finalmente todos los sujetos participantes debían entregar un consentimiento informado firmado por sus padres o tutores legales para poder participar del estudio, este formato se entregó en la agenda escolar de cada niño participante.

Este estudio cuenta con Aval del comité de Ética e Impacto ambiental de la Universidad de Pamplona bajo el Acta N° 002 del 4 de marzo de 2019.

Resultados

En la Tabla 1 se evidencia un incremento de la masa corporal y talla con la edad, del mismo modo esta misma tendencia se mantiene en los niños para la circunferencia de cintura.

Tabla 1

Características generales de los participantes

Niños (n = 94)		Masa corporal (kg)	Talla (m)	IMC (kg/m²)	Cintura (cm)
6 años (n = 37)	Promedio	23,30	1,22	15,60	54,48
	Desv. Est.	4,85	0,05	2,60	5,67
7 años (n = 41)	Promedio	24,25	1,26	15,14	53,99
	Desv. Est.	4,36	0,06	2,01	2,70
8 años (n = 16)	Promedio	25,43	1,30	14,90	56,98
	Desv. Est.	3,13	0,05	1,17	7,67
Niñas (n = 79)		Masa corporal (kg)	Talla (m)	IMC (kg/m²)	Cintura (cm)
6 años (n = 40)	Promedio	20,66	1,20	14,23	53,52
	Desv. Est.	3,38	0,05	1,78	5,55
7 años (n = 29)	Promedio	23,78	1,25	15,17	56,07
	Desv. Est.	3,91	0,05	2,11	5,67
8 años (n = 10)	Promedio	24,50	1,30	14,50	55,93
	Desv. Est.	3,54	0,06	1,44	3,82

Fuente. Elaboración propia (2024)

La Tabla 1 presenta las características generales de los participantes del estudio, diferenciados por edad y género. Se incluye el número de participantes (n), así como la masa corporal, la talla, el índice de masa corporal (IMC) y la medida de cintura, tanto en promedio como con su desviación estándar (Desv. Est.).

En la Tabla 2 se identifica un incremento proporcional de la fuerza media, la FPR-MC y la FPR-IMC a medida que aumenta la edad de los participantes.

Tabla 2

Fuerza prensil absoluta y relativa

Niños (n = 94)		Fuerza prensil media (kg)	FPR-MC (kg/kg)	FPR-IMC (kg/(kg/m²))
6 años (n = 37)	Promedio	8,51	0,37	0,55
	Desv. Est.	2,17	0,10	0,15
7 años (n = 41)	Promedio	9,18	0,37	0,61
	Desv. Est.	2,21	0,10	0,15
8 años (n = 16)	Promedio	11,31	0,45	0,76
	Desv. Est.	2,97	0,13	0,20
Niñas (n = 79)		Fuerza prensil media (kg)	FPR-MC (kg/kg)	FPR-IMC (kg/(kg/m²))
6 años (n = 40)	Promedio	6,80	0,33	0,48
	Desv. Est.	1,65	0,08	0,11
7 años (n = 29)	Promedio	9,05	0,38	0,60
	Desv. Est.	2,68	0,09	0,15
8 años (n = 10)	Promedio	10,62	0,44	0,74
	Desv. Est.	2,04	0,08	0,14

Fuente. Elaboración propia (2024)

La Tabla 2 presenta los datos de la fuerza prensil media, la fuerza prensil relativa a la masa corporal (FPR-MC) y la fuerza prensil relativa al IMC (FPR-IMC) de los participantes, diferenciados por edad y género. Se incluye el promedio y la desviación estándar (Desv. Est.) para cada grupo.

En la Tabla 3 es posible evidenciar que el porcentaje de grasa corporal disminuye paulatinamente con la edad en ambos sexos, mientras se mantiene un incremento del IPC.

La distribución normal en niños fue evidenciada en la fuerza prensil relativa para masa corporal total y para IMC, así como también para el porcentaje de grasa corporal ($p>0,05$), mientras que, en las niñas solamente la circunferencia de cintura y el ICT presentaron distribución no normal de los datos ($p<0,05$).

Tabla 3

Indicadores de adiposidad

Niños (n = 94)		ICT	ICN	IPC	Grasa (%)
6 años (n = 37)	Promedio	0,45	1,15	0,43	26,63
	Desv. Est.	0,04	0,09	0,07	7,19
7 años (n = 41)	Promedio	0,43	1,14	0,45	21,68
	Desv. Est.	0,03	0,09	0,08	6,71
8 años (n = 16)	Promedio	0,44	1,19	0,45	17,78
	Desv. Est.	0,06	0,16	0,07	5,28
Niñas (n = 79)		ICT	ICN	IPC	Grasa (%)
6 años (n = 40)	Promedio	0,44	1,19	0,39	22,61
	Desv. Est.	0,04	0,10	0,05	6,09
7 años (n = 29)	Promedio	0,45	1,18	0,42	20,99
	Desv. Est.	0,04	0,08	0,05	6,54
8 años (n = 10)	Promedio	0,43	1,19	0,44	15,93
	Desv. Est.	0,02	0,10	0,06	5,73

Fuente. Elaboración propia (2024)

La Tabla 3 presenta los indicadores de adiposidad, incluyendo el índice cintura-talla (ICT), índice cintura-nalgas (ICN), índice de proporción cintura (IPC) y el porcentaje de grasa corporal, diferenciados por edad y género. Se incluye el promedio y la desviación estándar (Desv. Est.) para cada grupo.

En la Tabla 4 es posible identificar que en los niños la fuerza prensil relativa de acuerdo a la masa corporal obtuvo una relación significativa con el ICN ($r = 0,23$; $p < 0,05$), el IPC ($r = -0,29$; $p < 0,01$) y el porcentaje de grasa corporal ($r = -0,40$; $p < 0,01$), mientras que la fuerza prensil relativa con respecto al IMC solamente se relacionó inversamente con el porcentaje de grasa corporal ($r = -0,29$; $p < 0,01$), esta misma relación negativa fue obtenida por las niñas en la fuerza prensil relativa basada en la masa corporal con el porcentaje de grasa corporal ($r = -0,27$; $p < 0,05$), igualmente y curiosamente se evidenció que la fuerza relativa para el IMC en niñas presenta correlación positiva con la circunferencia de cintura ($r = 0,23$; $p < 0,05$) y el IPC ($r = 0,25$; $p < 0,05$).

Tabla 4

Correlación entre fuerza prensil relativa e indicadores de adiposidad

Correlaciones		Cintura	ICT	ICN	IPC	%Grasa	
Niños	FPR-MC	Coef. Correl	0,03	0,03	0,23	-0,29	-0,40
		Significación	0,98	0,76	0,03*	0,00**	0,00*
	FPR-IMC	Coef. Correl	0,07	-0,13	0,15	-0,08	-0,29
		Significación	0,51	0,22	0,15	0,44	0,00**
Correlaciones		Cintura	ICT	ICN	IPC	%Grasa	
Niñas	FPR-MC	Coef. Correl	0,01	-0,13	0,00	0,06	-0,27
		Significación	0,89	0,26	0,98	0,62	0,01*
	FPR-IMC	Coef. Correl	0,23	-0,13	0,07	0,25	-0,13
		Significación	0,04*	0,25	0,54	0,03*	0,26

Fuente. Elaboración propia (2024)

La Tabla 4 presenta las correlaciones entre la fuerza prensil relativa (FPR), tanto en relación a la masa corporal (FPR-MC) como al IMC (FPR-IMC), y diversos indicadores de adiposidad (circunferencia de cintura, ICT, ICN, IPC y porcentaje de grasa corporal) en niños y niñas.

Además, como análisis complementario de esta investigación se correlacionaron los indicadores antropométricos de adiposidad con el porcentaje de grasa corporal, entre los principales hallazgos se destaca que en los niños existió una relación con la circunferencia de cintura ($r = 0,22$; $p < 0,05$), el ICN ($r = -0,45$; $p < 0,01$) y el IPC ($r = 0,70$; $p < 0,01$), y, en las niñas se asoció significativamente con la circunferencia de cintura ($r = 0,41$; $p < 0,01$), el ICT ($r = 0,26$; $p < 0,05$) y el IPC ($r = 0,58$; $p < 0,01$) en las niñas.

Discusión

En esta investigación se pudo identificar principalmente que la fuerza prensil relativa acorde a la masa corporal se relaciona inversamente en niños con el IPC ($r = -0,29$; $p < 0,01$), y con el porcentaje de grasa corporal en ambos sexos (niños: $r = -0,40$; $p < 0,01$ niños vs niñas: $r = -0,29$; $p < 0,05$), mientras que la fuerza prensil basada en IMC solamente se asoció negativamente con el porcentaje de grasa corporal en niños ($r = -0,29$; $p < 0,01$), es decir una mayor fuerza prensil relativa se asocia con un menor resultado de estos indicadores antropométricos de obesidad en los participantes de este estudio.

Un estudio llevado a cabo por Castro y colaboradores (2019), con niños españoles (6-10 años) obtuvieron una relación inversa de la FPR-MC con los pliegues cutáneos de tríceps y subescapular ($p < 0,01$), así como también los niños con una mayor FPR-MC obtenían mejores

probabilidades de una puntuación de riesgo de riesgo metabólico favorable, por otro lado, Steffl y colaboradores (2017) concluyeron que, la FPR-IMC permite predecir la obesidad sarcopénica en niños, así mismo, en adolescentes chilenos se ha determinado que aquellos con mayor obesidad abdominal por medio de la circunferencia de cintura presentaban menores niveles de FPR-MC (Palacio et al, 2020).

Estudios adelantados en Colombia en niños y jóvenes colombianos (9-17,9 años) permiten asociar negativa y significativamente la FPR-MC con el IMC, puntaje de dieta, colesterol total, presión arterial y niveles de glucosa (Ramírez et al, 2016), y a su vez se sugiere que la FPR-MC puede ayudar a atenuar el riesgo cardiometabólico en adultos (Garcia et al, 2019), en cuanto a puntos de corte normalizados de fuerza prensil relativa para la masa corporal se evidenciaron para “no aptos” ($<0,47$) y “aptos” ($>0,48$), y para las mujeres estos valores límite fueron $<0,33$ (“no aptos”) y $>0,34$ (“aptos” respectivamente para la práctica clínica en la detección del riesgo metabólico (Garcia et al, 2020), en el caso de niños y jóvenes Ramírez y otros (2017) notificaron que en los niños para un riesgo metabólico bajo fueron de 0,359 y 0,376 en niñas y niños, respectivamente, y en adolescentes, estos puntos fueron de 0,440 y 0,447 en niñas y niños, respectivamente, sin embargo estos puntos de corte son aplicables a niños colombianos de 9 años en adelante, por lo que considerando los puntos de corte propuestos por Castro y otros (2019) los valores medios obtenidos para la FPR-MC indican un bajo riesgo.

Estudios adelantados en adultos y adultos mayores sugieren que la fuerza prensil relativa es una herramienta simple, económica y fácil de usar cuando se dirige a la salud cardiovascular a nivel de salud pública (Lee et al, 2016) (Lawman HG, Troiano RP, Perna FM, Wang CY, Fryar CD, 2016), dada su relación el riesgo cardiometabólico (Lee et al, 2016) (Lawman et al, 2016) (Li et al, 2018) (Churilla et al, 2020) (Yi et al, 2018) (Hao et al, 2020) (Jang et al, 2020),

disminución de los efectos negativos del exceso de adiposidad en la dependencia (Ramírez et al, 2020), el riesgo de obesidad abdominal en ambos sexos (Shen et al, 2020), la glucosa en ayunas (Pérez et al, 2020) y dislipidemia (Kim et al, 2020), por esta razón, ya se han desarrollado percentiles por género y etnia para FPR-MC de 6 a 80 años (McGrath et al, 2020).

En adultos de 18 a 30 años se ha observado diferencias significativas entre la FPR-MC al comparar por sexos y a su vez las medidas de fuerza se relacionaron con diferentes indicadores de adiposidad (Zaccagni et al, 2020), no obstante, Ho y otros sugieren que la fuerza prensil expresada en términos absolutos o relativos (talla, masa corporal, la masa libre de grasa, el IMC, el índice de masa libre de grasa y la masa libre de grasa) no diferían significativamente en la predicción de la mortalidad en adultos mayores (Ho et al, 2019), por lo que la aplicabilidad de la fuerza prensil relativa es aún un tema de debate en la práctica clínica.

La principal limitación de este trabajo corresponde a que no existen estudios que evaluaran la relación entre la FPR-MC y FPR-IMC en estas edades con los indicadores de adiposidad utilizados en este trabajo, sin embargo es fundamental considerar que esta medida del fitness muscular se recomienda como un predictor clínico de la salud metabólica (Kim et al, 2020), y teniendo en cuenta revisiones sistemáticas recientes han concluido que existe una relación negativa prospectiva entre la aptitud muscular en la infancia/adolescencia y la adiposidad y los parámetros cardiometabólicos en la vida posterior (Reisberg et al, 2020) (He et al, 2019), por este motivo, esta fuerza prensil relativa podría resultar en un nuevo biomarcador para evaluar el riesgo cardiometabólico en niños y jóvenes.

Por otra parte, diferentes estudios sugieren que los indicadores de adiposidad total y central se relacionan con los marcadores tempranos del riesgo cardiometabólico en niños y jóvenes (Friedemann et al, 2012; He et al, 2019; Lema et al, 2016; Ortiz et al, 2019; Reisberg et

al, 2020; Rosa Guillamón & García Cantó, 2017), y que las mediciones de la grasa central (perímetro de cintura, ICT e ICN) pudieron discriminar el exceso de grasa androide en niños brasileños de 4 a 9 años de edad (De Santis Filgueiras et al, 2019), otro estudio con niños de 3 a 7 años de edad concluyo que la circunferencia de cintura predecía mejor el porcentaje de grasa corporal con respecto al ICT (Sijtsma et al, 2014), igualmente es importante considerar que los estudios realizados en niños sobre el IPC son escasos, pero nos indican que este presenta una elevada correlación con el volumen del músculo esquelético en niños de 6 a 12 años (Ohta et al, 2017), por esta razón, es importante continuar analizando la relación entre estos indicadores de adiposidad total y central con respecto a la composición corporal en etapas tempranas.

Se sugiere para futuras investigaciones evaluar una muestra más grande, así como emplear instrumentos de evaluación antropométrica o bioimpedancia para obtener un valor más fiable del porcentaje graso y/o demás componentes de la composición corporal.

Conclusiones

En conclusión, con base en el objetivo principal propuesto, se logró analizar y evidenciar que la fuerza prensil relativa para la masa corporal, de acuerdo con la adiposidad total y central, se asoció negativamente en ambos géneros y solo en niños de género masculino con el índice cintura-talla. Además, la fuerza prensil relativa para el IMC se relacionó negativamente con el porcentaje de grasa corporal. Por lo tanto, se identifica una influencia de estos indicadores de adiposidad en el fitness muscular en niños de ambos géneros de Colombia entre 6 y 8 años de edad.

Dentro de las aplicaciones prácticas de este trabajo se evidencia que, dentro de los procesos de evaluación y diagnóstico del riesgo cardiovascular es mucho más favorable emplear la fuerza prensil de manera relativa con la masa corporal y/o índice de masa corporal en escolares colombianos de 6 a 8 años, dado a que se presenta una relación negativa con estos indicadores de adiposidad central y total empleados en este estudio lo cual resulta de ayuda para el personal clínico y epidemiológico.

Referencias bibliográficas

- Bauce, G., & Moya-Sifontes, M. Z. (2020). Índice Peso Circunferencia de Cintura como indicador complementario de sobrepeso y obesidad en diferentes grupos de sujetos. *Revista Digital de Postgrado*, 9(1). <https://doi.org/10.37910/rdp.2020.9.1.e195>
- Bustos-Viviescas, B. J. (2018). Influencia de los indicadores de riesgo cardiovascular en la coordinación motriz de niños de 5 a 8 años de edad del Instituto Técnico Guaimaral de la ciudad de Cúcuta, Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de Pamplona.
- Castro-Piñero, J., Perez-Bey, A., Cuenca-Garcia, M., Cabanas-Sanchez, V., Gómez-Martínez, S., Veiga, O. L., Marcos, A., Ruiz, J. R., Marcos, A., Gomez-Martinez, S., Nova, E., Diaz, L. E., Zapatera, B., Veses, A. M., Hernandez, A., Gheorghe, A., Mora-Vicente, J., Gonzalez Montesinos, J. L., Conde-Caveda, J., ... Gomez-Gallego, F. (2019). Muscle Fitness Cut Points for Early Assessment of Cardiovascular Risk in Children and Adolescents. *Journal of Pediatrics*, 206, 134-141.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.10.026>
- Choquette, S., Bouchard, D. R., Doyon, C. Y., Sénéchal, M., Brochu, M., & Dionne, I. J. (2010). Relative strength as a determinant of mobility in elders 67-84 years of age. A nuage study: Nutrition as a determinant of successful aging. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 14(3), 190–195. <https://doi.org/10.1007/s12603-010-0047-4>
- Churilla, J. R., Summerlin, M., Richardson, M. R., & Boltz, A. J. (2020). Mean Combined Relative Grip Strength and Metabolic Syndrome: 2011-2014 National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(4), 995–1000. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003515>

- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Bautmans, I., Baeyens, J. P., Cesari, M., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- De Santis Filgueiras, M., Vieira, S. A., Fonseca, P. C. D. A., Pereira, P. F., Ribeiro, A. Q., Priore, S. E., Franceschini, S. D. C. C., & Novaes, J. F. De. (2019). Waist circumference, waist-to-height ratio and conicity index to evaluate android fat excess in Brazilian children. *Public Health Nutrition*, 22(1), 140–146. <https://doi.org/10.1017/S1368980018002483>
- Duffine Gilman, A., & Volpe, S. L. (2018). Physical Activity in the Prevention of Childhood Obesity. *Pensar En Movimiento: Revista de Ciencias Del Ejercicio y La Salud*, 16(2), e30143. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v16i2.30143>
- Evaristo, S., Moreira, C., Lopes, L., Oliveira, A., Abreu, S., Agostinis-Sobrinho, C., Oliveira-Santos, J., Póvoas, S., Santos, R., & Mota, J. (2019). Muscular fitness and cardiorespiratory fitness are associated with health-related quality of life: Results from labmed physical activity study. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 17(2), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2019.01.002>
- Friedemann, C., Heneghan, C., Mahtani, K., Thompson, M., Perera, R., & Ward, A. M. (2012). Cardiovascular disease risk in healthy children and its association with body mass index: Systematic review and meta-analysis. *BMJ (Online)*, 345(7876), 1–16. <https://doi.org/10.1136/bmj.e4759>

- Garcia-Hermoso, A., Tordecilla-Sanders, A., Correa-Bautista, J. E., Peterson, M. D., Izquierdo, M., Prieto-Benavides, D., Sandoval-Cuellar, C., González-Ruíz, K., & Ramírez-Vélez, R. (2019). Handgrip strength attenuates the adverse effects of overweight on cardiometabolic risk factors among collegiate students but not in individuals with higher fat levels. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43471-5>
- Garcia-Hermoso, A., Tordecilla-Sanders, A., Correa-Bautista, J. E., Peterson, M. D., Izquierdo, M., Quino-Ávila, A. C., Sandoval-Cuellar, C., González-Ruíz, K., & Ramírez-Vélez, R. (2020). Muscle strength cut-offs for the detection of metabolic syndrome in a nonrepresentative sample of collegiate students from Colombia. *Journal of Sport and Health Science*, 9(3), 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.004>
- Hao, G., Chen, H., Ying, Y., Wu, M., Yang, G., & Jing, C. (2020). The Relative Handgrip Strength and Risk of Cardiometabolic Disorders: A Prospective Study. *Frontiers in Physiology*, 11(June), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00719>
- Harriss, D. J., Macsween, A., & Atkinson, G. (2017). Standards for Ethics in Sport and Exercise Science Research: 2018 Update. *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1126–1131. <https://doi.org/10.1055/s-0043-124001>
- He, H., Pan, L., Du, J., Liu, F., Jin, Y., Ma, J., Wang, L., Jia, P., Hu, Z., & Shan, G. (2019). Muscle fitness and its association with body mass index in children and adolescents aged 7-18 years in China: A cross-sectional study. *BMC Pediatrics*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1477-8>
- Ho, F. K. W., Celis-Morales, C. A., Petermann-Rocha, F., Sillars, A., Welsh, P., Welsh, C., Anderson, J., Lyall, D. M., Mackay, D. F., Sattar, N., Gill, J. M. R., Pell, J. P., & Gray, S.

- R. (2019). The association of grip strength with health outcomes does not differ if grip strength is used in absolute or relative terms: A prospective cohort study. *Age and Ageing*, 48(5), 683–691. <https://doi.org/10.1093/ageing/afz068>
- Jang, B. N., Nari, F., Kim, S., & Park, E. C. (2020). Association between relative handgrip strength and prediabetes among South Korean adults. *PLoS ONE*, 15(10 October), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240027>
- Kim, B. M., Yi, Y. H., Kim, Y. J., Lee, S. Y., Lee, J. G., Cho, Y. H., Tak, Y. J., Hwang, H. R., Lee, S. H., Park, E. J., & Lee, Y. (2020). Association between Relative Handgrip Strength and Dyslipidemia in Korean Adults: Findings of the 2014–2015 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Korean Journal of Family Medicine*, 4–11. <https://doi.org/10.4082/kjfm.19.0073>
- Lawman HG, Troiano RP, Perna FM, Wang CY, Fryar CD, O. C. (2016). Associations of Relative Handgrip Strength and Cardiovascular Disease Biomarkers in U.S. Adults, 2011–2012. *Am J Prev Med*, 50(6), 677–683. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2015.10.022.Associations>
- Lee, W. J., Peng, L. N., Chiou, S. T., & Chen, L. K. (2016). Relative handgrip strength is a simple indicator of cardiometabolic risk among middle-aged and older people: A nationwide population-based study in Taiwan. *PLoS ONE*, 11(8), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160876>
- Lema, L., Mantilla, S. C., & Arango, C. M. (2016). Associations between physical fitness and adiposity among school-age children from monteria, Colombia. *Revista Internacional de*

Medicina y Ciencias de La Actividad Física y Del Deporte, 16(62), 277–296.

<https://doi.org/10.15366/rimcafd2016.62.007>

Li, D., Guo, G., Xia, L., Yang, X., Zhang, B., Liu, F., Ma, J., Hu, Z., Li, Y., Li, W., Jiang, J.,

Gaisano, H., Shan, G., & He, Y. (2018). Relative handgrip strength is inversely associated with metabolic profile and metabolic disease in the general population in

China. *Frontiers in Physiology*, 9(FEB), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00059>

McGrath R, Hackney KJ, Ratamess NA, Vincent BM, Clark BC, K. W. (2020). Absolute and Body Mass Index Normalized Handgrip Strength Percentiles by Gender, Ethnicity, and Hand Dominance in Americans. *Adv Geriatr Med Res*, 2(1), e200005.

<https://doi.org/10.20900/agmr20200005.Absolute>

Relación Médica Mundial, A. (2013). Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.

<http://www.redsamid.net/archivos/201606/2013-declaracion-helsinki-brasil.pdf?1>

Ministerio de Salud de Colombia. (1993). RESOLUCION NUMERO 8430 DE 1993.

Moliner-Urdiales, D., Ruiz, J. R., Vicente-Rodriguez, G., Ortega, F. B., Rey-Lopez, J. P.,

España-Romero, V., Casajús, J. A., Molnar, D., Widhalm, K., Dallongeville, J.,

González-Gross, M., Castillo, M. J., Sjöström, M., & Moreno, L. A. (2011). Associations of muscular and cardiorespiratory fitness with total and central body fat in adolescents:

The HELENA study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(2), 101–108.

<https://doi.org/10.1136/bjism.2009.062430>

Ohta, M., Midorikawa, T., Hikiyama, Y., Sakamoto, S., Kawakami, Y., Fukunaga, T., &

Kanehisa, H. (2017). Body mass-to-waist ratio strongly correlates with skeletal muscle

volume in children. PLoS ONE, 12(5), 1–13.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177155>

Orsso, C. E., Tibaes, J. R. B., Oliveira, C. L. P., Rubin, D. A., Field, C. J., Heymsfield, S. B., Prado, C. M., & Haqq, A. M. (2019). Low muscle mass and strength in pediatrics patients: Why should we care? *Clinical Nutrition*, 38(5), 2002–2015.

<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.04.012>

Ortega, F. B., Artero, E. G., Ruiz, J. R., Vicente-Rodriguez, G., Bergman, P., Hagströmer, M., Ottevaere, C., Nagy, E., Konsta, O., Rey-López, J. P., Polito, A., Dietrich, S., Plada, M., Béghin, L., Manios, Y., Sjöström, M., & Castillo, M. J. (2008). Reliability of health-related physical fitness tests in European adolescents. The HELENA Study. *International Journal of Obesity*, 32, S49–S57. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.183>

Ortega, Francisco B, Ruiz, J. R., Castillo, M. J., Moreno, L. A., & González-, M. (2005). A RT Í C U L O S O R I G I N A L E S Bajo nivel de forma física en los adolescentes españoles . Importancia para la salud cardiovascular futura (Estudio AVENA). 58(8), 898–909.

Ortiz-Pinto, M. A., Ortiz-Marrón, H., Ferriz-Vidal, I., Martínez-Rubio, M. V., Esteban-Vasallo, M., Ordobás-Gavin, M., & Galán, I. (2019). Association between general and central adiposity and development of hypertension in early childhood. *European Journal of Preventive Cardiology*, 26(12), 1326–1334. <https://doi.org/10.1177/2047487319839264>

Palacio-Agüero, A., Díaz-Torrente, X., & Dourado, D. Q. S. (2020). Relative handgrip strength, nutritional status and abdominal obesity in Chilean adolescents. PLoS ONE, 15(6), 1–13.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234316>

- Pérez-Bey, A., Segura-Jiménez, V., Fernández-Santos, J. del R., Esteban-Cornejo, I., Gómez-Martínez, S., Veiga, O. L., Marcos, A., & Castro-Piñero, J. (2018). The Role of Adiposity in the Association between Muscular Fitness and Cardiovascular Disease. *Journal of Pediatrics*, 199, 178-185.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.03.071>
- Pérez-Sousa, M. Á., del Pozo-Cruz, J., Cano-Gutiérrez, C. A., Ferrebuz, A. J., Sandoval-Cuellar, C., Izquierdo, M., Hernández-Quíñonez, P. A., & Ramírez-Vélez, R. (2020). Glucose Levels as a Mediator of the Detrimental Effect of Abdominal Obesity on Relative Handgrip Strength in Older Adults. *Journal of Clinical Medicine*, 9(8), 2323. <https://doi.org/10.3390/jcm9082323>
- Ramírez-Vélez, R., Peña-Ibagon, J. C., Martínez-Torres, J., Tordecilla-Sanders, A., Correa-Bautista, J. E., Lobelo, F., & García-Hermoso, A. (2017). Handgrip strength cutoff for cardiometabolic risk index among Colombian children and adolescents: The FUPRECOL Study. *Scientific Reports*, 7(February), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep42622>
- Ramírez-Vélez, R., Pérez-Sousa, M. Á., García-Hermoso, A., Zambom-Ferraresi, F., Martínez-Velilla, N., Sáez de Asteasu, M. L., Cano-Gutiérrez, C. A., Rincón-Pabón, D., & Izquierdo, M. (2020). Relative Handgrip Strength Diminishes the Negative Effects of Excess Adiposity on Dependence in Older Adults: A Moderation Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 1152. <https://doi.org/10.3390/jcm9041152>
- Ramírez-Vélez, R., Rodrigues-Bezerra, D., Correa-Bautista, J. E., Izquierdo, M., & Lobelo, F. (2015). Reliability of health-related physical fitness tests among Colombian children and adolescents: The Fuprecol study. *PLoS ONE*, 10(10), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140875>

- Ramírez-Vélez, R., Tordecilla-Sanders, A., Correa-Bautista, J. E., Peterson, M. D., & Garcia-Hermoso, A. (2016). Handgrip Strength and Ideal Cardiovascular Health among Colombian Children and Adolescents. *Journal of Pediatrics*, 179, 82-89.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.08.099>
- Reisberg, K., Riso, E. M., & Jürimäe, J. (2020). Associations between physical activity, body composition, and physical fitness in the transition from preschool to school. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(11), 2251–2263. <https://doi.org/10.1111/sms.13784>
- Rosa Guillamón, A., & García Cantó, E. (2017). Relación entre estatus de peso y fuerza muscular en escolares de primaria. *E-Balonmano.Com. Revista de Ciencias Del Deporte*, 13(3), 251–262
- Ruiz, J. R., Castro-Piñero, J., España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Cuenca, M. A. M., Enez-Pavón, D. J., Chillón, P., Girela-Rejón, M. J., Mora, J., Gutiérrez, Á., Suni, J., Sjöström, M., & Castillo, M. J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: The ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45(6), 518–524. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.075341>
- Shen, C., Lu, J., Xu, Z., Xu, Y., & Yang, Y. (2020). Association between handgrip strength and the risk of new-onset metabolic syndrome: a population-based cohort study. *BMJ Open*, 10(10), e041384. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-041384>
- Sijtsma, A., Bocca, G., L'Abée, C., Liem, E. T., Sauer, P. J. J., & Corpeleijn, E. (2014). Waist-to-height ratio, waist circumference and BMI as indicators of percentage fat mass and

- cardiometabolic risk factors in children aged 3-7 years. *Clinical Nutrition*, 33(2), 311–315. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.05.010>
- Steffl M, Chrudimsky J, T. J. (2017). Using relative handgrip strength to identify children at risk of sarcopenic obesity. *PLoS One*, 12(5), e0177006. <https://doi.org/10.20960/nh.02977>
- Trajković, N., Radanović, D., Madić, D., Andrašić, S., Cadenas-Sanchez, C., Mačak, D., & Popović, B. (2020). Normative data for handgrip strength in Serbian children measured with a bulb dynamometer. *Journal of Hand Therapy*.
<https://doi.org/10.1016/j.jht.2020.03.001>
- TT, H., MP, W., & MI, G. (2003). Predicting total body fat from anthropometry in Latino children. *Obesity Research*, 11(10), 1192–1199.
- Valdez R, Seidell JC, Ahn YI, W. K. (1993). A new index of abdominal adiposity as an indicator of risk for cardiovascular disease. A cross-population study. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 17(2), 77–82.
- Vasques, A. C. J., Rosado, L., Rosado, G., Ribeiro, R. D. C., Franceschini, S., & Geloneze, B. (2010). Anthropometric indicators of insulin resistance. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 95(1), e14–e23. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2010000700025>
- World Health Organization. (2016). Informe de la comisión para acabar con la obesidad infantil 2016. 69a Asamblea Mundial de La Salud, 1–42. <https://doi.org/ISBN 978 92 4 3510064>.
- Yi, D., Khang, A. R., Lee, H. W., Son, S. M., & Kang, Y. H. (2018). Relative handgrip strength as a marker of metabolic syndrome: The Korea National Health and Nutrition

Examination Survey (KNHANES) VI (2014–2015). Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy, 11, 227–240. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S166875>

Zaccagni, L., Toselli, S., Bramanti, B., Gualdi-Russo, E., Mongillo, J., & Rinaldo, N. (2020). Handgrip strength in young adults: Association with anthropometric variables and laterality. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(12), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124273>



CAPÍTULO #8

Evaluación de la estabilidad de compuestos bioactivos de cáscara de tomate de árbol (*Solanum betaceu*) extraídos por solventes supramoleculares

Evaluation of the Stability of Bioactive Compounds from Tamarillo Peel (*Solanum betaceum*) Extracted by Supramolecular Solvents

Ana María Rodríguez Mazuera²⁷

Laura Valentina Rodríguez Cabrera²⁸

Laura Sofía Torres Valenzuela²⁹

Alfredo Adolfo Ayala Aponte³⁰

²⁷ Ingeniera de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0008-4696-1495>. ana.mazuera@correounivalle.edu.co.

²⁸ Ingeniera de alimentos. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0009-0003-1690-2658>. laura.cabrera@correounivalle.edu.co.

²⁹ Doctora en Química Fina. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-8032-1901>. laura.torres@correounivalle.edu.co.

³⁰ Doctor. Universidad del Valle. Cali, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0310-3577>. alfredo.ayala@correounivalle.edu.co.

Resumen

El tomate de árbol (TA) es una fruta valorada por su sabor único y su contenido en nutrientes y compuestos bioactivos (CB). Durante su procesamiento, se generan residuos como la cáscara y las semillas, que contienen variedad de CB, como los fenólicos, que han demostrado tener propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Una alternativa para aprovechar estos residuos es la extracción de CB con solventes verdes, como los supramoleculares (SUPRAS). Estos representan una alternativa a los solventes convencionales, ya que no son tóxicos y tienen menor impacto ambiental.

En este estudio, se evaluó la estabilidad de CB y su capacidad antioxidante en la cáscara de tomate de árbol (CTA) que fueron extraídos con un solvente estándar de metanol y dos SUPRAS (sintetizados a partir de suspensiones de ácido decanóico (AD) y ácido octanóico (AO)) durante el almacenamiento. Las muestras extraídas con los SUPRAS y en la estándar se almacenaron a 25 °C. Durante 14 días, se tomaron muestras de estas fases cada 2 días y se midieron el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y la capacidad antioxidante por DPPH y ABTS. Los resultados mostraron que los CFT y la capacidad antioxidante de las muestras extraídas con los tres solventes no variaron significativamente ($p < 0.05$) durante el almacenamiento. Los SUPRAS sintetizados con el ácido decanóico y octanóico presentaron la mayor extracción de CFT. Estos hallazgos indican que los SUPRAS son altamente potenciales para la extracción y conservación de CB.

Palabras clave: Solventes supramoleculares (SUPRAS), compuestos fenólicos totales (CFT), capacidad antioxidante

Abstract

Tamarillo is a fruit valued for its unique flavor and its rich content of nutrients and bioactive compounds. During its processing, waste materials such as the peel and seeds are generated, which contain a variety of bioactive compounds, such as phenolics, known for their antioxidant and anti-inflammatory properties. An alternative to harness these waste materials is the extraction of bioactive compounds using green solvents, such as supramolecular solvents. These solvents represent an alternative to conventional solvents due to their lower toxicity and reduced environmental impact.

In this study, the stability of bioactive compounds and their antioxidant capacity in tamarillo peel was evaluated during storage. These compounds were extracted using a standard methanol solvent and two supramolecular solvents synthesized from suspensions of decanoic acid and octanoic acid. The extracted samples from both the supramolecular and standard phases were stored at 25 °C. Over 14 days, samples were taken every 2 days, and the total phenolic compound content and antioxidant capacity were measured using the DPPH and ABTS methods. The results showed that the total phenolic compounds and antioxidant capacity of the samples extracted with all three solvents did not significantly change ($p < 0.05$) during storage. Supramolecular solvents synthesized with decanoic and octanoic acid demonstrated the highest extraction of phenolic compounds. These findings indicate that supramolecular solvents hold great potential for the extraction and preservation of bioactive compounds.

Keywords: Supramolecular solvents, phenolic compounds, antioxidant capacity

Introducción

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es una fruta nativa de América del Sur (Orqueda *et al.*, 2022; Garcia, 2008; Castro-Vargas *et al.*, 2013) considerada en Colombia como uno de los frutos más importantes de la región Andina, se produce generalmente en climas fríos moderados (aproximadamente 18°C) y zonas de baja luminosidad (Melgarejo *et al.*, 2019). Además del consumo nacional, gracias a sus características organolépticas (sabor, color) y sus propiedades nutritivas (ya que es fuente de compuestos bioactivos (antocianinas, flavonoides y carotenoides), antioxidantes (Vitamina B6, C y E) compuestos fenólicos (ácidos hidroxicinámicos y rosmaníricos), ácidos orgánicos, fibra, vitaminas y minerales (Cardona *et al.*, 2020; Contreras *et al.*, 2016)) que pueden resultar benéficas para la salud de los consumidores (Carrera O. & Novillo, L. 2022) este fruto posee una alta aceptabilidad a nivel internacional, por lo que se encuentra entre las 10 frutas exóticas que son exportadas a destinos como Europa (Romainville, 2020).

Por otra parte, los compuestos bioactivos (CB) son metabolitos secundarios con potencial funcional que poseen pueden neutralizar radicales libres, disminuir el daño oxidativo y reducir el riesgo de padecer ciertas enfermedades (Banwo *et al.*, 2021; Bortolomedi *et al.*, 2022). Dentro de estos se encuentran los compuestos fenólicos (CF), antioxidantes y carotenoides que se encuentran presentes en las fracciones comestibles (pulpa) e incluso en cantidades mayores en las no comestibles (que se consideran residuos como cáscaras, semillas y otras partes vegetales) de frutos como el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) (Cardona *et al.*, 2020; Carrera y Novillo, 2022; Contreras *et al.*, 2016; Castro-Vargas *et al.*, 2013; Orqueda *et al.*, 2022; Orqueda *et al.*, 2017; García *et al.*, 2016; Orqueda *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2018). Sin embargo, aún son considerados un residuo sin alternativas promisorias de aprovechamiento.

Teniendo en cuenta la composición química de dichos “residuos” resultan susceptibles a valorización y aprovechamiento de sus CB en la industria alimentaria. Por ello, resulta de gran importancia encontrar metodologías que promuevan la conservación de dichos compuestos a través del tiempo, brindando protección contra oxidación y reacciones indeseables que impacten directamente sobre la calidad del producto y con ello una disminución de la vida útil (Martínez, 2015).

Dentro de las técnicas convencionales para extraerlos se encuentran: Soxhlet, maceración, lixiviación (Moran *et al.*, 2021; Srivastava *et al.*, 2021) sin embargo, estas requieren gran cantidad de solventes orgánicos (SO) que tienen efectos perjudiciales en la salud y el medio ambiente, así como elevados costos (Pino *et al.*, 2022; Selvamuthukumaran & Shi, 2017). Por otra parte, existen técnicas de extracción que son consideradas verdes como extracción con fluidos supercríticos, líquidos presurizados, asistida por ultrasonido, entre otras. A pesar de que estas presentan mayor selectividad y pueden reducir el tiempo de procesamiento, representan elevados costos que las hacen poco atractivas para su empleabilidad en la industria de alimentos (Lefebvre *et al.*, 2021; Pino *et al.*, 2022).

Como alternativa a estas desventajas, aparecen los solventes verdes, entre los que se encuentran los solventes supramoleculares (SUPRAS) (Dalmaz y Sivrikaya Özak, 2023), que son líquidos nanoestructurados producidos a partir de suspensiones coloidales en dos etapas espontáneas: auto-ensamblaje y coacervación. Se caracterizan por ser eficientes, selectivos, económicos, respetuosos con el ambiente, no volátiles, no tóxicos y tener Requerimientos energéticos mínimos para su procesamiento. (Torres-Valenzuela, 2020).

Estos solventes se han empleado en diversos estudios de extracción y alimentos (Caballero-Casero *et al.*, 2015; Caballo *et al.*, 2014; López-Guzmán, 2023). Sin embargo, su uso en aplicaciones alimentarias es incipiente y no se ha reportado en la literatura información sobre la extracción de compuestos bioactivos del TA.

Por otro lado, diversos factores como la luz, temperatura y el oxígeno pueden afectar negativamente la vida útil de los CB extraídos, provocando degradación, oxidación y pérdida de actividad de los CB, limitando su potencial uso en aplicaciones agroalimentarias. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue evaluar la estabilidad de CB extraídos de la CTA durante el almacenamiento mediante dos SUPRAS sintetizados a partir de suspensiones de ácido decanoico (AD) y ácido octanoico (AO), y un solvente estándar de metanol.

Metodología

Se emplearon frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum*), los cuáles se lavaron con agua potable y secados con papel absorbente. El epicarpio se obtuvo manualmente con cuchillos de acero inoxidable, se secó durante 3 h a 55 °C utilizando la técnica ventana de refractancia para evitar la degradación de los CB. Las muestras secas se molieron en un molino de cuchillas (Hamilton Beach Brands, USA), posteriormente, se tamizaron en un Ro-Tap con Tamiz Tyler malla No. 25 hasta que se obtuvo un polvo fino. Este polvo fino constituyó la unidad experimental de este trabajo.

La extracción de CB se realizó añadiendo 0,08g de muestra y solución para la síntesis de los SUPRAS a microtubos de centrífuga de polipropileno de 2 mL. La solución de síntesis consistió en un anfifilo (ácido decanoico (AD) u octanoico (AO)), etanol y agua destilada

(agente conservante). Las proporciones de los componentes para la síntesis de SUPRAS se optimizaron en ensayos preliminares (datos no presentados). Para SUPRAS producidos con AD las proporciones fueron 0.07 g de anfifilo, 514 μL de Etanol y 1045 μL de agua; en el caso de SUPRAS producidos con AO las proporciones fueron 150 μL de anfifilo, 483 μL de Etanol y 1067 μL de agua. Las mezclas se agitaron en vortex (Vortexer de Heathrow, USA) durante 1 min a 3000 rpm, luego se centrifugaron en una centrifuga PowerSpin™ BX (Unico, USA) durante 15 min a 10000 rpm para separar las fases de SUPRAS de la fase de equilibrio (en el medio) y los precipitados (en la parte inferior). Se realizó una extracción adicional utilizando metanol como solvente, repitiendo las mismas condiciones descritas anteriormente.

Las tres fases obtenidas de la extracción se llevaron a una cámara ambiental (Binder, USA) a 25°C y una humedad relativa de 68% por 14 días, utilizando el método reverso cuya extracción se realizó cada dos días en cámara ambiental. Posteriormente, se realizó una dilución con 100 μL del SUPRAS o extracto de metanol en 400 μL de metanol acuoso (50:50). Los CFT se midieron siguiendo el método de Folin-Ciocalteu.

Para la preparación de la muestra se agregaron 20 μL de muestra (La dilución de SUPRAS o de Metanol), 75 μL de carbonato de sodio al 20% (Na_2CO_3) y 100 μL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido en agua (1:9 v/v). La mezcla se dejó reaccionar en oscuridad durante 2h y luego se midió la absorbancia a 630 nm en un lector de placas (Biotek, USA). El cálculo se realizó según la curva de calibración con ácido gálico. Los resultados se expresan en mg GAE/g (m.s).

Para la medición de antioxidantes se emplearon los métodos: reactivo ABTS y DPPH. El radical ABTS⁺ se preparó mediante una reacción con persulfato de potasio y la solución fue convenientemente diluida en Metanol. La solución DPPH fue obtenida por dilución directa del reactivo en Metanol. Los ensayos por el método ABTS se realizaron con 46 µL de muestra (previamente diluida 1:4 con metanol al 50% en agua) y 145 µL de la solución ABTS^{•+}. Las muestras se agitaron levemente y se pusieron en oscuridad durante 30 min, posteriormente se midió la absorbancia a 630 nm.

El ensayo DPPH se realizó mezclando 32 µL de muestra (diluida como se reportó en el método ABTS) con 160 µL de la solución DPPH. Las muestras se agitaron levemente y se pusieron en oscuridad durante 30 min, después de lo cual, se midió la absorbancia a 490 nm. El cálculo del % de inhibición se realizó empleando la **Ec. 1**.

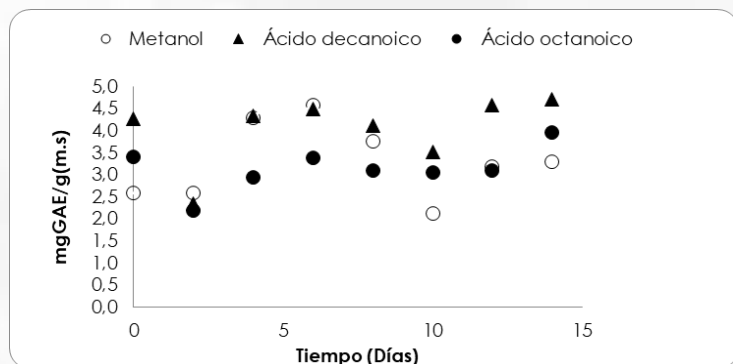
$$\% \text{inhibición} = \frac{\text{Abs reactivo} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs reactivo}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Resultados

Inicialmente, en la **Figura 1** se muestra los cambios en los compuestos fenólicos totales (CFT) durante el almacenamiento en extractos empleando SUPRAS y un solvente estándar (metanol).

Figura 1

Evolución de compuestos fenólicos en extractos de cáscara de tomate de árbol durante el almacenamiento.



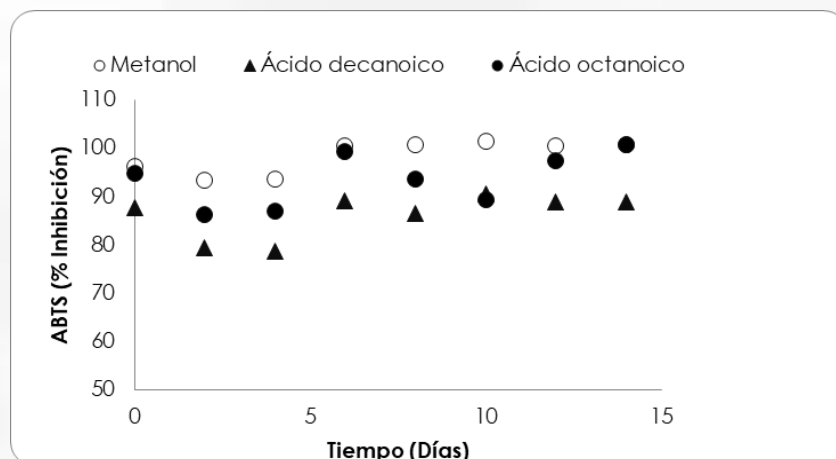
Fuente. Elaboración propia (2024)

En la **Figura 1**, el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el tipo de solvente de extracción sobre la concentración de CFT en el extracto de CTA, indicando que los SUPRAS contenían concentraciones más altas de compuestos en comparación con el metanol, de acuerdo a que el SUPRAS sintetizado con AD presentó una mayor concentración de CFT con un valor de 4.28 mg GAE/g (m.s), seguido del SUPRAS sintetizado con AO con un 3.41 mg GAE/g(m.s) y el metanol presentó una menor concentración de CFT obteniendo un 2.6 mg GAE/g(m.s). En cuanto a la estabilidad de los CFT del extracto en función del almacenamiento, se encontró que los tres tratamientos no difirieron significativamente ($p < 0.05$).

Por otra parte, en la **Figura 2** y **3** se muestra la evolución de la capacidad antioxidante de los extractos de CTA a partir de los SUPRAS y metanol utilizando los métodos ABTS y DPPH respectivamente.

Figura 2

Evolución de la capacidad antioxidante por el método ABTS en extractos de cáscara de tomate de árbol durante el almacenamiento.

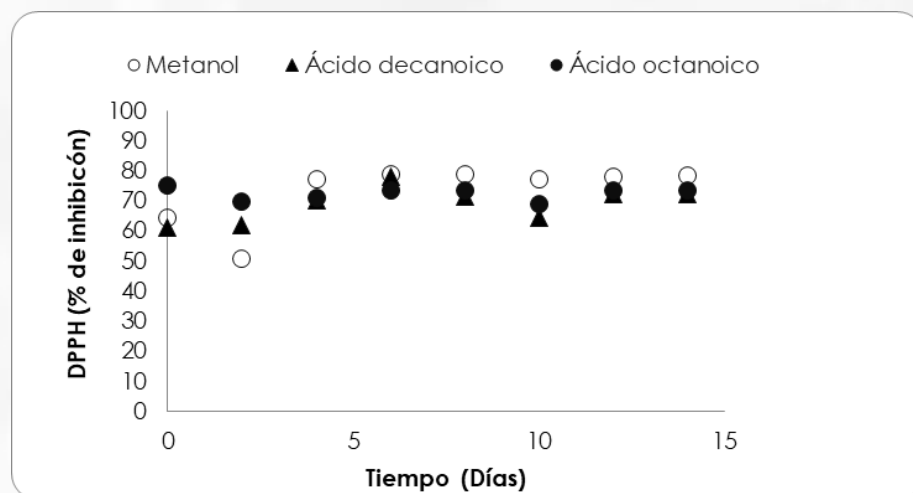


Fuente. Elaboración propia (2024)

En la **Figura 2** se muestra que la capacidad antioxidante del extracto de CTA por el método ABTS varió significativamente ($p < 0.05$) entre los tratamientos. Se evidencia que el tratamiento con metanol presentó los mayores valores, seguido por los SUPRAS (AO y AD respectivamente). Sin embargo, el efecto del tiempo de almacenamiento no varió significativamente ($p > 0.05$).

Figura 3

Evolución de la capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos de cáscara de tomate de árbol durante el almacenamiento.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Respecto al método por DPPH (*Figura 3*), se observó un comportamiento similar entre los solventes empleados para realizar las extracciones por lo que según el ANOVA se determinó que el tipo de solvente de extracción y el tiempo de almacenamiento no influyeron significativamente sobre la capacidad antioxidante ($p > 0.05$).

Discusión

La comparación entre la extracción de los CFT obtenidos de la CTA utilizando los SUPRAS y el metanol (*Figura 1*) mostro que la mayor cantidad de CFT fue extraída por los SUPRAS sintetizado con AD, seguida por el metanol. Lo anterior, se puede relacionar con que los SUPRAS tienen la propiedad de ser selectivos con los CF, indicando una mayor afinidad en comparación con otros componentes de la matriz de extracción debido a que la fase acuosa en la conformación de los SUPRAS favorece la solubilidad de los CF incrementando su polaridad (Torres-Valenzuela *et al.*, 2019; Rojas *et al.*, 2019) por consiguiente, la extracción de estos compuestos es mayor. Además, presentan alta capacidad de solubilización simultánea de compuestos polares, apolares y anfifílicos (Caballo *et al.*, 2017) por su elevada concentración de tensioactivo (~0.1-1 µg/mL) que le permiten extraer mayor cantidad de CFT respecto al metanol. Es importante destacar que autores como Huaman-Castilla *et al.*, (2019) y Mariotti-Celis *et al.*, (2018) han planteado que el uso de mezclas que contienen etanol y agua pueden disminuir la formación de compuestos no deseados y mejorar el rendimiento en la extracción de CFT.

Por otro lado, los resultados obtenidos al realizar la extracción de compuestos antioxidantes de la CTA utilizando SUPRAS y metanol (*Figura 2 y 3*) por los métodos de ABTS y DPPH muestran una similitud entre el comportamiento del metanol y el SUPRAS con AO al utilizar método ABTS (*Figura 2*), siendo levemente más bajo en algunos de los tiempos los porcentajes de inhibición obtenidos con el SUPRAS. En contraste, cuando se utilizó el método DPPH, el SUPRAS con AO fue superior en el tiempo 0 y 2, pero en tiempos posteriores hasta el 14 los resultados de los 3 solventes empleados fueron muy similares, siendo levemente superior el metanol (en algunos de los casos).

Cabe resaltar que el SUPRAS con AO tuvo un mejor desempeño en la extracción de compuestos antioxidantes de la CTA, Lo que puede estar relacionado con la cantidad de compuestos con alta capacidad antioxidante, como la luteína presente en la matriz alimentaria (Córdova & Roque, 2014), que posee una cadena de hidrocarburos similar a la encontrada en AO, además, se presentan interacciones entre ellos debido a los grupos hidroxilos ubicados en los extremos de la molécula de luteína y grupos carboxílicos del AO (Lovio, 2015). De igual forma, se resalta que el porcentaje de etanol empleado en la síntesis con SUPRAS puede favorecer la extracción, debido a que se genera un ambiente propicio para la solubilización de los compuestos polares contenidos en compuestos antioxidantes como la luteína (Heredia *et al.*, 2019).

También, se evidencio que tanto la cantidad de CFT como de compuestos antioxidantes tuvo un comportamiento relativamente constante durante el almacenamiento, lo que significa que no hubo degradación de antioxidantes, reacciones de oxidación, pérdida de CB y posibles interacciones con otros componentes presentes en el extracto, lo que puede estar relacionado con la encapsulación por coacervación (fenómeno donde dos líquidos inmiscibles se separan en fases líquidas distintas, una de las cuales forma una especie de gel o agregado llamado coacervado (Ballesteros-Gómez y Rubio, 2023)) en los CB durante la extracción (Torres-Valenzuela *et al.*, 2020)). Para el caso de los tratamientos con SUPRAS, estos solventes proporcionan una capa adicional de protección al extracto, ya que el coacervado se forma después de la exposición a agentes oxidantes como la luz, el oxígeno y el calor durante la extracción (Torres-Valenzuela *et al.*, 2020).

Finalmente, dado a que esta técnica de extracción de CB ha sido estudiada recientemente, no se dispone de información en la literatura científica sobre la aplicación de SUPRAS en matrices alimentarias similares a la CTA. A pesar de esta limitación, los resultados de este trabajo demuestran que la optimización realizada permitió reducir la cantidad requerida de SO y reemplazarla por aproximadamente un 20-30% de etanol, que es un solvente tipo GRAS para la extracción de CF y antioxidantes, para obtener resultados similares y mejores que los obtenidos con SO estándar como el metanol.

Conclusiones

- Los CB de la CTA se pueden extraer tanto con SO (metanol) como con SUPRAS obteniendo resultados similares e incluso mejores tanto en la cantidad de compuestos extraídos como en la etapa de almacenamiento. Estos pueden ser de interés en el desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos debido a su alto contenido en CFT y capacidad antioxidante.
- Los SUPRAS son una alternativa de solvente verde con gran potencial para la extracción, que proporcionan alta estabilidad a los CB de la matriz extraída durante el almacenamiento gracias a su efecto de encapsulación por coacervación durante la extracción creando una barrera que protege a el extracto de factores oxidantes como la luz, el oxígeno y el calor.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Valle mediante la convocatoria interna de investigación 132-2021 con la financiación del proyecto “Valorización de subproductos del tomate de árbol mediante la extracción de compuestos bioactivos con solventes supramoleculares”.

Referencias bibliográficas

- Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2023). Supramolecular solvents for multi-target and matrix-independent sample preparation. *Advances in Sample Preparation*, 7, 100085.
<https://doi.org/10.1016/j.sampre.2023.100085>
- Banwo, K., Olojede, A. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., Singh, S., Patel, A. R., Gupta, A. K., Aguilar, C. N., & Utama, G. L. (2021). Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. *Food Bioscience*, 43, 101320. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101320>
- Bortolamedi, B. M., Paglarini, C. S., & Brod, F. C. A. (2022). Bioactive compounds in kombucha: A review of substrate effect and fermentation conditions. *Food Chemistry*, 385, 132719. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.132719>
- Caballero-Casero, N., Çabuk, H., Martínez-Sagarra, G., Devesa, J. A., & Rubio, S. (2015). Nanostructured alkyl carboxylic acid-based restricted access solvents: Application to the combined microextraction and cleanup of polycyclic aromatic hydrocarbons in mosses. *Analytica Chimica Acta*, 890, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.06.060>
- Caballo, C., Sicilia, M. D., & Rubio, S. (2014). Fast, simple and efficient supramolecular solvent-based microextraction of mecoprop and dichlorprop in soils prior to their enantioselective determination by liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Talanta*, 119, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.10.043>
- Cardona, C., Esteban, J., Díez, S., & Paulina, M. (2020). Evaluación de la estabilidad de probióticos LactoSpore® en pulpa de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) variedad

- amarillo común, deshidratada por ventana refractiva. @limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 18(1), 34–42. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2020.4149>
- Carrera, P. D., & Novillo, F. A. (2022). Efecto de la cocción sobre la capacidad antioxidante del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Green World Journal*, 5(1), 016. <https://doi.org/10.53313/gwj51016>
- Contreras, K., Figueroa, J., & Márquez, C. (2016). Caracterización de mermeladas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) elaboradas con edulcorantes no calóricos. *Agronomía Colombiana*, 1(34), 990–993. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58206>
- Córdova, J. S., & Roque, B. L. (2014). Extracción por acción biocatalítica y cuantificación de luteína de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) Extraction by biocatalytic action and quantification of lutein from tomato of tree (*Cyphomandra betacea*). In *Ciencia e Investigación* (Vol. 17, Issue 1).
- Dalmaz, A., & Sivrikaya Özak, S. (2023). Environmentally-friendly supramolecular solvent microextraction method for rapid identification of Sudan I–IV from food and beverages. *Food Chemistry*, 414, 135713. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135713>
- Heredia, S., Azucena, M., Augusto, J., Reinoso, M., Mateo, Y., Morales, H., Johana, G., Espinoza, I., Agustín Martha Azucena Suárez Heredia, M., Augusto Rosero, J., Central del Ecuador Quito, U., Yery Mateo Morillo Reinoso, E., Quito, I., Gabriela Johana Haro Morales, E., Agustín Ichau Espinoza, M., Central del Ecuador, U., & citar, C. (2019). Encapsulation efficiency of carthenoid extracted from capsicum annum in zein nanoparticles FIGEMPA: Investigación y Desarrollo Esta obra está bajo una Licencia

Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. *Periodicidad: Semestral*, 7(1).

<https://doi.org/10.29166/revfigurav1i1.1017>

Huaman-Castilla, N. L., Martínez-Cifuentes, M., Camilo, C., Pedreschi, F., Mariotti-Celis, M., & Pérez-Correa, J. R. (2019). The Impact of Temperature and Ethanol Concentration on the Global Recovery of Specific Polyphenols in an Integrated HPLC/RP Process on Carménère Pomace Extracts. *Molecules*, 24(17), 3145.

<https://doi.org/10.3390/molecules24173145>

Lefebvre, T., Destandau, E., & Lesellier, E. (2021). Selective extraction of bioactive compounds from plants using recent extraction techniques: A review. *Journal of Chromatography A*, 1635, 461770. <https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2020.461770>

López-Guzmán, J. A. (2023). Quien controla las semillas, controla la vida: una aproximación a los transgénicos en Colombia. *Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 4(11), e230169. <https://doi.org/10.46652/pacha.v4i11.169>

Lovio, J. (2015). *Estudio fitoquímico y molecular de la semilla de jatropha cinerea: Biosíntesis de los ácidos grasos oleico y linoleico* [Tesis de maestría]. Universidad de Sonora.

Mariotti-Celis, M. S., Martínez-Cifuentes, M., Huamán-Castilla, N., Pedreschi, F., Iglesias-Rebolledo, N., & Pérez-Correa, J. R. (2018). Impact of an integrated process of hot pressurised liquid extraction–macroporous resin purification over the polyphenols, hydroxymethylfurfural and reducing sugars content of *Vitis vinifera* ‘Carménère’ pomace extracts. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(4), 1072–1078.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.13684>

- Martínez, O. LA. (2015). Microencapsulación mediante secado... Esquivel-González B
Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. In *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* (Vol. 16, Issue 2).
- Moran, L. C., Cruz, J. P., Gracia, V., & Eunice, J. (2021). Valoración de la extracción de compuestos bioactivos de alto valor agregado en el Salvador. In U. Internacional de ciencia y tecnología (Ed.), *Actas del VI Congreso en Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología - IDI-UNICYT 2021* (pp. 1050–1065). <https://doi.org/https://doi.org/10.47300/978-9962-738-04-6>
- Pino, M. T., Vergara, C., Rossier, F., Zamora, O., Sandoval, A., Almajano, M., Garcia, D., Astudillo, C., Quintanilla, M., Dutra, I., Kerh, E., Inostroza, L., Kalazich, J., Uribe, M., Muñoz, M., Alvarez, F., Greve, M., McLeod, C., Dominguez, E., ... Pérez, R. (2022). Técnicas de extracción y estabilización de ingredientes. In M. T. Pino & C. Vergara (Eds.), *Colorantes y Antioxidantes Naturales en la Industria de Alimentos: Tecnologías de Extracción y Materias Primas Dedicadas. Boletín INIA N° 455*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Selvamuthukumar, M., & Shi, J. (2017). Recent advances in extraction of antioxidants from plant by-products processing industries. *Food Quality and Safety*, 1(1), 61–81. <https://doi.org/10.1093/fqs/fyx004>
- Srivastava, N., Singh, A., Kumari, P., Nishad, J. H., Gautam, V. S., Yadav, M., Bharti, R., Kumar, D., & Kharwar, R. N. (2021). Advances in extraction technologies: isolation and purification of bioactive compounds from biological materials. *Natural Bioactive Compounds*, 409–433. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820655-3.00021-5>

Torres-Valenzuela, L. S. (2020). *Obtención de componentes bioactivos de residuos de la industria cafetera mediante disolventes supramoleculares*. [Universidad de Cordoba].

<http://hdl.handle.net/10396/19733>

Torres-Valenzuela, L. S., Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2020). Green Solvents for the Extraction of High Added-Value Compounds from Agri-food Waste. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 83–100. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09206-y>

Torres-Valenzuela, L. S., Ballesteros-Gómez, A., Sanin, A., & Rubio, S. (2019). Valorization of spent coffee grounds by supramolecular solvent extraction. *Separation and Purification Technology*, 228, 115759. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.1>



CAPÍTULO #9

Expresión génica de las proteínas de choque térmico (hsps) 70 y 90 en plántulas de arroz irradiadas con cobalto 60.

Gene Expression of Heat Shock Proteins (HSPs) 70 and 90 in Rice Seedlings Irradiated with Cobalt-60

Rodolfo Elías Arce Lozano ³¹

Cindy Johanna Martínez Saavedra ³²

Luis Francisco Becerra Galindo ³³

Damian Armando Cuervo Ballesteros ³⁴

Luis Fernando Soler-Umbarila ³⁵

Luis Armando Quevedo Cárdenas ³⁶

³¹ Mg. en manejo, uso y conservación de bosques. Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2441-5000>. rodolfoarcelozano@gmail.com.

³² Mg. en educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2453-3111>. cindymartinezs474@gmail.com.

³³ Doctor en bioquímica y bioinformática. Universidad Incca de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-9093-7213>. lfbecerra@udistrital.edu.co.

³⁴ Licenciado en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0009-0004-4826-2234>. dacuervob@uincca.edu.co.

³⁵ Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-5925-4502>. lfsoleru@gmail.com.

³⁶ Mg. en ciencias agrarias con énfasis en fitomejoramiento. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2714-4947>. laquevedo@udistrital.edu.co.

Resumen

Las proteínas de choque térmico (HSPs), también conocidas como chaperonas moleculares, presentan gran importancia en los mecanismos de control de calidad de las proteínas celulares, debido a que actúan como eje central frente a múltiples aspectos de señalización y desarrollo en diversos organismos. Las perturbaciones ambientales y genéticas afectan directamente estas chaperonas, lo que conlleva alteraciones de las redes moleculares que determinan los fenotipos y genotipos de las plantas; lo que constituye una amplia plasticidad fenotípica. Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue identificar la aptitud de tres genotipos de arroz, frente a altas temperaturas, a partir de la evaluación de los genes que codifican a las proteínas de choque térmico de 70 y 90 kDa en plántulas de arroz (*Oryza sativa* L. var. *indica*) de los genotipos Fedearroz 473, Fedearroz Mocarí y Línea avanzada Lv1645, irradiadas con cobalto 60 (^{60}Co). Esta evaluación se llevó a cabo en condiciones controladas, haciendo uso de cultivos in vitro, la técnica qRT-PCR y sometiendo a las plántulas a tres tratamientos térmicos: control a 28 °C, moderado a 35 °C y alto a 42 °C, con tres extracciones de ARN en intervalos de 2 horas. Los resultados obtenidos revelan cambios significativos en la expresión de los dos genes como mecanismos de protección al aumento de temperatura, pero esta disminuye al exponer a las plántulas a 42 °C. El comportamiento de los genes Hsp70 y 90 evidenció que el genotipo F473 tiene mayor expresión, seguida de Mocarí y por último Lv1645, siendo así resistente, tolerante y susceptible al estrés por altas temperaturas para cada genotipo.

Palabras clave: ARN, Termo-tolerancia, Irradiación, Genotipo, PCR.

Abstract

Heat shock proteins (HSPs), also known as molecular chaperones, are of great importance in cellular protein quality control mechanisms because they act as a central hub for multiple aspects of signaling and development in diverse organisms. Environmental and genetic perturbations directly affect these chaperones leading to alterations in the molecular networks that determine plant phenotypes and genotypes, which constitutes a wide phenotypic plasticity. For this reason, the objective of this research was to identify the high temperature resistance of three rice genotypes, based on the the evaluation of genes encoding heat shock proteins of 70 and 90 kDa in rice seedlings, indica variety (*Oryza sativa* L.) of the genotypes Fedearroz 473, Fedearroz Mocarí and Advanced Line Lv1645 irradiatióicoed with cobalt-60. This evaluation was carried out under controlled conditions, using in vitro cultures, the qRT-PCR technique, subjecting the seedlings to three heat treatments: control at 28 °C, moderate at 35 °C and high at 42 °C, with three RNA extractions at 2-hour intervals. The results obtained reveal significant changes in the expression of the two genes as protective mechanisms to the increase in temperature, but this decreases when seedlings are exposed to 42 °C. The behavior of the Hsp70 and 90 genes showed that genotype F473 has higher expression, followed by Mocarí and finally Lv1645, thus being resistant, tolerant and susceptible to high temperature stress for each genotype.

Keywords: ARN, Thermotolerance, Irradiation, Genotype, PCR.

Introducción

Las plantas, como organismos sésiles, están constantemente expuestas a diversos tipos de estrés abiótico, que afectan su desarrollo y por la productividad de los cultivos. Entre los factores ambientales que someten a las plantas a estrés se incluyen la deficiencia o exceso de agua, nutrientes, altos contenidos de sales en el suelo, radiación solar excesiva (PAR y/o UVB), altos contenidos de alcaloides o acidificación del suelo, factores mecánicos y temperaturas extremas, tanto altas como bajas (Prado et al., 2010).

El estrés abiótico afecta principalmente a los cultivos de arroz de dos maneras: directamente, alterando los procesos fisiológicos involucrados en la producción del grano, como el crecimiento vegetativo, desarrollo de espiguillas y llenado de grano; e indirectamente, disminuyendo los rendimientos a través de la incidencia de enfermedades e insectos fitófagos (Castro E., 2010). Adicionalmente, temperaturas superiores a 40 °C afectan significativamente la fotosíntesis de las plantas y están relacionadas con el contenido de clorofila en las hojas (Taniyama et al, 1988).

Adicional a esto, exceder los límites de temperatura óptimos durante el desarrollo de las plantas provoca alteraciones fisiológicas importantes, como desnaturalización de proteínas, alteraciones en la fluidez de las membranas e inhibición del transporte de electrones, lo que afecta el crecimiento, desarrollo y rendimiento final (Sayed O., 2003). En plantas de arroz, temperaturas de 45 °C durante la germinación y crecimiento pueden causar punta blanca, bandas cloróticas y manchas en las hojas, mientras que temperaturas de 35 °C reducen el macollamiento; además, temperaturas de 38 °C o más durante la fase reproductiva reducen el número de espiguillas (Chatterjee y Maiti, 1981; Streck et ál., 2003). Asimismo, estudios han demostrado que espiguillas expuestas a temperaturas superiores a 35 °C durante la floración por

aproximadamente 5 días, generan esterilidad debido a la baja dehiscencia y producción de polen, lo que causa una baja germinación de polen en el estigma (Fedearroz, 2010; Matsui, 2003). Incluso menos de una hora de exposición a altas temperaturas puede inducir esterilidad en el arroz (Jagadish et al., 2007).

En condiciones normales, las plantas poseen dos tipos de proteínas: las parcialmente desnaturalizadas, unidas a chaperonas que ayudan al plegamiento de las proteínas recién formadas y las proteínas en estado nativo, funcionales y estables. Sin embargo, las altas temperaturas pueden interrumpir las funciones enzimáticas, provocando la desnaturalización irreversible de las proteínas (Dill y MacCallum, 2012). Con el aumento de la temperatura, la proporción de proteínas desnaturalizadas aumenta, disminuyendo las chaperonas libres en la célula y provocando una nueva síntesis de proteínas chaperonas durante el estrés térmico (Personat, 2014). Además, se ha evidenciado que el aumento de la temperatura induce factores de transcripción de choque térmico (Hsf), que sintetizan proteínas de choque térmico (Hsp) encargadas de reparar los daños proteicos.

El uso de ^{60}Co como elemento ionizante es una técnica que genera alteraciones en el material vegetal, induciendo variabilidad genética, lo cual es muy eficiente en el mejoramiento de cultivos con rasgos específicos de importancia agronómica. Los rayos gamma, con su baja longitud de onda y alto poder de penetración, causan mutaciones genéticas aleatorias en el genoma (Corrales et al., 2019). Con el fin de ampliar la variabilidad genética se requiere determinar la dosis óptima de irradiación, el cual depende de las características físicas del material vegetal (Madriz et al., 2022).

La Federación Nacional de Arroceros en Colombia, en colaboración con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas a través del proyecto COL5024, desarrolló 19 líneas mutantes

avanzadas de diferentes genotipos de arroz y 42 con características convenientes como tolerancia a la sequía y altas temperaturas (Fedearroz, 2018). Estudios de Castilla et al. (2010) mostraron que los genotipos Fedearroz 473 y Fedearroz Mocarí presentan mayor adaptación a altas temperaturas (34 °C), siendo la genotipo de mayor rendimiento Fedearroz 473, mientras que la genotipo Fedearroz Lv1645 muestra bajos rendimientos bajo estrés térmico. Por esta razón, se escogieron para esta investigación los genotipos Fedearroz 473 (resistente), Fedearroz Mocarí (tolerante) y Lv 1645 (susceptible) al estrés por altas temperaturas, las cuales fueron irradiadas con ^{60}Co en su primera generación (Arce et al., 2022). Se evaluó la expresión de los genes que codifican a Hsp70 y Hsp90 en dos tratamientos diferentes: a 35 °C (T1) y 42 °C (T2), utilizando la técnica qRT-PCR, con el fin de determinar los cambios en la expresión genética de estos dos genes en tres líneas de arroz sometidas a estrés por altas temperaturas en condiciones controladas.

Metodología

La evaluación de los genes que codifican proteínas de choque térmico Hsp70 y Hsp90, se realizó a partir de tres genotipos de *Oryza sativa* var. *indica*: Fedearroz 473, Fedearroz Mocarí y Línea Avanzada Lv1645, las cuales corresponden a tolerante, resistente y susceptible al estrés por altas temperaturas, respectivamente. Estos genotipos fueron suministrados por la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) e irradiados con cobalto 60 (^{60}Co) en el marco del proyecto: “*Internacional arcal fase II improvement of yield and commercial potential of crops of economic importance of latinoamerica col 5023-col 5024 cooperación técnica AIA mutagénesis y biotecnología aplicada al mejoramiento del arroz*”.

Este estudio se desarrolló bajo un Diseño Factorial Completamente al Azar (DCA), donde cualquier individuo en el tratamiento y réplica puede ser utilizado (Gavilánez, F. 2021). En total se usaron 3 genotipos con una réplica para un total de 6 muestras por genotipo al azar.

Obtención de las plántulas

Para obtener las plántulas de arroz se siguió el protocolo de Pérez-Bernal (2013) modificado por Arce et al. (2022), el cual consiste en tres fases: germinación, desarrollo de radícula y plántula. Para el proceso de germinación, se colocaron 30 semillas de cada genotipo con una réplica en cajas de Petri con papel absorbente humedecido, estas se mantuvieron en una cámara de crecimiento (fitotrón), hasta que se evidenciara la presencia de radícula aproximadamente a los 7 días con cerca 2 cm de longitud.

Para el desarrollo de la radícula y la plántula, se dispusieron las germinaciones en placas donde se sumergió únicamente las radículas durante cuatro semanas en una solución nutritiva de medio hidropónico enriquecido con nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, molibdato, boro, zinc, cobre y hierro, manteniendo el pH entre 5.6 a 6.0. Las condiciones del fitotrón fueron 8 horas de oscuridad a una temperatura de 20 °C y 16 horas de luz a 28 °C, con una humedad relativa del 70% y una iluminación de 20000 lux aproximadamente (Contreras et al. 2006; Arce et al. 2022).

Estrés térmico y extracciones de ARN

En el estadio de plántula los tres genotipos fueron sometidos a estrés durante un día por 4 horas, simulando condiciones de temperatura extrema que corresponde al periodo entre las 11:00 de la mañana hasta las 3:00 de la tarde (Fedearroz, 2010; Arce et al. 2022).

Las extracciones de ARN se realizaron a los 10 minutos de iniciado el estrés térmico, posteriormente se realizó la segunda extracción a las 2 horas y la tercera extracción a las 4 horas (tabla 1). Para cada extracción de ARN se utilizaron 2 g de muestra vegetal de la hoja bandera, realizando lisis celular con nitrógeno líquido y del macerado se tomaron 0.5 g, posterior a esto se siguió el protocolo de extracción del kit *UltraClean Plant RNA Isolation K* de Mo-Bio® (instrucciones del fabricante). La cuantificación de ARN se midió a través de Nanodrop 2000c.

Tabla 1

Diseño de los tratamientos y extracción

Tratamiento	Temperatura	Extracción (E)
Control	28 °C	E1: 11:10 am - E2: 1:00 pm - E3: 3:00 pm
Moderado	35 °C	E1: 11:10 am - E2: 1:00 pm - E3: 3:00 pm
Alto	42 °C	E1: 11:10 am - E2: 1:00 pm - E3: 3:00 pm

Fuente. Elaboración propia (2024)

Nota: °C: grados centígrados, E1: Extracción 1, E2: extracción 2, E3: Extracción 3, los tiempos de extracción se modificaron de Arce et al., 2022.

RT-PCR: evaluación de los genes Hsp70 y Hsp90

Con el fin de evaluar la expresión de los genes, se diseñaron primers a partir de las secuencias X67711.2 (Hsp70) (Wang y Fang, 1996) y Hsp90-AB037681 (Pareek et al., 1998), las cuales se encuentran depositadas en el *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) en la página web de *Integrated DNA Technologies* (IDT) (<https://www.idtdna.com/pages>).

Los primers se estandarizaron a partir de la amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR), donde se utilizó ADN del tejido de la hoja bandera de una plántula del genotipo Mocarí (proporcionada por FEDEARROZ-Saldaña Tolima). La temperatura de anillamiento para los primers del gen Hsp70 fue de 56.3 °C con un tamaño de amplificación de 446 pb, y para los primers de Hsp90 fue de 53.75 °C con 459 pb, con relación al marcador de peso HyperLadder™ IV (tabla 2).

Tabla 2

Secuencias de cebadores para los genes Hsp70 y Hsp90.

Gen	Secuencia RGAP		Cebador	Tm	Pb
Hsp70	X67711.2	F	5'-CGTCTCATTGGCAGGAGGTT-3'	57	446
		R	3'-TCTTCACCACCAAGATGGGT-5'	55.7	
Hsp90	AB037681	F	5'CACTCTACAGCAACAAGGAC-3'	53.1	459
		R	3'-CACGTACTCCT-TGGCTTCAT-5'	54.4	

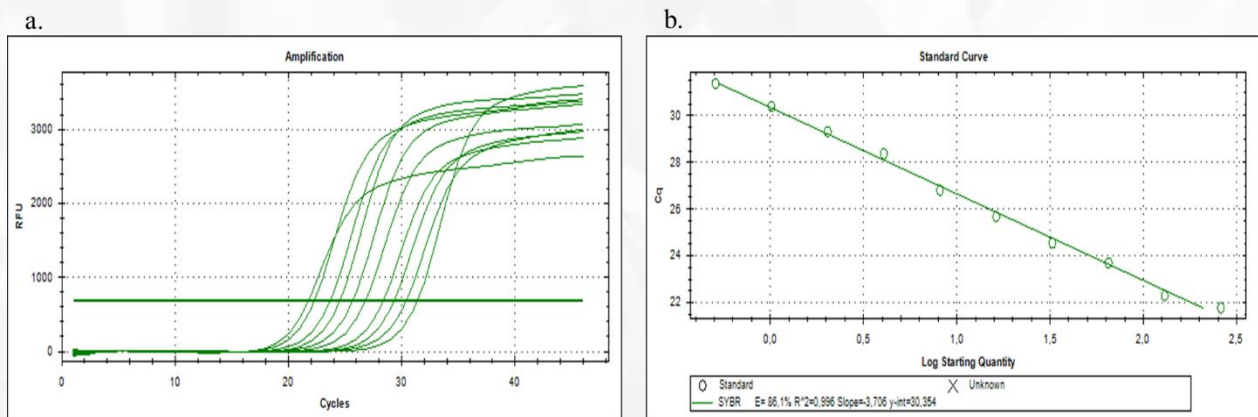
Fuente. Elaboración propia (2024)

Nota: Los cebadores se realizaron en Integrated DNA Technologies (IDT). *Hsp:* Heat Shock Protein, *Tm:* temperatura melting o de anillamiento, *Pb:* pares de bases, *F:* Forward, *R:* Reverse.

La evaluación de los genes Hsp70 y Hsp90, se realizó a partir de RT-PCR empleando el KIT *iScript one-step RT-PCR kit with SYBR™ Green* (instrucciones del fabricante), con el equipo *CFX96 Touch Deep Well Real-Time PCR-BioRad®*. Se realizó una curva estándar con un patrón de una muestra de ARN del genotipo Lv1645 irradiado a una concentración inicial de 260 ng/μL y se realizaron 9 diluciones en serie con un factor de dos. Una vez optimizada la RT-PCR, se realizó la curva de calibración para Hsp70 con una eficiencia del 85.6% y un R^2 de 0.995 (figura 1a-b), y para el gen Hsp90 con una eficiencia del 59.8% y un R^2 de 0.995 (figura 2a-b). De igual manera, se determinaron los niveles de expresión de los genes con el delta delta de Cq ($\Delta\Delta Cq$) a partir de la cuantificación del control relativo (Lv1645), teniendo en cuenta el Tratamiento Control (TC) como estándar (Rao et al., 2013).

Figura 1

Curva estándar del gen Hsp70 con un patrón de una muestra de ARN del genotipo Lv1645. **a.** amplificación curva patrón Lv1645 irradiada. **b.** curva estándar Lv1645.

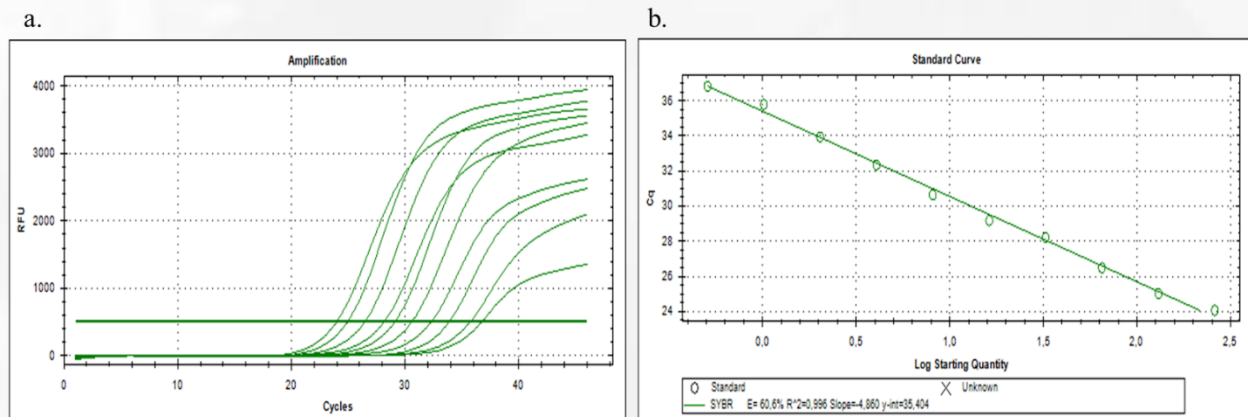


Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 2

Curva estándar del gen Hsp90 con un patrón de una muestra de ARN del genotipo

Lv1645. **a.** amplificación curva patrón Lv1645 irradiada. **b.** curva estándar Lv1645.



Fuente: Elaboración propia (2024)

Resultados

Evaluación de la expresión del gen Hsp70

La evaluación del gen que codifica para Hsp70 dio como resultado que la expresión a partir de RNA está relacionada con el estrés por altas temperatura en las plantas y el comportamiento del gen es dependiendo del genotipo. Se evidenció que el genotipo F473 es el que mejor responde en la expresión de Hsp70 al estrés por altas temperaturas, seguida de Mocari y Lv1645.

El genotipo F473 evidenció un aumento en la expresión del gen al aumentar la temperatura y al prolongar el tiempo de estrés (figura 3a). También se obtuvo que la expresión del gen en este genotipo es mayor en el tratamiento 2 que en el tratamiento 1. En el tratamiento 1 la expresión del gen mostró que aumenta a las dos horas de estrés y se sobreexpresa de manera

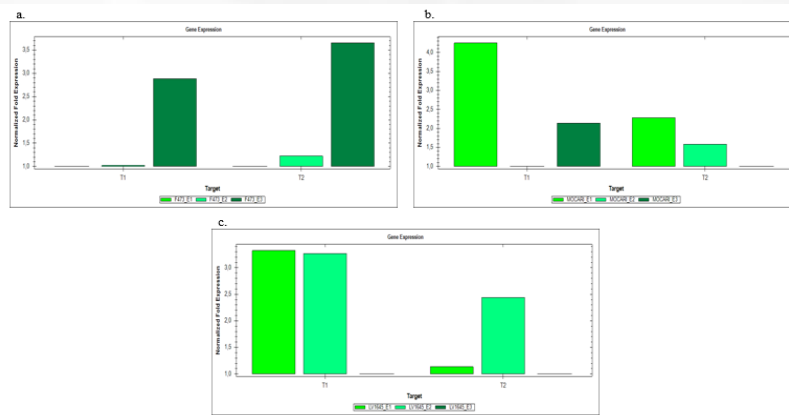
significativa a las cuatro horas; del mismo modo, en el tratamiento 2 se evidencia que la expresión del gen a las dos horas de estrés aumenta y se sobreexpresa a las cuatro horas.

Por su parte, el genotipo Mocarí (figura 3b) mostró que al iniciar el estrés a los 35 °C el gen Hsp70 presenta sobreexpresión con relación al tratamiento control. Sin embargo, al aumentar el tiempo de exposición se presenta una disminución de la expresión del gen con respecto a la primera extracción. Por otro lado, a los 42 °C en la extracción a los 10 minutos el genotipo presentó una sobreexpresión del gen, pero disminuyó en la medida que aumentaba el tiempo al estrés térmico. A su vez, se obtuvo que la expresión del gen disminuye en el tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1.

Por otro lado, se obtuvo que el genotipo Lv1645 a los 35 °C (figura 3c) mostró que la sobreexpresión del gen es significativa a los 10 minutos y a las dos horas de estrés, aunque disminuyó significativamente a las cuatro horas. En cambio, en el tratamiento 2 se evidenció que a los 10 minutos de estrés se sobreexpresa el gen, aumentando significativamente al prolongar el tiempo de estrés a las dos horas, pero no presenta sobreexpresión a las cuatro horas.

Figura 3

$\Delta\Delta Cq$ del gen Hsp70 en los dos tratamientos normalizados con el control. **a.** genotipo F473. **b.** genotipo Mocarí. **c.** genotipo Lv1645. Gráfica obtenida del software CFX Manager™ Biorad. T1: tratamiento 1 a 35 °C, T2: tratamiento 2 a 42 °C, E1: extracción 1, E2: extracción 2, E3: extracción 3.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Evaluación de la expresión del gen Hsp90

La evaluación del gen que codifica a la proteína Hsp90 muestra que existe una relación directa entre la temperatura, el tiempo de exposición y la expresión del gen, esta relación también depende del genotipo a evaluar. Siendo el genotipo F473 la que presenta mayor expresión del gen Hsp90 al estrés por altas temperaturas, seguida de Mocarí y Lv1645.

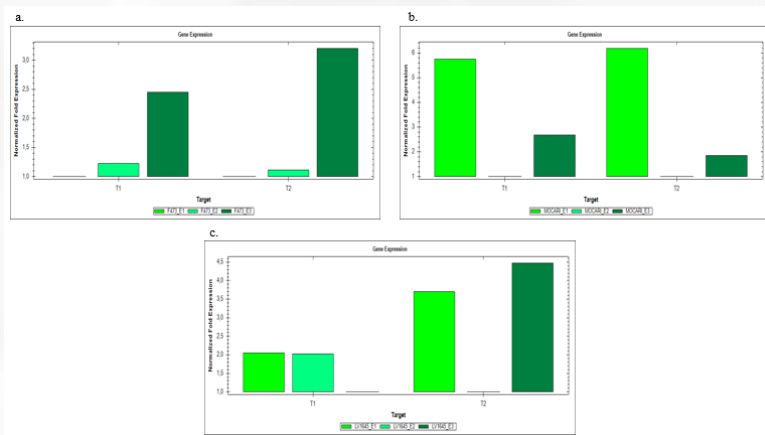
El genotipo F473 evidencio que la expresión del gen aumenta con el incremento de temperatura, al igual que al prolongar el tiempo de exposición al estrés. El tratamiento 1 evidencio que la expresión del gen a las dos horas de estrés es mayor que en el tratamiento 2, por el contrario, a las 4 horas de estrés la expresión del gen es mucho mayor en el tratamiento 2 que en el tratamiento 1 (figura 4a).

El genotipo Mocarí mostró que a los 10 minutos de estrés la expresión del gen es mayor que a las 2 y 4 horas, al igual que es mayor que la expresión en el genotipo F473 y Lv1645. Esta expresión disminuye a las 2 horas significativamente con relación al control y aumenta su expresión a las 4 horas, dónde la expresión es mayor en el tratamiento 1 respecto al tratamiento 2 (figura 4b).

Lv1645 tuvo una expresión del gen similar en el tratamiento 1, a los 10 minutos de estrés y a las 2 horas, pero la expresión disminuyó a las 4 horas de estrés. Por otra parte, en el tratamiento 2 se evidencia que a los 10 minutos la expresión del gen es mucho mayor en comparación al tratamiento 1, este disminuye a las 2 horas y aumenta significativamente a las 4 horas (figura 4c).

Figura 4.

$\Delta\Delta Cq$ del gen Hsp90 en los dos tratamientos normalizados con el control. **a.** genotipo F473. **b.** genotipo Mocarí. **c.** genotipo Lv1645. Gráfica obtenida del software CFX Manager™ Biorad. T1: tratamiento 1 a 35 °C, T2: tratamiento 2 a 42 °C, E1: extracción 1, E2: extracción 2, E3: extracción 3.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Discusión

El estrés por altas temperaturas afecta la producción de proteínas en las plantas, como respuesta de defensa molecular la producción de Hsp70 y 90 aumenta, como se aprecia en las figuras 3 y 4, en las plántulas de arroz sometidas a estrés térmico para contrarrestar los efectos negativos del aumento de temperatura responden reprogramando su maquinaria génica (Grover et al., 2013).

En la genotipo F473 (figura 3a-4a) se encontró que al iniciar el estrés a 35 °C y 42 °C esta no afecta significativamente la expresión de los genes Hsp70 y 90, pero al prolongar el

tiempo a cuatro horas, se evidencia que el aumento de temperatura induce los factores de transcripción de choque térmico (HSF), los cuales provocan la síntesis de proteínas de choque térmico (HSP), en nuestro caso Hsp70 y 90, que se encargan de reparar la desnaturalización proteica que interrumpe la función enzimática (Chaves y Gutiérrez, 2017).

Por otro lado, el mecanismo de síntesis de Hsp70 y 90 en Mocarí (figura 3b-4b) se sobreexpresa al iniciar el estrés térmico tanto a 35 °C y 42 °C, pero disminuye al prolongar el estrés a las 4 horas. En este genotipo en el tratamiento 1 se evidencio que a las 2 horas de estrés la expresión del gen disminuye sin sobreexpresión, lo que se asocia al gasto energético en la producción de la proteína al inicio del estrés, el cual se regula a las 4 horas y aumenta la expresión de los genes. Para el gen Hsp70 el patrón de expresión cambia con respecto a Hsp90; en el tratamiento 1 de Hsp70 la expresión disminuye al prolongar el estrés siendo inversamente proporcional a la temperatura. En general, la mayoría de los genes sensibles al estrés por calor están involucrados en el metabolismo primario y secundario, en la traducción, transcripción y regulación molecular (Takahashi y Shinozaki, 2019).

El genotipo Lv1645 evidenció un comportamiento diferente en los dos genes evaluados y en los tratamientos (figura 3c- 4c), en comparación a los otros dos genotipos. Los niveles de expresión de Hsp70 y Hsp90 en este genotipo tuvieron un comportamiento similar a los genotipos SL-62 (susceptible) y Swarna (susceptible) de arroz evaluados por Chandel et al. (2013). Este comportamiento se debe a su condición de susceptible, donde la plántula como mecanismo de protección expresa el gen Hsp70 al iniciar el estrés a 35 °C, pero al prolongar el estrés no expresa el gen. Por otro lado, a los 42 °C la expresión del gen aumenta a las 2 horas del estrés, pero disminuye significativamente a las 4 horas en el gen Hsp70. Para el gen Hsp90 el comportamiento a los 35 °C es similar a Hsp70, pero en menor cantidad y a los 42 °C si cambia

con respecto a Hsp70, expresándose a los 10 minutos del estrés, disminuyendo significativamente a las 2 horas y aumenta sobrepasando el primer momento a las 4 horas.

El comportamiento de los dos genes infiere que el mecanismo de sobreexpresión en relación con el control es debido a que al estar sometido a estrés las plántulas responden molecularmente para la protección de sus mecanismos a partir de las proteínas de choque térmico, en este caso Hsp70 y 90. Nuestros resultados evidenciaron que existe una relación entre el aumento en la producción de proteínas totales Arce et al. (2022) y la sobreexpresión de las proteínas Hsp70 y 90 de nuestra investigación. Este comportamiento de sobreexpresión al someter a las plántulas a estrés térmico se relaciona a la ayuda a la prevención de la agregación proteica, al relegamiento, importación y traslocación de proteínas, traducción de señales y activación transcripcional, evitando daños en la maquinaria molecular, maduración de las moléculas de señalización y amortiguación genética (Wang et al. 2011; Kumar y Wani, 2020).

Conclusiones

La respuesta del gen que codifica para la proteína Hsp70 y 90 en genotipos de arroz frente a estrés por altas temperaturas muestra una clara dependencia tanto del genotipo como de la intensidad y duración del estrés térmico. Los resultados indicaron que el genotipo F473 es el que presentó una mayor inducción y expresión de los dos genes en respuesta al estrés por altas temperaturas. Esto sugiere que este genotipo posee mecanismos más eficientes de activación de las proteínas Hsp70 y Hsp90, las cuales desempeñan un papel clave en la tolerancia al calor en las plantas.

Por el contrario, los genotipos Mocarí y Lv1645 muestran una respuesta inversa, donde la expresión de los genes disminuye conforme aumenta la temperatura. Esto podría indicar que estos genotipos tienen una menor capacidad de activar la maquinaria de producción de Hsp70 y 90 en respuesta al estrés térmico. Un aspecto importante es la dinámica temporal de la expresión del gen Hsp70, ya que se observó que, en general, la expresión aumenta con el tiempo de exposición al estrés, siendo mayor a 42°C que a 35°C. Esto sugiere que la acumulación de las proteínas Hsp70 es un mecanismo progresivo y dependiente de la severidad del estrés.

Por último, el análisis de la expresión de los genes Hsp70 y Hsp90 en diferentes genotipos de arroz revela patrones de respuesta al estrés térmico, que pueden ser utilizados para la selección y mejoramiento de genotipos con mayor tolerancia a las altas temperaturas, lo cual es de gran importancia en el contexto del cambio climático.

Agradecimientos

El presente trabajo fue apoyado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), bajo el proyecto *Internacional arcal fase II improvement of yield and commercial potential of crops of economic importance of latinoamerica col 5023-col 5024 cooperación técnica AIA mutagénesis y biotecnología aplicada al mejoramiento del arroz.*

Referencias bibliográficas

- Arce R., Martínez C., Becerra L., Aguilera J., Rodríguez N. y Quevedo L. (2022). Evaluación de tres variedades de arroz irradiado en Colombia sometido a estrés abiótico. *Ciencia tecnología e innovación: Biotecnología, Seguridad Alimentaria y Tecnología e Innovación*. Editorial Universidad Incca. Ed. 1. Cap. VIII. Bogotá Colombia. pp 191-2013. ISBN: 978-958-9009-77-2
- Castilla L, Pineda D, Ospina J, Echeverry J, Perafan R., Garces G, Sierra J, Diaz A. (2010) Cambio climático y producción de arroz, revista FEDEARROZ, fondo nacional del arroz-Tolima.. 58 (489).
- Castro E. (2010). Selección de la variedad, factor clave en el sector arrocero. *Revista Arroz*; 52:14-21. https://fedearroz.com.co/documents/201/REVISTA_486.pdf
- Chandel, G., Dubey, M. y Meena, R. (2013). Differential expression of heat shock proteins and heat stress transcription factor genes in rice exposed to different levels of heat stress. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 22, 277–285. <https://doi.org/10.1007/s13562-012-0156-8>
- Chatterjee, B.N., y Maiti, S. (1981). *Principles and Practices of Rice Growing*. Calcutta, India: Oxford y IBH Publ. pp. 146 - 173 SB191.R5D38 80-28941.
- Chaves, N. F. y Gutiérrez, M. V. (2017) “Respuesta al estrés por calor en los cultivos I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos”, *Agronomía mesoamericana*, 28(1), pp. 237-253. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>

Contreras, A., Quevedo, L., y Caro, Y. (2006). Guía para la inducción de mutagénesis en el mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.). (1ª ed.). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13551>

Corrales, R. Avendaño, C. Morales, C. Santellano, E. Villarreal, F. Melgoza A. Álvarez, A. Gómez, Y. (2019). Radiación gamma para inducción de mutagénesis en pasto rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka]. *Acta universitaria*, 29, e1847. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1847>

Dill, K. A., & MacCallum, J. L. (2012). The protein-folding problem, 50 years on. *Science* (New York, N.Y.), 338(6110), 1042–1046. <https://doi.org/10.1126/science.1219021>

FEDEARROZ (2010). Manejo integrado del cultivo de arroz. 1 ed. Colombia: PRODUMDIOS. pp. 158

Gavilánez Luna, F. (2021). Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas. Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 978-84-9052-319-3

Grover A, Mittal D, Negi M, Lavania D. (2013). Generating high temperature tolerant transgenic plants: Achievements and challenges. *Plant Sci.* 2013 May;205-206:38-47. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.01.005>

Jagadish, S. K., Craufurd, P. Q., y Wheeler, T. (2007). High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of experimental botany*, 58(7), 1627-1635. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm003>

- Kumar, V., y Wani, S. H. (Eds.). (2020). Heat stress tolerance in plants: physiological, molecular and genetic perspectives. John Wiley y Sons. 1.^a ed. India: Wiley. pp 33-47. ISBN: 9781119432395.
- Madriz, M., Fernández, A., Hernandez, S., Orozco, R., & Argüello, J. (2022). Radiosensibilidad del arroz (*Oryza sativa* L. var CR5272) por irradiación gamma en Costa Rica. Cultivos tropicales, 43(1), e08-e08. ISSN digital: 1819-4087.
- Matsui, T., & Kagata, H. (2003). Characteristics of floral organs related to reliable self-pollination in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of botany*, 91(4), 473–477.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcg045>
- Pareek, A., Singla, S.L. y Grover, A. (1998). Plant Hsp90 family with special reference to rice. *J. Biosci.* 23, 361–367 . <https://doi.org/10.1007/BF02936129>
- Pérez-Bernal, M., Lorenzo Salinas, D., y Delgado Rigo, M. (2013). Viabilidad de semillas de arroz provenientes de plantas obtenidas in vitro. *Acta Agronómica*, 62(2), 114-119. ISSN:0120-2812.
- Personat JM, Tejedor-Cano J, Prieto-Dapena P, Almoguera C, Jordano J. (2014). Co-overexpression of two Heat Shock Factors results in enhanced seed longevity and in synergistic effects on seedling tolerance to severe dehydration and oxidative stress. *BMC Plant Biol.* Mar 4;14:56. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-56>
- Prado F, Rosa M, Hilal M. (2010). Las especies C4 y el estrés ambiental. En: C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Homenaje al Dr. Julio López Gorgé. Madrid; P. 31-39. ISBN: 978-84-00-09213-9

- Rao X, Huang X, Zhou Z, Lin X. (2013). An improvement of the $2^{-(\Delta\Delta CT)}$ method for quantitative real-time polymerase chain reaction data analysis. *Biostat Bioinforma Biomath.* 3(3):71-85. PMID: 25558171; PMCID: PMC4280562.
- Sayed, O. (2003). Chlorophyll Fluorescence as a Tool in Cereal Crop Research. *Photosynthetica* 41, 321–330. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000015454.36367.e2>
- Streck, N. A.; Weiss, A.; Baenziger, P. S.; Xue, Q. (2003). Incorporating a chronology response function into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. *Annals of Botany*, v.92, p.181-190. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg121>
- Takahashi, F. y Shinozaki, K. (2019) “Long-distance Signaling in Plant Stress Response”, *Current opinion in plant biology*, 47(2), pp. 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.10.006>.
- Taniyama, T., S. Subbaiah y M. Rao. (1988). Cultivation and ecophysiology of rice plants in the tropics. *Japan Journal Crop Science* 57(1), 184-190. <https://doi.org/10.1626/jcs.57.205>
- Wang Q, Fang R. (1996). Structure and expression of a rice Hsp70 gene. *Sci China C Life Sci.* (3):291-9. PMID: 8964022. PMID: 8964022.
- Wang, J., Zhou, J., Zhang, B., Vanitha, J., Ramachandran, S. y Jiang, S. Y. (2011) “Genome-wide Expansion and Expression Divergence of the Basic Leucine Zipper Transcription Factors in Higher Plants with an Emphasis on Sorghum. *J. Integr Plant biology.* 53(3), pp. 212–231. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.01017.x>



CAPÍTULO #10

Control del Periodo de Latencia en Solanum tuberosum Grupo Phureja irradiado con 60Co, a través de la Identificación de la sobreexpresión del gen NCED.

Control of Dormancy Period in Solanum tuberosum Phureja Group Irradiated with 60Co through the Identification of NCED Gene Overexpression

Nixon Oscar Parra Rodríguez³⁷

Edwin Daniel García Mejía³⁸

Rodolfo Elías Arce Lozano³⁹

Jennifer Paola Aguilera Rocha⁴⁰

Cindy Johanna Martínez Saavedra⁴¹

Luis Armando Quevedo Cárdenas⁴²

Luis Francisco Becerra Galindo⁴³

³⁷ Licenciada en Biología. Universidad Incca de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3613-0339>. <mailto:noparrar@uincca.edu.co>.

³⁸ Licenciada en Biología. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-1418-1776>. edwin.0105.gm@gmail.com.

³⁹ Mg. en manejo, uso y conservación de bosques. Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2441-5000>. rodolfoarcelozano@gmail.com.

⁴⁰ Licenciada en Biología. Universidad Incca de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0559-420X>. jpaguilerar@uincca.edu.co.

⁴¹ Mg. en educación. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2453-3111>. cindymartinez474@gmail.com.

⁴² Mg. en ciencias agrarias con énfasis en fitomejoramiento. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-2714-4947>. laquevedo@udistrital.edu.co.

⁴³ Doctorado en bioquímica y bioinformática. Universidad Incca de Colombia. Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-9093-7213>. lfbecerra@udistrital.edu.co.

Resumen

En Colombia, el nombre de papa criolla corresponde a los morfotipos que presentan tubérculos con color de piel y carne amarillo (fenotipo yema de huevo) y es un cultivo de interés agrícola, debido a su elevado potencial productivo y alto valor nutricional. La mutagénesis con cobalto 60 (^{60}Co), tiene un valor práctico en el mejoramiento de las especies útiles para el hombre, mediante la producción de efectos genéticos perdurables como mutaciones, en el caso de la papa criolla, este tubérculo ha sido sujeto de varias investigaciones con esta técnica. Por su parte, los tejidos del tubérculo de *S. tuberosum* presentan sensibilidad diferencial a las hormonas, cambiando según el tiempo transcurrido después de la cosecha, por ejemplo, múltiples fitohormonas han sido relacionadas con el ciclo de vida del tubérculo.

El ácido abscísico (ABA) y el etileno se consideran inhibidores del crecimiento, destacándose en los procesos fisiológicos de latencia. Un paso clave regulado en la biosíntesis de ABA es catalizado por 9-cis epoxicarotenoide dioxigenasa (NCED). Con el fin de comparar la expresión del gen NCED1 en meristemas de tubérculos de un cultivo de *S. tuberosum* grupo Phureja (papa criolla), se utilizaron 10 muestras de ADN vegetal de 22 individuos que fueron plántulas que presentaron mejores resultados en el rendimiento agronómico sometidos a irradiación con ^{60}Co frente a tubérculos (control) de la misma variedad sin irradiar.

Para el proceso en el laboratorio se emplearon protocolos estandarizados de extracción de ácidos nucleicos (ADN-ARN), PCR, electroforesis y RT-PCR, con muestras de diferentes tratamientos. Los resultados obtenidos a partir del análisis de la expresión génica indican que los tubérculos de papa criolla que emergieron de ejemplares irradiadas MV6 (6ta generación), presentan mayores niveles de expresión respecto al control, lo que podría estar relacionado con la prolongación del estado de latencia de los tubérculos de cultivares experimentales durante el almacenamiento.

Palabras clave: Etileno, Ácido Abscísico, Tubérculo, Cobalto 60, Biotecnología.

Abstract

In Colombia, the name "papa criolla" corresponds to the morphotypes that have tubers with yellow skin and flesh colour (egg yolk phenotype) and is a crop of agricultural interest, due to its high productive potential and high nutritional value. Mutagenesis with cobalt 60 (^{60}Co) has a practical value in the improvement of species useful for humans, through the production of lasting genetic effects such as mutations. In the case of the creole potato, this tuber has been the subject of several investigations with this technique. On the other hand, *S. tuberosum* tuber tissues show differential sensitivity to hormones, changing according to the time elapsed after harvest, for example, multiple phytohormones have been related to the life cycle of the tuber.

Abscisic acid (ABA) and ethylene are growth inhibitors, with an emphasis on physiological dormancy processes. A key regulated step in ABA biosynthesis is catalysed by 9-cis epoxy-carotenoid dioxygenase (NCED). To compare the expression of the NCED1 gene in tuber meristems of a crop of *S. tuberosum* Phureja group (Criollo potato), 10 plant DNA samples from 22 individuals were used, which were seedlings that showed better results in agronomic performance when irradiated with ^{60}Co compared to non-irradiated tubers (control) of the same variety.

Standardised protocols for nucleic acid extraction (DNA-RNA), PCR, electrophoresis and RT-PCR were used for the laboratory process, with samples from different treatments. The results obtained from the gene expression analysis indicate that the criollo potato tubers that emerged from irradiated MV6 (6th generation) specimens show higher levels of expression than the

control, which could be related to the prolongation of the dormancy state of the tubers of experimental cultivars during storage.

Key words: Ethylene, Abscisic acid, Tuber, cobalt 60, Biotechnology.

Introducción

La papa es el tercer cultivo de mayor importancia a nivel mundial, después de cultivos como el arroz y el trigo; gracias a su aporte nutricional es considerado como un alimento importante para garantizar la seguridad alimentaria, especialmente en países en vía de desarrollo (FAO, 2022). La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo de interés agrícola, debido a su elevado potencial productivo y alto valor nutricional (Naumann, *et al.*, (2020), presentando demanda para el consumo en fresco y para el procesamiento en agroindustria.

A nivel mundial es el cultivo diferente a los cereales que presenta mayor producción con 368.168.914 toneladas (ton) en el 2018. *S. tuberosum* grupo *Phureja*, conocida como papa criolla, es cultivada en la región oriental de los Andes (Bolivia, Perú, Colombia y Venezuela) en altitudes de 2000–3400 m.sn.m. (Rodríguez *et al.*, 2009). Colombia es el mayor productor, exportador y consumidor de papa amarilla diploide (*S. tuberosum* L. grupo *Phureja*) conocida en el país como papa criolla (Rodríguez *et al.*, 2009) y se estima que, del total de la papa consumida en el país, el 16% corresponde a papa criolla (Barragán, 2019), siendo el cultivar Criolla Colombia el más cultivado en el país (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

La multiplicación del cultivo de papa se realiza a través de propagación vegetativa mediante tubérculos-semilla, lo cual garantiza que se mantengan las características de una determinada variedad; no obstante, también implica transferencia de enfermedades. Estas

limitaciones han hecho necesaria la búsqueda de nuevos métodos de propagación (Hernández & Díaz, 2019), por lo que se hace pertinente la aplicación de nuevas tecnologías, técnicas y metodologías alternativas a las tradicionales que permitan mejorar y aprovechar variantes genéticas de interés en favor de optimizar la productividad y la rentabilidad del cultivo de papa.

Por esta razón hoy es posible valerse de herramientas biotecnológicas (como la mutagénesis), por ejemplo, en Colombia uno de los primeros reportes con papa criolla (*Solanum Phureja* Juz. et. Buk) en el Instituto Colombiano Agropecuario con la inducción artificial de mutantes. Esto es gracias al empleo de las radiaciones atómicas existe un valor práctico en el mejoramiento de las especies útiles al hombre, mediante la producción de efectos genéticos perdurables como las mutaciones (Malvaréz, 1965).

La papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *Phureja*) presenta una gran aceptación en el mercado nacional, debido a sus características organolépticas, su versatilidad para preparar y su tamaño que la hacen fácilmente comestible en un solo bocado (Rodríguez & Ñustez, 2011). Sin embargo, la ausencia del período de dormancia en esta variedad limita su uso a nivel doméstico e industrial, debido a la alta perecibilidad, que resulta de una rápida brotación (Rodríguez y Moreno, 2010). A su vez, esto determina que la comercialización y el procesamiento se deban realizar en el menor tiempo posible (Bonilla *et al.*, 2009).

El ácido abscísico (ABA) es un regulador esencial del crecimiento vegetal presente en pequeñas cantidades en los tejidos de las plantas. Este compuesto es un sesquiterpeno apocarotenoide sintetizado a través de la escisión oxidativa de los expocarotenoides neoxantina y violaxantina (Jamwal *et al.*, 2018). En semillas y frutos, la regulación de la biosíntesis de ABA está cuidadosamente controlada durante las distintas etapas del desarrollo. El ABA se metaboliza mediante oxidación a ácido faseico o por glucosilación a éster glucosílico de ABA. Este ácido

juega un papel crucial en numerosos procesos fisiológicos, como la regulación de las relaciones hídricas mediante el control del cierre estomático, la maduración de semillas, la prevención de la germinación precoz y la adaptación a diversas condiciones de estrés ambiental, incluyendo sequía, salinidad, frío y heridas mecánicas (Kurkela *et al.*, 1990).

Según Bieto & Talon, (1993), esta hormona tiene una función secundaria, en la abscisión y latencia de las yemas. A causa de una asociación errónea con estas dinámicas fisiológicas, aún se conserva la idea inicial de que el ABA es un inhibidor del crecimiento en una planta. Se ha comprobado que existe una correlación entre la reducción del crecimiento y los niveles de ABA en genotipos mutantes de *Arabidopsis thaliana* (Koornneef *et al.*, 1928 revisado en Bieto & Talon, 1993), en consecuencia, cuando más severa es la deficiencia en ABA, mayor es la reducción en el crecimiento. El ABA es un ácido orgánico con un átomo de carbono asimétrico en la posición C-1'. Su forma natural es (+) -(S)-ABA y se abrevia como ABA (Addicott *et al.*, 1968, citado por Bieto & Talon, 1993). El ABA sintético consiste en una mezcla racémica que debe indicarse como (±)-ABA (Bieto & Talon, 1993).

Destefano y colaboradores (2006) argumentan que la síntesis y el metabolismo de ABA se da en todos los tejidos del tubérculo. Para la biosíntesis de ABA, se han encontrado dos vías una directa y otra indirecta, en la que ABA es un derivado del compuesto C15 farnesil pirofosfato y un C40 carotenoide, respectivamente. Estudios basados en la caracterización de mutantes deficientes en ABA y el aislamiento de genes mutantes relevantes, demostraron que la vía indirecta es la vía principal. El gen IPP se sintetiza a partir del ácido mevalónico en el citosol, mientras que en los plastidios donde tiene lugar la síntesis de carotenoides, se produce a través de 1-desoxi-D-xilulosa 5-fosfato (DXP) a partir de piruvato y gliceraldehído-3-fosfato haciendo una conversión del gen en un fitoeno carotenoide C40, catalizado por fitoeno sintasa (PSY),

siendo el primer paso comprometido y limitante en la síntesis de carotenoides (Seo & Koshiba, 2002).

Estudios realizados sobre el ácido abscísico (ABA) en *Solanum lycopersicum* han demostrado que es un regulador central de la dormancia y germinación de semillas, pues las modificaciones en el metabolismo de las plantas en cuanto al ciclo del ABA conduce a fenotipos con deficiencias en la dormancia (Burbidge, *et al.*, 1999). En general, las bajas concentraciones de ABA, disminución en la síntesis y la interferencia en la señalización, conduce a la pérdida de dormancia, la supresión de la inactivación del ABA conduce a un mayor tiempo de dormancia.

Se ha demostrado que el gen del carotenoide clivage dioxigenasa 9-cis-epoxycarotenoide (NCED) es un regulador en el control de la síntesis del ABA, afectando la latencia y la germinación de las semillas, pues se han exhibido contenidos de bajas concentraciones de ABA en plantas mutadas de *Arabidopsis thaliana*, cuando este tipo de genes (NCED) no se expresaba de manera adecuada, mientras que una alta expresión aumenta el nivel de ABA y la dormancia en las semillas.

En la papa, la disminución del contenido de ABA a lo largo del periodo de dormancia se correlaciona con la disminución de la expresión del gen NCED (Zheng *et al.*, 2015) (Martínez *et al.*, 2011). Por tal razón esta investigación realizó la evaluación de la expresión del gen NCED1 asociado a la escisión de carotenos para producir precursores del ácido abscísico (ABA), con el fin de analizar procesos fisiológicos ligados a dicha fitohormona, implicada en procesos de dormancia del tubérculo en tratamientos de irradiación comparados con individuos sin irradiar.

Metodología

La evaluación de la expresión del gen NCED, que codifica para la enzima 9-cis epoxicarotenoide dioxigenasa, se realizó en tubérculos de mutantes sólidos de *S. tuberosum* grupo Phureja, variedad criolla Colombia. Estos genotipos fueron irradiados con una dosis de 25 y 50 Gy de ^{60}Co en su primera generación y en la sexta generación MV6 se realizó esta investigación. Los genotipos fueron obtenidos del invernadero de la Finca El Pino (KM 16 vía el Rosal – Subachoque) – Cundinamarca, Colombia; en el marco del proyecto “*COL5026 Enhancing Crop Productivity of Creole Potato Using Nuclear and Related Techniques*” financiado por el Organismo Internacional de Energía Atómica - OIEA.

Fase de campo

En la fase de campo del estudio se utilizaron tubérculos de MV6, procedentes de un ensayo con dosis de radiación con ^{60}Co de 25 y 50 Gray (Gy). Estas isodosis fueron realizadas por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el reactor nuclear del Servicio Geológico Colombiano, donde se desarrollaron los protocolos de mutagénesis en papa criolla (Zabala, 2011).

Se realizó el proceso de manejo agrícola convencional hasta cosecha, de allí se obtuvieron los tubérculos y hojas empleados en la estandarización y ensayo final de este trabajo, para esto se seleccionaron 160 familias en el macroproyecto COL5026 160 que se multiplicaron en campo hasta la generación MV3. Posteriormente se escogieron por rendimiento 121 familias en MV4, el proceso se repite y se selecciona por el rendimiento agronómico y días de dormancia del tubérculo (12-15 días) 30 de las mejores familias. Estos resultados se obtuvieron en noviembre de 2018; a partir de este momento estas 30 familias elite se evalúan con

la matriz de descriptores agronómicos propuesta por el programa de Mejoramiento de papa de la Universidad Nacional de Colombia, calificando en el segundo semestre del año 2019, 26 familias de mutantes candidatos que en el año 2020 -2021 entran en periodo de mantenimiento de germoplasma duplicación y posterior evaluación agronómica (Figura 1).

Figura 1

a y b Fase de invernadero, c. Hábito de crecimiento menor que el control y plantas arrosetadas. d. cambios foliolos.



Fuente. Fotografía tomada por Arce, et al. (2021)

A partir de los hallazgos encontrados en rendimiento agronómico, el grupo de investigación evalúa un grupo de genes responsables en las rutas fisiológicas de la activación o no de la dormancia. En este trabajo se selecciona el gen NCED este gen está durante todo el proceso de desarrollo de la planta y es responsables como se evidencia de la maduración precoz

y la latencia, los genes en estudio se describen a continuación al igual que sus niveles de expresión censados a través de PCR cuantitativa.

Extracción de ADN y ARN

Las muestras (hojas y tubérculos) de 22 individuos fueron llevadas al laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Para la extracción de ADN se usaron hojas y para la extracción de ARN se utilizaron los tubérculos extrayendo las zonas meristemáticas. Previamente se lavaron con agua potable para retirar el exceso de tierra y un segundo lavado con agua destilada y unas gotas de polisorbato 20 para evitar contaminantes en las muestras de ARN.

Se realizó la extracción de ADN por medio del kit *UltraClean Plant RNA Isolation K* de Mo-Bio® (instrucciones del fabricante), posteriormente se dejan las muestras a -4°C ; por otro lado, la extracción de ARN se realizó a partir del protocolo descrito por Wiley John & Sons, (2000) con modificaciones. Para la extracción de ARN se maceraron las muestras con nitrógeno líquido, posteriormente se añadió buffer de extracción al macerado (aproximadamente 1 ml, según cantidad de tejido vegetal macerado), hasta que se formó una pasta homogénea. En un tubo de reacción de 2 ml se colocaron 0.5 g del macerado y se mezcló por vortex por 1 minuto. Después se agregaron 500 μl de Fenol-Cloroformo-Isoamílico (25:24:1) (FCI) y se mezcló por vortex por 3 minutos aproximadamente.

Al observar una mezcla homogénea se llevó a centrifugación a 13000 rpm por 10 minutos a una temperatura a 4°C . Al terminar el paso anterior se tomó la fase acuosa y se traspasó a otro tubo de reacción de 2 ml añadiendo de nuevo 500 μl de FCI. Nuevamente se centrifugó a 13000

rpm por 10 minutos. Se tomaron 700 μl de la fase acuosa superior, se pasó el líquido a un tubo nuevo y se le añadieron 700 μl de LiCl 4M (1:1), mezclando por inversión.

Posterior a esto se dispuso el tubo a congelación en la nevera de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 hora. Pasado el tiempo se centrifugó a 3°C a 12000 rpm durante 40 minutos. Se descartó el líquido y se suspendió el pellet con 150 μl de H_2O mq autoclavada. El ARN se lavó con una solución de 375 μl de Etanol y 15 μl de Acetato de Sodio 3M. Se llevó la mezcla a -80°C por 1 hora y se centrifugó a 12000 rpm; temperatura 3°C durante 20 a 30 minutos, se eliminó el líquido secando por evaporación a temperatura ambiente y se vuelve a hidratar el pellet en 100 μl H_2O mq autoclavada o TE.

Evaluación de qRT-PCR para detección de NCED

Con el fin de evaluar la expresión del gen NCED, se utilizaron los cebadores que se exponen en el artículo “*Effects of postharvest storage and dormancy status on ABA content, metabolism, and expression of genes involved in ABA biosynthesis and metabolism in potato tuber tissues*” (Destefano *et al.*, 2006).

Debido a su eficiencia para los protocolos de PCR y RT-PCR, y a que son cebadores específicos para un mRNA del gen en estudio StNCED1, la secuencia utilizada por los autores fue NM_001288174.1 (Destefano *et al.*, 2006). Los primers se estandarizaron a partir de la amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (PCR), donde se utilizó ADN de las hojas de *S. tuberosum*, La temperatura de hibridación para los primers del gen StNCED1 fue de $58,1^{\circ}\text{C}$ con 200 pb, con relación al marcador de peso HyperLadder™ IV (tabla 2).

Tabla 2

Secuencias de cebadores para el gen StNCED1

Gen	Secuencia	Cebador	Tm	Pb
StNCED1	F	5'-CGTCTCATTGGCAGGAGGTT-3'	55,21	206
	R	3'-ATATTTGTTGTCACCATAAATGAA-5'	53,24	

Fuente. Elaboración propia (2024)

Nota: cebadores utilizados para el procedimiento por RT-PCR. StNCED1: nombre del gen a evaluar, F: Foward, R: reverse, Tm: temperatura de anillamiento o Melting, Pb: pares de bases.

La evaluación del gen StNCED1 se realizó a partir de RT-PCR empleando el KIT *iScript one-step RT-PCR kit with SYBR™ Green* (instrucciones del fabricante), con el equipo *CFX96 Touch Deep Well Real-Time PCR-BioRad®*.

La comprobación de los cebadores diseñados, temperaturas y tiempos de amplificación de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se realizó la extracción de ADN de 22 muestras de hojas de plantas irradiadas, mediante el *DNeasy Plant Pro Kit (50)* de Qiagen® (EEUU).

Una vez confirmada la amplificación de NCED, se procedió a evaluarlo mediante qRT-PCR en el termociclador de RT-PCR *CFX Connect™ Real-Time PCR Detection System* (BIO-RAD), utilizando el kit *iScript™ One-Step RT-PCR Kit with SYBR® Green* (BIO-RAD) siguiendo el protocolo del fabricante. Se realizaron 40 ciclos en el termociclador de la siguiente manera: un ciclo de 10 minutos a 50 °C para la incubación de las muestras, un segundo ciclo de

95 °C por 3 minutos, un tercer ciclo de 95 ° C por 10 segundos, un cuarto ciclo de 58,1 °C (Temperatura de anillamiento de los primers) por 30 segundos.

Se tuvo en cuenta la configuración de la curva Melting (Melt Curve) 58.1 °C a 94,1 °C, con un incremento de 0,54 °C por 5 segundos para la lectura del plato. Por último, se realizó un quinto ciclo de 72 °C por un minuto y un ciclo final a 4 °C por 10 minutos. Se utilizó el gen que codifica a Actina como normalizador de la RT-PCR.

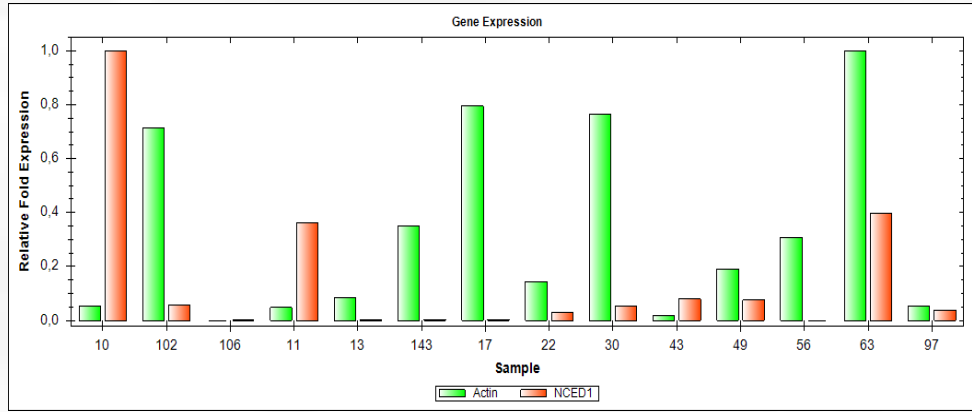
Resultados

Los resultados obtenidos de la evaluación de la expresión genética de NCED1 evidenciaron que en solamente diez individuos existen cambios en su expresión en las familias MV6. Los individuos evaluados 10, 11, y 43 mostraron sobre expresión de NCED1 en comparación al gen que codifica para Actina, siendo el 10 el que presentó mayor sobreexpresión, seguido del 11 y el 43 respectivamente (Figura 1).

Por el contrario, los individuos 13, 17, 22, 30, 49, 56, 63 y 102 tuvieron menor expresión en el gen del NCED1 con relación al de Actina. El individuo que presentó mayor expresión fue el 63, seguido de 49, 30, 102, 97, 22 y 17 respectivamente. Los individuos 143, 13, 106 y 56 no tuvieron expresión del gen NCED1 (Figura 1).

Figura 1

Expresión de NCED 1, frente a gen normalizador Actina.



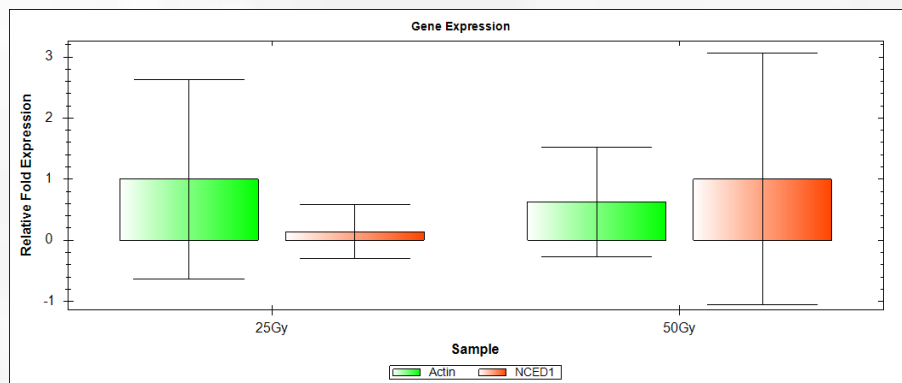
Fuente. Elaboración propia (2024)

Nota: Actin: expresión del gen Actina - NCED1: expresión del gen NCED1

Por otro lado, los resultados obtenidos del análisis de agrupamiento de las familias según la dosimetría empleada en el proceso de irradiación (25 y 50 Gy) se obtuvo que existen diferencias significativas entre el gen que codifica la Actina y el NCED1 (Figura 2). Se evidencia que el gen que codifica a la proteína Actina tiene mayor expresión relativa en los individuos irradiados con 25 Gy de ^{60}Co en comparación a los irradiados con 50 Gy. Por otro lado, se evidenció que el gen NCED1 en los individuos irradiados con 25 Gy tienen menor expresión relativa que los individuos con una dosis de 50 Gy de radiación (Figura 2).

Figura 2

Efecto de la dosimetría de radiación con ^{60}Co en muestras al momento de la cosecha en relación al gen *NCED1*.



Fuente. Elaboración propia (2024)

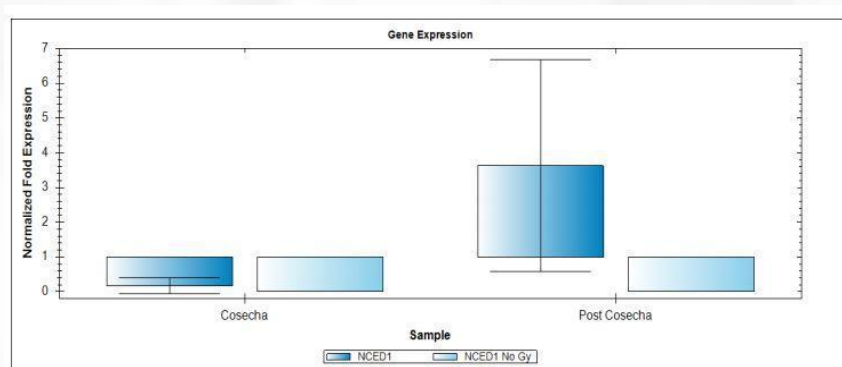
Nota: Actin: expresión del gen Actina - NCED1: expresión del gen NCED1

De igual manera, los resultados obtenidos de la expresión del gen *NCED1* en el momento de cosecha y post cosecha, se evidencian cambios significativos entre los individuos (muestras Elite) irradiados y no irradiados (control) (Figura 3). En el momento de la cosecha se evidencia que la expresión del gen *NCED1* no tiene cambios significativos entre las irradiadas y las no irradiadas. Por otro lado, en la poscosecha (10 días después de la cosecha) se evidencian cambios significativos en la expresión del gen *NCED1*, siendo mayor en las irradiadas en comparación a las no irradiadas (Figura 3).

En las muestras de la cosecha se observa una cuantificación relativa similar en esta etapa para las muestras irradiadas y sin irradiar en el rango de 0.2 hasta 1.0. Al evaluar las mismas muestras en postcosecha se incrementa el rango a 3.6 en las muestras irradiadas de la expresión del gen en estudio con respecto al rango menor al de las muestras de postcosecha sin irradiar (Figura 3).

Figura 3

Comparación muestras Elite Vs control en los momentos cosecha y postcosecha



Fuente. Elaboración propia (2024)

Nota: NCED1: expresión del gen NCED1 en individuos irradiados; NCED1 No Gy: expresión del gen NCED1 en individuos sin irradiar.

Discusión

El aumento de la expresión del gen NCED1 en materiales irradiados puede ser una estrategia para inducir la dormancia, lo cual es de gran importancia para el almacenamiento prolongado de tubérculos sin comprometer su capacidad de germinación para futuros cultivos. Nuestros resultados son consistentes con estudios previos que indican que genes como NCED1 juegan un papel importante en la síntesis de ácido abscísico (ABA), un regulador clave de la dormancia en plantas (Nonogaki & Nonogaki, 2017).

La técnica de qRT-PCR utilizada en nuestra investigación demostró ser sensible para detectar variaciones genéticas y puede vincularse a cambios fenotípicos observables, facilitando la identificación de materiales superiores para programas de mejoramiento (López, 2011). Aunque es un método laborioso y requiere ensayos en diversas condiciones, su capacidad para discriminar individuos basados en la expresión génica es de importancia industrial (Palombi *et al.*, 2007; Feng *et al.*, 2007).

Nuestro estudio respalda la utilidad de la familia de genes NCED1 en programas de mejoramiento genético, ya que sus cambios inducidos generan efectos significativos en la síntesis de ABA, favoreciendo la dormancia en tubérculos de papa. Esto evidencia la importancia para la selección de variedades adecuadas para almacenamiento, especialmente en papa criolla, la cual no presenta dormancia natural en sus tubérculos (Plaisted *et al.*, 1980). Además, estudios adicionales sobre la expresión de genes biosintéticos relacionados con ABA en tubérculos podrían proporcionar una mejor comprensión de los mecanismos regulatorios de la dormancia (Beltrán *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2009).

Finalmente, esta investigación demostró que la radiación y la variabilidad genética influyen en la expresión de NCED1, mostrando aumento en la expresión en tubérculos irradiados, ofreciendo potenciales herramientas para la gestión de la dormancia en tubérculos de papa, lo cual es fundamental para su almacenamiento y comercialización.

Conclusiones

En este estudio se concluye que al evaluar la expresión del gen NCED se logra cuantificar el efecto causado por la irradiación con cobalto 60 (^{60}Co) en los mutantes de flor blanca, en relación con las características de latencia por medio de un marcador molecular. De igual manera se logró estandarizar las condiciones para la amplificación del gen NCED, para una PCR convencional y RT-PCR de cuantificación absoluta.

Por otro lado, la expresión del gen NCED varió significativamente entre los diferentes individuos de la familia MV6, con algunos individuos mostrando sobreexpresión y otros mostrando una expresión reducida en comparación con el gen Actina. Por lo que inferimos que la radiación con ^{60}Co afectó de manera diferente la expresión de los genes Actina y NCED1, con una mayor expresión de NCED1 en individuos irradiados con 50 Gy en comparación con los irradiados con 25 Gy.

A nivel de poscosecha, las muestras irradiadas mostraron una mayor expresión de NCED1 en comparación con las no irradiadas, sugiriendo efectos prolongados de la radiación en la expresión génica. Por lo que el aumento de la expresión de NCED1 en materiales irradiados puede inducir dormancia en los tubérculos de papa, lo cual es beneficioso para el

almacenamiento prolongado y la comercialización sin comprometer la capacidad de germinación.

Por otra parte, la técnica de qRT-PCR permitió detectar de manera sensible variaciones en la expresión génica, siendo útil para la identificación de materiales superiores en programas de mejoramiento genético. Por lo que nuestros resultados confirman estudios previos sobre la importancia de los genes NCED1 en la síntesis de ABA y la regulación de la dormancia en tubérculos de papa, ofreciendo potenciales aplicaciones en la selección de variedades y manejo postcosecha.

Agradecimientos

Los Autores Agradecen al *Organismo Internacional de Energía Atómica* (IAEA, siglas en inglés) quien en el marco del proyecto de cooperación *RLA 5068* Patrocinó el proyecto en reactivos y equipos, a la *Universidad Nacional de Colombia* y su programa de papa por el aporte de los tubérculos *de Solanum tuberosum* grupo Phureja, variedad Criolla Colombia, que fue utilizado como Grupo control.

Referencias bibliográficas

- Auldridge, M. E., McCarty, D. R., & Klee., H. J. (2006). Plant carotenoid cleavage oxygenases and their apocarotenoid products. ScienceDirect. DOI: [10.1016/j.pbi.2006.03.005](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.005)
- Barragán, J. (2019). Descripción y análisis del abastecimiento en las principales centrales de abastos del país. *Revista de Papa*, 49, 44-48. <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/PLAN-DE-ABASTECIMIENTO-12022021.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Bao-Cai, T., Leina M., J., Wen-Tao, D., Lijuan, L., Qin-Bao, L., Kenneth , C., & McCarty, D. (2003). Molecular caracterización of the Arabidopsis 9 - cis epoxy-carotenoid dioxygenase gene family. *The Plant Journal* , 44-56. DOI: [10.1046/j.1365-313x.2003.01786.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2003.01786.x)
- Beltrán, L., Knauber, D., Huckle, L., & Jeffrey, S. (2006). Chemically forced dormancy termination mimics natural dormancy progression in potato tuber meristems by reducing ABA content and modifying expression of genes involved in regulating ABA synthesis and metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 2879–2886. DOI: [10.1093/jxb/erl050](https://doi.org/10.1093/jxb/erl050)
- Bewley, J. D. (1997, 07). Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell Online*, 9(7), 1055-1066. DOI:[10.1105/tpc.9.7.1055](https://doi.org/10.1105/tpc.9.7.1055)
- Burbidge, A., Grieve, T. M., Jackson, A., Thompson, A., Mccarty, D. R., & Taylor, I. B. (1999, 02).
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual Papa. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial. Bogotá D.C. Colombia. <http://hdl.handle.net/11520/14306>

Destefano-Beltrán, L., Knauber, D., Huckle, L., & Suttle, J. C. (2006, 07). Effects of postharvest storage and dormancy status on ABA content, metabolism, and expression of genes involved in ABA biosynthesis and metabolism in potato tuber tissues. *Plant Molecular Biology*, 61(4-5), 687-697. [DOI:10.1007/s11103-006-0042-7](https://doi.org/10.1007/s11103-006-0042-7)

FAO (2022). *Comité de Agricultura*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/nj015es/nj015es.pdf>

FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization of United Nations. Recuperado 16 de abril de 2021, de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Feng, L., Bouman, B. a. M., Tuong, T. P., Cabangon, R. J., Li, Y., Lu, G., & Feng, Y. (2007). Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modelling approach. *Agricultural Water Management*, 88(1-3), 1- 13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.006>

Gómez Cuervo, P. L. (1970). Inducción artificial de mutantes en papas criollas Solanum phureja Juz. et Buk. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Instituto Colombiano Agropecuario - Biblioteca Agropecuaria de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32972>

Hernández, A., & Díaz, H. (2019). Inducción *in vitro* de callo embriogenico a partir del cultivo de anteras en «papa amarilla» Solanum goniocalyx Juz. & Bukasov (Solanaceae). *Arnaldoa*, 26(1), 277-286. <https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26111>

ISSN:

Jamwal K, Bhattacharya S, Puri S. (2018). Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants. *J Appl Res Med Aromat Plants*;9(March):26–38. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.12.003>

[Kurkela, M. Franck, Clonación y caracterización de un gen de Arabidopsis inducible por frío y ABA, *Plant Mol. Biol.* 15 \(1\) \(1990\) 137-144. DOI: 10.1007/BF00017731](#)

López, E. (2011). *Tolerancia a estreses abióticos mediante técnicas de cultivo in vitro en Cenchrus ciliaris L.* Universidad Internacional de Andalucía. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/6591>

Martinez-Andujar, C., *et al.* “Induction of 9-Cis-Epoxycarotenoid Dioxygenase in Arabidopsis Thaliana Seeds Enhances Seed Dormancy.” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no. 41, 2011, pp. 17225–17229., DOI:10.1073/pnas.1112151108.

Naumann, M., Koch, M., Thiel, H., Gransee, A., & Pawelzik, E. (2020). The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*, 63(1), 121-137. DOI <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>

Nonogaki, M., & Nonogaki, H. (2017). Prevention of Preharvest Sprouting through Hormone Engineering and Germination Recovery by Chemical Biology. *Frontiers in Plant Science*, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00090>

Plaisted, R., Fehr, W., & Hadley, H. (1980). *Hybridization of Crop Plants*. New York: American Society of Agronomy. DOI:10.2135/1980.hybridizationofcrops.frontmatter

- Palombi, M. A., Lombardo, B., & Caboni, E. (2007). *In vitro* regeneration of wild pear (*Pyrus pyraeaster* Burgsd) clones tolerant to Fe-chlorosis and somaclonal variation analysis by RAPD markers. *Plant Cell Reports*, 26, 489-496. DOI: [10.1007/s00299-006-0256-9](https://doi.org/10.1007/s00299-006-0256-9)
- Rodríguez, L., Ñustez, C., & Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 289-303. ISSN 0120-9965
- Rodríguez, L. E., & Moreno, Li. P. (2010). Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(2), 189–197. ISSN En línea: 2357-3732
- Seo, M. and Koshiba, T. (2002) Complex Regulation of ABA Biosynthesis in Plants. *Trends in Plant Science*, 7, 41-48. [http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02187-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02187-2)
- Zheng, C., Halaly, T., Acheampong, A., Takebayashi, Y., Jikumaru, Y., Kamiya, Y., & Or, E. (2015, Junio 5). Abscisic acid (ABA) regulates grape bud dormancy, and dormancy release stimuli may act through modification of ABA metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 1527-1542. doi:10.1093/jxb/eru51.





UNIVERSIDAD
INCCA[®]
DE COLOMBIA

**Este libro fue elaborado por la Universidad INCCA de
Colombia, en el año 2024
Bogotá, D.C., Colombia.**