



REVISTA ENCUENTRO SENNOVA™

DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO

5ta EDICIÓN

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



ENCUENTRO

SENNOVA

del Oriente Antioqueño

5^{ta} Edición

Rionegro, Octubre de 2019



Tecnoparque
Rionegro



Revista: Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño, 2019
ISSN: 2665-2447
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA
Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación
Rionegro, Zona Franca, Bodega 15
www.sena.edu.co

**SERVICIO NACIONAL
DE APRENDIZAJE
SENA**

Grupo de Investigación en Innovación
y Agroindustria GIIA

Carlos Mario Estrada
Director general

Juan Felipe Rendón Ochoa
Director Regional Antioquia

Farid de Jesús Figueroa Torres
Dirección de Formación Profesional

Jorge Antonio Londoño
Subdirector Centro de la Innovación, la
Agroindustria y la Aviación - CIAA

Eliaana María Estrada Mesa
Líder SENNOVA - CIAA

Autores

Alejandro Mejía
Alexander López Quintero
Alexis Adrián Andreus González
Anibal Ricardo Molina
Brayan Camilo García Giraldo
Carlos Andrés Rendón Ceballos
Cesar Augusto Arredondo Mejía
Claudia Jiménez Argumedo
Daniela Peña Guzmán
Dayana Urán Montoya
Elizabeth Barrera Bello
Gina Liceth Amortegui Espinosa
Govani Alfonso Mora Gaviria
Jamer Manuel Amador Villalba
Jerson Javier Álvarez Cubillos
Juan Daniel Gallego Villa
Juan Manuel Quiceno Rico
Laura María Muñoz Echeverry
Marcela Giraldo Franco
Mauricio Grisales Gallego
Sandra Milena Galvis Ocampo
Santiago Londoño Chica

ISSN: 2665-2447

© Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Diseño y Diagramación
Global Comunicaciones

Contenido producto de investigaciones de aprendices, instructores, gestores e investigadores desde los Semilleros de Investigación y Grupos de Investigación del SENA.

Hecho el depósito que exige la ley

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita del autor.

Los textos publicados son de propiedad intelectual de los Autores y pueden utilizarse con propósitos educativos y académicos, siempre que se cite al autor y la publicación. Las opiniones aquí contenidas son de responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente el pensamiento del editor ni del SENA.

COMITÉ EDITORIAL

Eliana María Estrada Mesa

Líder SENNOVA - CIAA
MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Juan Manuel Quiceno Rico

Investigador SENNOVA - CIAA
MSc. en Ciencias con Especialidad en Biotecnología de Plantas

Manuel Steven Guzmán Muñoz

Investigador SENNOVA - CIAA
MSc. en Agronegocios

COMITÉ CIENTÍFICO

Álvaro Tamayo Vélez

PhD. en Agronomía
Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

Cristian Alexander Vega Marín

MSc. en Manejo, Uso y Conservación
del Bosque
Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

Jhon Fredy Escobar Soto

PhD. en Administración
Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación - SENNOVA

Lizeth Cristina Chatez Ortega

MSc. en Agronegocios
Fundación Universitaria de Popayán - FUP

Luz Eugenia Botero Suaza

Esp. en Gerencia del Desarrollo Humano
Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación - SENNOVA

Pablo Emilio Rodríguez Fonseca

PhD. en Ciencias Naturales
Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

Tatiana Alejandra Rodríguez Quiroz

MSc. en Microbiología
Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria - AGROSAVIA

Carlos Arturo Mejía Córdoba

MSc. en Innovación en Agronegocios
Sistema de Investigación, Desarrollo
Tecnológico e Innovación - SENNOVA

Eliana María Estrada Mesa

MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Sistema de Investigación, Desarrollo
Tecnológico e Innovación - SENNOVA

Jorge Luis Triana Riveros

MSc. en Agronegocios
Instituto Brasiliense de Direito Público - IDP

Lucas Penagos Vélez

PhD. en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Compañía Nacional de Chocolates

Margarita Lucía Castro Riascos

MSc. en Biotecnología
Complejo Tecnológico, Turístico y
Agroindustrial del Occidente Antioqueño - SENA

Rocío Alexandra Ortiz Paz

MSc. en Fitopatología
Corporación Colombiana de Investigación

Contenido

Editorial	9
Evaluación de la germinación de <i>Aniba perutilis Hemsl.</i> (Comino cresco), procedente del municipio de San Carlos (Antioquia), para el establecimiento de fuentes semilleras	8
Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones	17
Estandarización de una bebida deslactosada a base de suero dulce de leche saborizado con pulpa de mora	33
Diagnóstico de aspectos productivos y ambientales en el cultivo de Aguacate Hass del Oriente Antioqueño	45
Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia	64

Editorial

Nos complace presentar la quinta edición de la Revista Encuentro Sennova del Oriente Antioqueño del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Cuyo propósito fundamental es divulgar los resultados más relevantes de las investigaciones realizadas por los diferentes actores que conforman el Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), principalmente Instructores y Aprendices de los Semilleros de Investigación, los cuales son espacios de gran relevancia para fortalecer las competencias impartidas en la Formación Profesional integral que promueve la entidad.

Uno de los fines que persigue el SENA consiste en “fortalecer la cultura de investigación y desarrollo tecnológico, buscando el mejoramiento y la solución de problemas reales a nivel local, regional y nacional” para lograrlo, utiliza diferentes estrategias, entre ellas, los Semilleros de Investigación, definidos como, puntos de encuentro para el desarrollo de habilidades prácticas investigativas, donde se espera que, tanto, instructores como aprendices, construyan conocimiento a partir de proyectos formativos, los cuales a su vez, promuevan el desarrollo de competencias analíticas, basadas en la lectura del entorno, la identificación de la pregunta problemática, una metodología adecuada, la creatividad para proponer soluciones y la socialización de los resultados. Todo esto, potencializado con la infraestructura instalada, con que cuenta el Centro de Formación, representada en Tecnoparque y el Laboratorio de Servicios Tecnológicos, espacios dotados con tecnologías emergentes y con expertos en diferentes áreas del conocimiento.

Es así, como se desea reconocer el esfuerzo y dedicación a procesos de Investigación efectuados desde el Centro de Formación, una vez que éstos, traen consigo resultados satisfactorios a nivel académico, personal y profesional. Dentro de las experiencias significativas este año, es importante destacar la participación de aprendices en dos eventos internacionales: **EXPOSCIENCES ESI 2019**, con el proyecto “Diversificación Gastronómica del Aguacate” que se realizó en Emiratos Árabes, y la **FERIA MCTEA 2019**, con el proyecto “Implementación de las herramientas de Lean Manufacturing (POKA-YOKES, KAIZEN, 5S) para mejorar la calidad y la productividad en las empresas de confección del altiplano del Oriente Antioqueño” llevado a cabo en Brasil.

Comité Editorial

Equipo Pedagógico del Centro

Evaluación de la germinación de *Aniba perutilis* Hemsl. (Comino crespo), procedente del municipio de San Carlos (Antioquia), para el establecimiento de fuentes semilleras

Brayan Camilo García Giraldo,^a Alexander López Quintero,^a
Daniela Peña Guzmán,^a Jerson Javier Álvarez Cubillos^b

^a SENA, Aprendices de la Tecnología en Gestión de Recursos Naturales del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, pertenecientes al Semillero de Investigación de Agropecuaria y Agroindustria - SIAGRO; bcgarcia221@misena.edu.co, alopez551@misena.edu.co, dpena29@misena.edu.co

^b SENA, Instructor SIAGRO, javieralvarezc@misena.edu.co

Resumen

Este proyecto se desarrolló con el fin de evaluar el potencial de germinación de las semillas de *Aniba perutilis* (LAURACEAE), procedentes de 3 veredas del municipio de San Carlos (Ant.). El estudio se realizó entre noviembre de 2018 y febrero de 2019, en el vivero municipal del casco urbano de San Carlos; usando un sistema de siembra de cama sobre nivel del suelo, bajo un modelo completamente al azar en donde los tratamientos a analizar correspondieron a cada uno de los árboles fuente de semilla y repeticiones de 20 semillas por cada árbol. De cada zona caracterizada se seleccionaron tres árboles, de los cuales se obtuvo la semilla para los ensayos. Se valoró el porcentaje de germinación (G%) y porcentaje de mortalidad (M%). Finalmente se determinó que las mejores progenies proceden de las dos zonas con mejores condiciones de conservación, permitiendo localizar parches de bosque como posible fuente semillera.

Palabras clave: Germoplasma, Parámetros germinativos, Árboles plus, Conservación, Bosque natural.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, gran parte de las especies nativas que son aprovechadas del bosque natural para la obtención de madera y otros subproductos se propagan sexualmente a través de procesos naturales, donde influyen elementos fisonómicos, sanitarios y genéticos de las plantas y aspectos del entorno (Gómez & Toro, 2007). Esto conlleva a que exista una variabilidad en la calidad de las semillas, en su potencial germinativo, y finalmente en la calidad de las plantas que posteriormente se convertirán en individuos potenciales para la sostenibilidad ecológica del bosque y el sustento económico de las comunidades establecidas en áreas boscosas (Pérez-Vega, Acosta, Parrado-Rosselli, 2012).

Estos procesos se ven afectados principalmente por el aprovechamiento intensivo de diversas especies forestales nativas, entre ellas *Aniba perutilis*; las cuales, por su alto valor comercial, han sido constantemente extraídas del bosque, tanto de manera ilegal como legal, sin que se haga un manejo adecuado del recurso (Mercado, 2017). Para el caso específico del Oriente Antioqueño se tiene que “...de las 1.111 hectáreas deforestadas en 26 municipios..., territorio de Cornare ..., más de 350 se deforestaron en San Carlos.” (Semana Rural, 2017).

Al desaparecer los árboles maduros productores de semilla a causa del aprovechamiento y tala de las zonas boscosas donde estos se desarrollan naturalmente, se pierde la base genética que permitiría una regeneración de dichas especies, y su posterior desarrollo; consecuentemente, las comunidades que viven del aprovechamiento forestal no tendrán individuos a futuro que puedan ser extraídos sosteniblemente (Rojas, 2015).

En la actualidad, La Estrategia Global de Biodiversidad del Instituto de recursos Mundiales (WRI), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas, establecen la conservación genética como uno de los elementos para la conservación de la biodiversidad (Marín Vélez, 1999); la cual, depende de la conservación de semillas en bancos de germoplasma. En Colombia, la conservación de especies amenazadas tiene respaldo legal; a través de la Ley de 1981, donde se acoge lo estipulado en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) como garantía para la conservación de especies amenazadas.

El desarrollo de estudios de procedencia a partir de ensayos de germinación para especies nativas es de gran importancia, ya que, a través de estos, se logra identificar cuáles son los individuos en determinadas zonas de propagación natural que tienen las mejores características fenotípicas y genotípicas para la obtención de semillas con un alto grado de germinación y supervivencia; esto permite la permanencia y conservación de las especies.

Este estudio pretende evaluar bajo condiciones controladas el proceso de germinación de semillas de *A. perutilis Hemsl.*, provenientes de zonas de bosque húmedo tropical (bh – T) en las veredas: El Tabor, El Jordán y Santa Rita del municipio de San Carlos (Ant.), ya que es una especie de un alto valor ecosistémico y comercial para la comuni-

dad, que se encuentra categorizada en Peligro Crítico (CR) según el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI (Cárdenas & Salinas, 2006). Esto con el fin de determinar posibles zonas que sirvan de fuente semillera reconocida, partiendo de la Resolución 2457 de 2010 del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, que establece los procedimientos para el registro de fuentes semilleras, para obtención de semilla de calidad que pueda usarse en procesos de propagación con fines de conservación y producción de la especie (MADR-CONIF, 1999).

2. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló entre noviembre de 2018 y abril de 2019, en el vivero municipal del casco urbano de San Carlos (Antioquia), localizado en las estibaciones de la cordillera central, a 6°11'18,37" latitud norte y 74°59'13,16" longitud oeste, a una altitud de 1008 msnm. Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, se encuentra en una transición entre bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), con una precipitación anual de 2000 a 4000 mm, y temperatura media de 22° C (Alcaldía Municipal de San Carlos – Antioquia, 2016).

Inicialmente se realizó la caracterización de 6 parches de bosque húmedo tropical localizados en las veredas: El Tabor, El Jordán y Santa Rita en el municipio de San Carlos, las cuales se encuentran en altitudes entre los 500 y 1200 msnm (Alcaldía Municipal de San Carlos – Antioquia, 2016), esto con el fin garantizar que la procedencia de las semillas presente condiciones climatológicas similares en cada una de las zonas boscosas (Flórez & Valencia, 2014). De estas zonas se recopiló información sobre el estado de conservación, el grado de intervención humana y los periodos de fructificación. A partir de estos datos, se seleccionaron 4 zonas aptas para la recolección de las semillas a usar en los ensayos, en las veredas El Jordán (1), El Tabor (1) y Santa Rita (2). La recolección se hizo de tres árboles por cada zona establecida para garantizar la diversidad derivada de la libre polinización con base en la metodología establecida por Gold et al. (2004), citada por Espitia, Cardona y Araméndiz (2016); dicha recolección se ejecutó teniendo en cuenta los siguientes criterios: a) planeación de la recolección, b) preparación de materiales, insumos y equipos, c) recolección de semillas y datos de individuos (Oliva, Vacalla, Pérez, & Tucto, 2014).

Los árboles seleccionados para la recolección de las semillas para los ensayos, se codificaron y se demarcaron con placa de identificación teniendo en cuenta la zona donde se ubican y el individuo: El Jordán EJ2-X, El Tabor ET1-X, Santa Rita 1 SR1-X y Santa Rita 2 SR2-X, donde la X representa el número del árbol fuente; esta codificación se tuvo en cuenta para el montaje de los ensayos. A cada uno de los árboles se le hizo una caracterización fisonómica y sanitaria, en donde se tomaron valores del diámetro a la altura del pecho (dap) en centímetros, altura total (ht) y altura del fuste (hf), tamaño de la copa (diámetro mayor y menor de la proyección de las mismas en el suelo) en metros.

Los ensayos se desarrollaron bajo un diseño completamente al azar, tomando como base los ensayos de germinación realizados por Espitia, Cardona y Araméndiz (2016), en

donde los tratamientos a analizar corresponderán a cada uno de los árboles fuente de semilla y 20 repeticiones (semillas establecidas en el ensayo) por cada árbol. Las semillas se sembraron a una distancia entre hileras de 5 cm y entre semillas de 5 cm, y a una profundidad igual al tamaño de la semilla, esto con el fin de garantizar un espacio adecuado para la germinación, conformando en total 15 hileras cada una con 16 semillas.

El montaje se hizo bajo el sistema de cama aislada del suelo, usando un sustrato de arena y tierra en porcentajes de 65% y 35% respectivamente, el cual se desinfectó con una mezcla de formol y agua hervida, cada uno al 50%. Las semillas tuvieron un tratamiento pregerminativo de escarificación mecánica con lija de calibre 180 para limpiar la testa y posteriormente se hizo inmersión en agua a temperatura ambiente previo al proceso de siembra durante 24 horas haciendo cambio de agua cada 12 horas (Jara, 1997). La cama se cubrió con plástico color negro hasta la aparición del primer brote, y se encerró polisombra del 50%, se aplicó riego diariamente a las 9 am y a las 3 pm.

La toma de datos se hizo diariamente antes de realizar el segundo riego, donde se registraron los datos del número de semillas germinadas a partir de la existencia de tallo o radícula desarrollada, y verificación del número de plántulas muertas. Luego de 3 meses de seguimiento y verificando que no aparecieran nuevos brotes y que las plántulas germinadas alcanzasen un piso foliar se midió para cada plántula la longitud total del tallo incluyendo la yema terminal y la longitud de la raíz; a partir de los datos de germinación se estimó el porcentaje del mismo (G%), derivado del total de semillas germinadas al finalizar el ensayo con respecto al número de semillas sembradas para cada tratamiento. El porcentaje de mortalidad (M%) se estableció a partir del número de plántulas muertas al finalizar el ensayo con respecto al total de plántulas germinadas; con este índice se estableció el porcentaje de supervivencia por tratamiento (S%) $S\% = 100 - M\%$.

Con los resultados obtenidos, se determinó cuáles son las progenies más aptas para denominarlas como árboles plus, según la definición establecida por el ICA (2010), permitiendo sugerir la delimitación cartográfica de los rodales donde se encuentran estos árboles localizados y la caracterización de estos como área de fuente semillera y de conservación de germoplasma.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización y selección de las zonas de recolección de semilla

Previo al proceso de recolección de semilla, se realizó la caracterización de 6 parches de bosque localizados en las veredas El Tabor, El Jordán y Santa Rita con el fin de identificar su estado de conservación (área del parche, existencia de individuos de *A. perutilis*, grado de intervención humana) y los periodos de fructificación. Con esto se determinó que, de las 6 zonas identificadas, solamente 4 tenían un grado de conservación en el que fue posible encontrar individuos de *A. perutilis* con un grado de desarrollo más marcado (mayores diámetros de tronco y altura, y copas con mayores diámetros), y en estado de fructificación (Tabla 1). Las otras zonas caracterizadas presentaron un alto grado de degradación, con procesos de expansión agropecuaria cercanos y los individuos de *A. perutilis* no estaban lo suficientemente desarrollados para generar semilla.

Tabla 1

Distribución de las zonas de recolección por vereda

Vereda	Zonas caracterizadas	Zonas de recolección	Árboles fuente identificados	No. semillas recolectadas
El Jordán	2	1	3	60
El Tabor	2	1	3	60
Santa Rita	2	2	6	120

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.2 Ensayos de germinación

Se encontró que las semillas obtenidas de las dos zonas ubicadas en la vereda Santa Rita fueron las que presentaron un mayor porcentaje de germinación, donde, de las 120 semillas sembradas germinaron 44 para cada una de las zonas (SR1 y SR2), mientras que las semillas obtenidas en El Tabor (ET1) fueron las de menor germinación, solo presentaron radícula o tallo 8 semillas (Figura 1.).

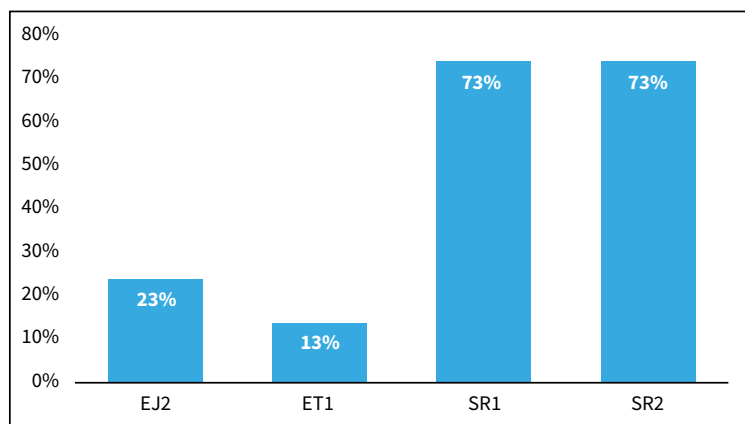


Figura 1. Porcentaje de germinación por zona de recolección

Fuente: Elaboración propia (2019)

Con respecto a la supervivencia, tomada a partir del número total de semillas germinadas menos el total de plántulas muertas (aquellas que no presentaron crecimiento posterior al nacimiento de tallo, radícula, o nunca presentaron foliación), se identificó que las plántulas obtenidas de la semilla recolectada en las zonas SR1 y SR2 tuvieron un mayor porcentaje de supervivencia (100% y 95% respectivamente), mientras que en las zonas ET1 solo se obtuvo un porcentaje de supervivencia del 38%. Las semillas obtenidas de la zona EJ2 presentaron una supervivencia de 71%. (Figura 2.).

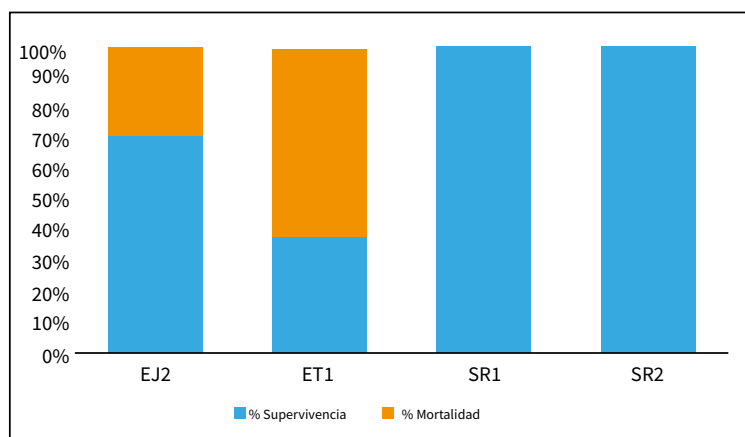


Figura 2. Porcentaje de supervivencia y mortalidad para cada zona de recolección.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Finalmente, se identificó que, durante el tiempo de permanencia de los ensayos, las plántulas de las zonas SR1 y 2 mostraron mejores valores de crecimiento, tanto en raíz y tallo, presentando mejores promedios de crecimiento frente a las plántulas sobrevivientes de las otras zonas (Figura 3).

Tabla 2.

Promedio de crecimiento en centímetros por zona

Zona	Tallo (cm)	Raíz (cm)
EJ2	0,25	3,21
ET1	0,67	3,67
SR1	6,88	5,88
SR2	5,99	5,99

Fuente: Elaboración propia (2019)

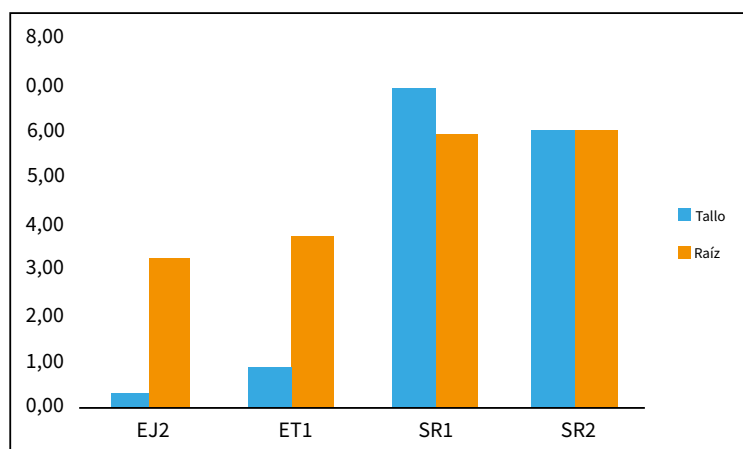


Figura 3. Promedio de crecimiento (cm) para tallo y raíz en cada zona

Fuente: Elaboración propia (2019)

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos muestran que, genotípicamente, tienen mejor potencial de germinación los árboles localizados en los parches boscosos caracterizados en la vereda Santa Rita, puesto que las semillas de los tratamientos SR1 Y SR2 fueron las que reflejaron una germinación más exitosa, y consecuentemente las plántulas obtenidas tuvieron un mayor desarrollo vegetativo, superando los estudios registrados por Gómez & Toro (2007), en donde se reportan porcentajes de germinación de hasta un 60%.

Estos resultados pueden deberse a las condiciones ambientales de las zonas SR1 y SR2, ya que en estos parches de bosque se encontró un mayor grado de conservación del ecosistema (mayor tamaño de los parches boscosos, mayor densidad de individuos por unidad de área, presencia de renuevos) derivada de una menor influencia humana y mayor abundancia de individuos; consecuentemente, esas condiciones se reflejan en la calidad fisionómica de los árboles seleccionados, los cuales presentaron mayores valores de diámetro de tronco, altura y follaje más denso, haciendo que la calidad de las fuentes se viese reflejada en el potencial de germinación de las semillas, la supervivencia de una mayor cantidad de plántulas y el grado de desarrollo alcanzado por las mismas, frente a las semillas obtenidas de las otras dos zonas del municipio.

Teniendo en cuenta esto, es posible determinar que las dos zonas boscosas SR1 y SR2 tienen las condiciones adecuadas para ser delimitadas como áreas de reserva genética para *A. perutilis*, y que los individuos identificados de los que se obtuvo la semilla para los ensayos pueden denominarse como árboles plus; con ello, garantizar la conservación de estas áreas dentro del municipio de San Carlos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque existe un alto grado de intervención humana y degradación de los ecosistemas boscosos presentes en el municipio de San Carlos, fue posible encontrar zonas de bosque natural en un buen estado de conservación, principalmente debido a la baja intervención humana en ellos. Consecuentemente, la calidad ecosistémica de estas zonas se refleja claramente en el desarrollo fisionómico de los individuos de *A. perutilis* allí presentes; en contraste, las zonas identificadas en las veredas cercanas al casco urbano, como en el caso de El Tabor, presentan una alta intervención humana, y los árboles presentaban condiciones de desarrollo menores a las esperadas.

Los valores encontrados de germinación, supervivencia y crecimiento para las semillas obtenidas en cada una de las zonas, demuestran que existe una estrecha relación entre la calidad del sitio en que se encuentran los árboles semilleros, el estado fisionómico de los árboles y el potencial de germinación, ya que los mejores valores obtenidos (%G = 73%, %S mayores de 95%) fueron de las procedencias de Santa Rita, en donde existe mayor grado de conservación.

Se recomienda que los parches de bosque analizados de la vereda Santa Rita, en donde existan individuos maduros de *Aniba perutilis* se delimiten como un área de conservación de germoplasma y fuente semillera, debido a la calidad de la progenie allí presente. Adicional a esto, se lograría tener una reserva que permita la recuperación de la especie, teniendo en cuenta que se encuentra en alto grado de amenaza. Para ello se debe contar con el apoyo de autoridades ambientales, municipales y las comunidades asentadas en dichas zonas.

REFERENCIAS

- Alcaldía Municipal - San Carlos Antioquia. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 - 2019 "Trabajando por el desarrollo social"*. Obtenido de Alcaldía de San Carlos - Antioquia: <http://www.sancarlos-antioquia.gov.co/Transparencia/Informes/PLAN%20DE%20DESARROLLO%202016%20-%202019.pdf>
- Cárdenas L., D. & N.R. Salinas (eds.). (2007). *Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia*. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.
- Congreso de Colombia (1981). Ley 17: Por la cual se aprueba la "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres", suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1973. Colombia.
- Convenio Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) - Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF. (1999). Serie técnica/ N° 43: Investigación en semillas forestales - Programa INSEFOR. Santafé de Bogotá.

- Espitia, M., Cardona, C., & Araméndiz, H. (Julio-diciembre de 2016). Pruebas de germinación de semillas de forestales nativos de Córdoba, Colombia, en laboratorio y casa-malla. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 307-315.
- Flórez Flórez, C., López Uptón, J., & Valencia Manzo, S. (2014). *Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y/o progenies*. México: Conafor.
- Gómez Restrepo, M. & Toro Murillo, J. (2007). *Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque altoandino*. Medellín: Corantioquia
- Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2010). Resolución 2457. Por medio de la cual se establecen requisitos para el registro de las personas que se dediquen a la producción y comercialización de semillas para siembra y plántula de especies forestales y se dictan otras disposiciones. Colombia.
- Jara N., L. F. (1997). *Recolección y manejo de semillas forestales antes del procesamiento*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación i Enseñanza - CATIE.
- Marín Vélez, A. M. (1999). Memorias del curso - taller "Selección, clasificación y manejo de fuentes semilleras, recolección y procesamiento de semillas". Medellín.
- Mercado, V. (2017). Estas son las siete zonas de deforestación más preocupantes en Colombia. *Semana Rural*. Recuperado de: <https://semanarural.com/web/articulo/la-crisis-por-deforestacion-de-bosques-en-colombia/158>
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., & Tucto, A. (Septiembre de 2014). *Manual: Recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencia en Molinopampa, Amazonas - Perú*. Recuperado de Organización Internacional de las Maderas Tropicales - OIMT: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2993/Technical/1%20Manual%20colecta%20semillas.pdf
- Pérez-Vega, J., Acosta Rodríguez, L., & Parrado-Rosselli, A. (2012). Ensayos de propagación de algunas especies forestales aptas para el manejo de la microcuenca La Lejía, Cundinamarca, Colombia. *Revista científica*, 2(14), 124-137. <https://doi.org/10.14483/23448350.3707>
- Rojas Reyes, D. (2015). *Árbol de comino (Aniba perutilis Hemsley) una planta maderable en peligro de extinción en el sur del departamento del Huila*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia: Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3678>
- Semana Rural. (2017). Así están desapareciendo los bosques y las selvas en Colombia. *Semana Rural*. Recuperado de: <https://semanarural.com/web/articulo/asi-estan-desapareciendo-los-bosques-y-las-selvas-en-colombia/212>

Acabados Antimicrobianos en Textiles: Tendencias y Aplicaciones

Laura María Muñoz Echeverri ^a

^a SENA, Centro Textil y de Gestión Industrial, GIAITEQ
Immuno729@misena.edu.co

Resumen

Los textiles antimicrobianos hacen parte de la amplia gama de textiles técnicos cuyo desarrollo obedece a la necesidad de evitar la proliferación de microorganismos en las fibras y tejidos. Para la obtención de este tipo de materiales se han venido investigando y desarrollando una diversidad importante de agentes antimicrobianos, tecnologías para su aplicación y mecanismos de liberación. Este artículo consiste en una revisión de literatura sobre los avances inherentes a los aspectos previamente mencionados. Se presentan además las diferentes pruebas de calidad (durabilidad y actividad antimicrobiana), seguridad e inocuidad a las que deben ser sometidos los textiles antimicrobianos antes de su introducción en el mercado, y los diferentes sectores donde estos tienen aplicación. En general, el propósito del documento es brindar un panorama global sobre un tema de actualidad e interés para un sector manufacturero de relevancia en Colombia como el textil.

Palabras clave: Agentes antimicrobianos, Funcionalización, Aplicaciones, Mecanismos de acción, Requerimientos de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

Los textiles basados en fibras naturales y sintéticas juegan un papel importante en diversas industrias alrededor del mundo. Estos son usados diariamente como materia prima para la elaboración de diferentes productos destacando entre ellos la confección de prendas, empaques de alimentos, muebles para el hogar, automóviles, equipamiento deportivo, dispositivos médicos entre otros (Santos *et al*, 2016).

Además de sus múltiples aplicaciones, características como un área superficial, textura porosa y habilidad para retener humedad y calor, convierte a los textiles en un ambiente propicio para el crecimiento de microorganismos, siendo los hongos y las bacterias los más frecuentes (Hui *et al*, 2016; Santos *et al*, 2016). Mientras los hongos producen en el textil problemas de decoloración y daño de las fibras, provocando a su vez una apariencia indeseada, pérdida de elasticidad y fuerza; las bacterias son las mayores responsables de los olores y sensaciones desagradables. Existen además cepas microbianas que pueden comprometer la salud de los usuarios ocasionando infecciones de importancia clínica (Hui *et al*, 2016).

La preocupación de los consumidores por la higiene y protección personal ha motivado el desarrollo de nuevos textiles con funciones antibacterianas y antifúngicas (Subramanian, 2016); de este modo, los textiles antimicrobianos son uno de los campos más activos e importantes del sector textil, involucrando actividades que conlleven al descubrimiento y aplicación de nuevos agentes antimicrobianos, fibras funcionales, acabados químicos y una de las áreas más activas y promisorias, la nanotecnología (Hui *et al*, 2016).

El mercado mundial de textiles antimicrobianos y en general de textiles técnicos se posiciona como uno de los más prometedores de este sector industrial. Se reporta que, en el 2016 el mercado de antimicrobianos estaba avaluado en US\$ 527.9 millones y se proyecta que para el 2026 alcanzará los US\$ 1076.1 millones, con un crecimiento de cerca del 12% por año (Innovation in textiles, 2017; Santos *et al*, 2016).

Con base en lo antes expuesto, en este artículo se revisan tópicos claves relacionados con los textiles antimicrobianos tales como: tipos de agentes, mecanismos de liberación, métodos de funcionalización, aplicaciones, pruebas de seguridad, inocuidad y calidad. Esperando entonces presentar un panorama tecnológico actualizado que pueda ser de utilidad para el sector textil.

2. METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo, consistente en una revisión de literatura, se empleó un proceso compuesto por las siguientes fases, propuestas por González (2015) y Hernández *et al*. (2014).

a.) Identificación de los temas y subtemas más relevantes: Debido a la creciente demanda de textiles funcionales y particularmente con acabados antimicrobianos, se

estableció la necesidad de conocer y entender aspectos técnicos, tendencias y aplicaciones inherentes a este tipo de materiales.

b.) Definición de palabras claves: Con los temas y subtemas identificados, donde se establecieron palabras clave en inglés como: “fabrics”, “textile”, “antimicrobial”, “antimicrobial agents”, “regulation”, entre otras.

c.) Búsqueda y recolección de la información: Para esta fase se construyeron ecuaciones de búsqueda con las palabras clave seleccionadas y los operadores booleanos, OR y AND). Como restrictor principal se seleccionaron documentos de los últimos 10 años. Se emplearon las bases de datos y motores de búsqueda, Google, Google Scholar, Science Direct, Springerlink, entre otras.

d.) Análisis: Se seleccionaron los resultados relevantes obtenidos desde las búsquedas. Se revisaron los diferentes documentos obtenidos extrayendo de ellos la información requerida.

e.) Difusión: Se espera con este documento, difundir a la comunidad los hallazgos obtenidos desde el proceso de revisión bibliográfica, y que contribuyan como punto de partida para desarrollo de propuestas de investigación.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Textiles antimicrobianos

Se conocen como textiles antimicrobianos aquellos tejidos con la capacidad de evitar la proliferación de microorganismos en sus fibras. Este tipo de productos se obtienen luego de someter al textil a tratamientos o acabados finales en los cuales se adicionan productos químicos reconocidos por su acción nociva sobre diversos tipos de microorganismos. Dependiendo del tipo de agente químico seleccionado, el textil puede adquirir propiedades biocidas (destruye al microorganismo) o biostáticas (inhibe su crecimiento), obteniendo en ambos casos textiles más higiénicos. En general la efectividad de este tipo de textiles depende del agente antimicrobiano usado, la concentración en que es aplicado y el método de aplicación (Hui et al., 2016; Santos et al, 2016).

3.1.1. Agentes antimicrobianos.

Los agentes químicos usados para obtención de textiles antimicrobianos se clasifican en tres grandes grupos: orgánicos sintéticos, orgánicos de origen natural e inorgánicos (Maya et al., 2017). En la Tabla 1 se presentan los de mayor relevancia y se describen algunas de sus características:

Tabla 1
Agentes químicos antimicrobianos más reportados

Agente	Características generales	Efecto sobre los microorganismos	Fibras
Orgánicos sintéticos			
QACs (Compuestos de amonio cuaternario)	Es un surfactante catiónico compuesto de una cadena hidrofóbica y una contraparte hidrofílica, usado por años como agente antiséptico y desinfectante. Actúa contra un amplio grupo de microorganismos bacterias Gram positivas y Gram negativas, hongos y cierto grupo de virus.	Daño en las membranas celulares, desnaturalización de proteínas, ruptura de estructuras celulares.	Algodón Poliéster Nylon Lana
PHMB (Polihexametilen biguanida)	Consiste en una amina policatiónica, con un promedio de 11 unidades de biguanidas. Debido a su alta actividad microbicida y baja toxicidad sobre células animales, ha atraído la atención como acabado para textiles de fibras celulósicas y fibras sintéticas.	Daña la integridad de la membrana celular.	Algodón Poliéster Nylon
N- halaminas	Compuestos heterocíclicos que contienen uno o dos enlaces covalentes formados entre nitrógeno y un halógeno, este último usualmente un cloro. Su mecanismo de acción se debe a la liberación del ion Cl ⁺ en el agua.	Interviene en los procesos metabólicos y enzimáticos de los microorganismos causando su destrucción	Algodón Poliéster Nylon Lana
Triclosan	Es un compuesto fenólico halogenado que hace parte de la familia de los antisépticos y desinfectantes. Inhibe la síntesis de lípidos afectando el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos. Ha sido incorporado durante la extrusión de fibras de poliéster, poliamidas, polipropileno, acetato de celulosa y fibras acrílicas.	En bajas concentraciones tiene efecto bacteriostático bloqueando la biosíntesis de lípidos. Afecta la integridad de la membrana celular.	Nylon, Poliéster Polipropileno Acetato de celulosa Acrílico
Orgánicos de origen natural			
Quitosano	Es un polímero natural no tóxico, biodegradable y biocompatible. Las propiedades antimicrobianas del quitosano se derivan de su naturaleza policatiónica. Se extrae principalmente del exoesqueleto de crustáceos, aunque también podrían usarse cultivos de hongos.	Alto PM: Inhibe la síntesis del RNAm. Bajo PM: Genera filtración de sustancias intracelulares o bloquea el transporte de solutos hacia la célula	Algodón Poliéster Lana

Agentes antimicrobianos naturales: Terpenoides, polifenoles, alcaloides, polipéptidos, taninos	Son compuestos extraídos desde plantas y estudiados de manera extensiva como una alternativa para combatir el crecimiento microbiano en textiles. Al momento se han identificado diferentes compuestos con un amplio espectro de actividad contra diferentes patógenos bacterianos y fúngicos. Sus ventajas: son seguros, disponibles, no tóxicos para la piel y amigables con el ambiente.	No se conocen bien sus mecanismos de acción, pero tienen un amplio espectro de actividad contra diferentes patógenos: hongos y bacterias	Se sugiere el uso de microencapsulación para la fijación en tejidos varios
Inorgánicos			
Metales, sales metálicas, nanopartículas	La mayoría son metales pesados como el zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), oro (Au), titanio (Ti) y principalmente los derivados de la plata (Ag) son tóxicos para los microbios a muy baja concentración, bien en estado libre o en compuestos (óxidos o sales metálicas) tales como: AgCl, TiO ₂ , ZnO, CuO. Estos agentes por lo general tiene actividad biocida.	Daño en la membrana celular, genera especies reactivas de oxígeno (ROS) dañando proteínas, lípidos y el DNA.	Algodón Lana Poliéster Nylon

Fuente: Tomado de: Islam et al. (2017); Hui et al. (2016); Santos et al. (2016); Zhao et al. (2016); Upadhyay et al. (2014); Savoia (2012)

Actualmente existen en el mercado diferentes opciones de agentes químicos antimicrobianos, algunos de ellos se listan en la Tabla 2.

Tabla 2
Agentes antimicrobianos comerciales

Clasificación	Principio activo	Nombre comercial	Compañía
Orgánicos naturales	Quitosano	Cadisoft Confort	Cadesquím S.A
Orgánicos sintéticos	Isotiazolonas y semi acetales	Goldfresh FBL	Golden Tecnología
		Isotiazolinona	Sanitized
	N-(Triclorometilitio)ftalimida	Folpet	Sanitized
	Piritiona de Zinc	Piritiona de zinc	Sanitized
	Copolímero orgánico	Goldfresh BR	Golden Tecnología
	Alcoholes oxietilados	GoFresh AFB	Golden Tecnología

Inorgánicos	Base plata	Casdibac Silver	Cadesquím S.A
	Cloruro de plata	iSys AG®	CHT Bezema
	Sales metálicas	iSys ZNP®	CHT Bezema
	Base plata	Plata	Sanitized
	Iones de plata	CESA® antimicro	Clariant

Fuente: Tomado y modificado de: Maya *et al.*, 2017; Sanitized, 2019

3.1.1.1. Agentes antimicrobianos basados en nanopartículas.

Entre los agentes químicos con actividad antimicrobiana que más llaman la atención de los investigadores, están las nanopartículas, estas corresponden a materiales con dimensiones en la nanoescala (1 -100 nm), cuyo tamaño y consecuente gran área superficial aumenta su actividad catalítica y estabilidad química (Agarwal *et al.*, 2017; Tabrez *et al.*, 2016)

Entre las nanopartículas (NP) con propiedades antimicrobianas se encuentran las de Ag, TiO₂ y ZnO, que pueden ser usadas para evitar el crecimiento tanto de hongos como de bacterias. Las NP de Ag enparticular, tienen un área superficial grande incrementando su contacto con dichos microorganismos. El mecanismo antiséptico de las NP de Ag, está basado en su reactividad sobre proteínas afectando funciones celulares y consecuentemente inhibiendo el crecimiento de las células (Yetisen *et al.*, 2016).

Así mismo el revestimiento de textiles con Np de ZnO ha mostrado propiedades de autolimpieza en presencia de *Escherichia coli* Gram-negativa y *Staphylococcus aureus* Gram positivo aerobio (Yetisen, *et al.*, 2016; Song *et al.*, 2013; Çakır *et al.*, 2012).

Las ventajas de los nanomateriales radican en que puede aportar funcionalidades sin alterar las propiedades de confort de los sustratos o tejidos (transpirabilidad y textura). Estas se deben integrar perfectamente en las fibras manteniéndolas flexibles, cómodas y sin conducir a reacciones alérgicas. Un reto significativo para la industria textil es la permanencia de la funcionalidad por ejemplo por acción del lavado, la nanotecnología puede entonces jugar un papel importante en la introducción de propiedades permanentes (Yetisen, *et al.*, 2016; Avila & Hinestroza, 2008). Otra ventaja interesante de la nanotecnología es que además de actividad antimicrobiana también se pueden obtener textiles hidrófobos, antiarrugas, con comportamiento antiestático y protección UV (Yetisen *et al.*, 2016).

3.3.2. Mecanismos de acción de los agentes antimicrobianos

De acuerdo con Yip & Luk (2016) y Hui *et al.* (2016) los mecanismos de acción de los agentes antimicrobianos desde un textil pueden clasificarse en tres tipos dependiendo de la manera cómo interactúan con los microorganismos:

Mecanismo de liberación controlada: La mayoría de los agentes antimicrobianos actúan a través de una liberación controlada, conocida también como mecanismo de

lixiviación. Generalmente el agente no está químicamente unido a las fibras del tejido y la actividad antimicrobiana se da a través de la liberación gradual del compuesto químico desde el interior de las fibras hacia los alrededores, generalmente en presencia de humedad. Su desventaja radica en que eventualmente los agentes liberados se consumen o agotan, por lo que el acabado no será efectivo en el momento en que el agente este por debajo de las concentraciones mínimas letales o inhibitorias. Algunas sustancias antimicrobianas son lixiviables en agua, lo que implica que al lavar el textil la actividad antimicrobiana cada vez se hace más leve. Para mitigar este inconveniente surge la microencapsulación, una técnica en la cual el agente activo (compuesto químico), puede ser revestido por materiales poliméricos produciendo partículas milimétricas. Este revestimiento le proporciona protección a al agente y conduce a su liberación controlada (Salaün, 2016), permitiendo así su conservación por largos periodos de tiempo incluso después del lavado.

Ligados y/o de barrera: Algunos agentes antimicrobianos pueden estar químicamente unidos por enlaces covalentes al material textil, este tipo de agentes se conocen como antimicrobianos ligados o de barrera. Los acabados de barrera se logran generando un número adecuado de grupos reactivos en el agente antimicrobiano y las fibras, por lo que al aplicar el agente este queda como una película o revestimiento creando a su vez una barrera física inerte sobre el tejido impermeable a los microorganismos. Estos acabados no lixivian a los alrededores y solo controlan microorganismos que se depositan sobre la superficie del textil. Los antimicrobianos de enlace o barrera son más resistentes al lavado frecuente comparado con los acabados antimicrobianos por lixiviación, no obstante, la actividad antimicrobiana eventualmente se reducirá con el desgaste del acabado. El PHMB y el quitosano son los productos antimicrobianos más populares que proveen cubrimientos poliméricos de barrera.

Mecanismo de regeneración: Se aplica a los tejidos que continuamente liberan un agente germicida activo a través de interacciones con algunos productos químicos u otros estímulos externos. El agente antimicrobiano usualmente se regenera durante el lavado o la exposición del tejido a radiación ultravioleta. Un agente con esta propiedad es la N-halamida, la cual se puede regenerar cuando se lava con blanqueador o hipoclorito. Este acabado provee un reservorio ilimitado de agentes bactericidas y es efectivo para microorganismos presentes en la superficie de la fibra, pero no en los alrededores. Adicionalmente si el agente requiere la adición de blanqueador para reactivar la actividad, podrían ocasionarse problemas de decoloración y olores desagradables que traen efectos negativos en la estética y/o apariencia del tejido.

3.3.3. Métodos de aplicación de agentes antimicrobianos en textiles.

La elección de la técnica idónea para lograr los diferentes acabados dependerá del agente activo, el tipo de fibra o el sustrato textil. Usualmente para fibras sintéticas los agentes antimicrobianos son incorporados en el polímero antes o durante su extrusión. Este proceso provee una mayor durabilidad del agente activo ya que este es físicamente embebido en la estructura polimérica de las fibras y su liberación es lenta durante el uso de los tejidos. Este método ha sido adoptado de manera particular para la incorpora-

ción de agentes químicos inorgánicos como sales de plata o nanopartículas (Santos et al, 2016; Yip & Luk, 2016).

Por otro lado, está el método tradicional integrado por las operaciones de impregnación (foulardado o agotamiento), secado y curado. Este es empleado comúnmente para brindar acabados antimicrobianos en tejidos naturales o sintéticos, en especial si el agente es triclosán o PHMB. Otros métodos estudiados en la década reciente son: implementación de soluciones coloidales, modificación química del biocida por la formación de enlaces covalentes con las fibras, polimerización grafting y tecnología sol-gel (Yip & Luk, 2016; Kumar, 2014; Shahidi & Wiener, 2012; Bshena *et al.*, 2011; 30. Simoncic & Tomsic, 2010). Entre las fibras y tejidos con actividad antimicrobiana que se pueden encontrar en el mercado están (Tabla 3):

Tabla 3

Fibras o tejidos comerciales con actividad antimicrobiana

Producto	Descripción	Compañía
Copptech®	Hilos de poliéster, poliamida o nylon con cobre	Copper Andino
Acticoat™ Flex 3	Apósito de poliéster flexible poco adherente recubierto de plata nanocristalina	Smith & Nephew
Bactershield®	Hilos de poliéster funcionalizados con agentes bacteriostáticos	Sinterama
Bioactive®	Fibras de poliéster con plata.	Trevira
Crabyon®	Fibra compuesta de quitosano y viscosa	Swicofil AG

Fuente: Tomado y modificado de: Copper Andina, 2019; Soluciones Hospitalarias, 2019; Santos et al. 2016

3.3.4. Requerimientos generales para los acabados antimicrobianos en textiles

Antes de aplicar un agente antimicrobiano es necesario evaluar si satisface un número de requerimientos delimitados en orden de proveer un óptimo desempeño cuando es aplicado en el textil, a continuación, se presentan algunos (Yip & Luk, 2016):

- Ser efectivo para un amplio rango de microorganismos.
- Baja toxicidad, no debe generar reacciones alérgicas o irritación en el cuerpo.
- Cumplir con los estándares de las pruebas de compatibilidad como: citotoxicidad, irritación, sensibilidad.
- No debe interferir o matar la flora residente de bacterias y hongos no patogénicos de la piel
- Duradero durante los procesos de post-tratamiento de textiles: lavados, secados, limpieza y prensado en caliente
- No tener efectos adversos sobre la calidad del tejido: fuerza, manejo y aspectos de confort
- Compatibilidad con otros procesos químicos o acabados.
- Económicamente viables y amigables con el ambiente, es decir con un mínimo impacto ambiental.

- Cumplir con las regulaciones gubernamentales como las impuestas por la Agencia Europea de Productos Químicos (ECHA) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA). De manera particular en Colombia debe satisfacer la Norma NTC 6238: Etiquetas ambientales Tipo I: Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para materiales textiles.

3.3.5. Pruebas de seguridad y/o calidad.

Así como los agentes antimicrobianos, los textiles una vez funcionalizados deben cumplir con requisitos similares para garantizar su calidad e inocuidad (Bartels, 2011; Gao & Cranston, 2008), es por ello por lo que se han implementado diversos ensayos (Zhao *et al.*, 2016):

Compatibilidad: Debido a que muchos de los textiles antimicrobianos van a tener un contacto con la piel es muy importante garantizar que no sean tóxicos o causen irritación en el consumidor. Dado que los antimicrobianos tienen la capacidad de atacar células bacterianas, es necesario asegurar que no ocurrirá lo mismo con las células humanas. Para la determinación de seguridad biológica sobre la piel se han establecido las siguientes normas (Hilgenberg *et al.*, 2016; Kramer *et al.*, 2006):

- ISO 10993-5: Ensayo para determinar citotoxicidad in vitro: Este ensayo puede realizarse por métodos cualitativos o cuantitativos. En los cualitativos se inspeccionan visualmente los cambios morfológicos de las células cultivadas “in vitro” y la reactividad de las zonas alrededor de textil. En la cuantitativa, se realiza una medición del daño celular vía conteo de células, medición del crecimiento celular, o medición de aspectos metabólicos de las células (cantidad de proteínas y/o expresión de enzimas). Si la reducción de la viabilidad es mayor al 30% en comparación con las células control, se confirma el efecto citotóxico del textil (Hilgenberg *et al.*, 2016; DIN EN ISO 10993-5, 2009).

- ISO 10993-10: Ensayo Irritación en la piel: es muy importante que los químicos de los textiles antimicrobianos no causen irritación en la piel, Para ello se usan pruebas “in vivo” donde se pone el textil en contacto con la piel conejos saludables y luego de cierto tiempo se cuantifica el índice de irritación. Como la piel del conejo puede diferir de la humana, también se realizan pruebas en humanos, pero solo con aquellos textiles que no generaron efectos negativos en la piel del conejo. El textil se declara seguro si da negativo tanto en las pruebas con conejos como en humanos (Hilgenberg *et al.*, 2016; DIN EN ISO 10993-10, 2010).

- Ensayos para la evaluación sobre la microbiota de la piel: En la piel habita cierto grupo de microorganismos como: *Staphylococcus* sp., *Corynebacterium* sp., micrococcus, levaduras y *Propionibacterium* sp (Hilgenberg *et al.*, 2016; Grice & Segre, 2011). Un desbalance en la microbiota podría conducir a una contaminación por patógenos y consecuentemente infecciones de importancia médica. Debido a que los textiles antimicrobianos no diferencian entre microorganismos benéficos y patógenos, es posible que la flora residente de la piel se vea afectada por el contacto con el textil antimicrobiano. Para evaluar esto se desarrolló un ensayo en el que un modelo de piel artificial es contaminado con *Micrococos luteus* y *Staphylococcus epidermis*. Se simula el uso del

textil por un periodo de tiempo y si no hay una reducción significativa en el número de microorganismos el textil es considerado seguro. Una prueba similar se realiza con humanos los cuales son expuestos al textil y luego se determina la cantidad de microorganismos propios de la piel; sin embargo, actualmente no existe una prueba estandarizada (Hilgenberg et al., 2016; Walter et al., 2014; Hoefer & Hammer, 2011).

Durabilidad: Es de interés por los consumidores que la eficiencia en los textiles antimicrobianos adquiridos permanezca constante por el mayor tiempo posible, preferiblemente por el tiempo de vida útil del textil. Esta durabilidad depende entre otros aspectos del método de aplicación del antimicrobiano, estabilidad y concentración (Hilgenberg et al., 2016; Ranganath & Sarkar, 2014; Lorenz et al., 2012). Para evaluar la durabilidad del acabado antimicrobiano se realizan ensayos implementando diferentes ciclos de lavado y tiempo de almacenamiento en el laboratorio. La eficiencia antimicrobiana es determinada al inicio y al final del análisis, si la actividad decrece significativamente se declara una baja durabilidad del acabado antimicrobiano (Hilgenberg et al., 2016).

En cuanto a la prueba de durabilidad al lavado, se debe elegir un ensayo de lavado apropiado, esto dependerá de la aplicación que se vaya a dar al textil, por ejemplo, para ropa de trabajo se recomienda la norma ISO 15797 y para usos menos pesados la ISO 6330 (Hilgenberg et al., 2016; DIN EN ISO 6330, 2013; DIN EN ISO 159797, 2004). En general la actividad antimicrobiana se evaluará hasta después de un máximo de 50 ciclos de lavado (Hilgenberg et al., 2016).

Para la prueba de estabilidad bajo almacenamiento se seleccionan condiciones de la vida real (25°C, 60% de humedad, 13 -36 meses); el proceso sin embargo se puede acelerar bajo las siguientes condiciones: 40°C, 75% de humedad, 3 -9 meses). Como aún no hay normas estandarizadas, para las pruebas de durabilidad el fabricante puede definir los términos, número de ciclos de lavado o condiciones de almacenamiento (Hilgenberg et al., 2016).

Actividad antimicrobiana: Para determinar la actividad antimicrobiana en textiles y por ende garantizar su efectividad como textiles biostáticos o biocidas, se han estandarizado y normalizado diversos ensayos por la organizaciones: American Association of Textile Chemists and Colorist (AATCC), American Society for Testing and Materials (ASTM), Japanese Industrial Standards (JIS) y International Organization for Standardization (ISO). La elección de la norma o ensayo dependerá del tipo de microorganismo que se desea evaluar, mecanismo de acción de los agentes antimicrobianos aplicados y tipo de textil (Hilgenberg et al. 2016; Maya et al., 2017; Zhao et al., 2016). De manera general los ensayos se han dividido en cualitativos y cualitativos.

- Ensayos cualitativos: En este tipo de ensayos las muestras textiles son puestas en íntimo contacto con la superficie de un medio de cultivo sólido el cual previamente ha sido inoculado con una bacteria. Los medios son incubados por periodos de 18- 24 horas a 37°C y la evaluación de la actividad del textil se realiza con base en la aparición de zonas o halos de inhibición y crecimiento debajo del mismo. Los halos de inhibición ge-

neralmente se forman cuando el agente tiene un mecanismo de lixiviación y se difunde por el agar, y su tamaño dependerá de la tasa de liberación del agente y de la potencia de su actividad. Si el agente antimicrobiano está fuertemente ligado al textil (mecanismo de contacto), no se observarán zonas de inhibición. Entre los métodos cualitativos más extendidos se encuentran: JIS L 1902 “Método del halo” para agentes que con mecanismos de lixiviación; AATCC 147 2004 “Método de líneas paralelas” para determinar de forma cualitativa la actividad de agentes con y sin difusividad.

- Ensayos cuantitativos: En los métodos cuantitativos generalmente el textil es inoculado con una solución de células bacterianas. Este es incubado por periodos entre 1 h y 24 h dependiendo de la prueba, y posteriormente mediante diluciones seriales se determina la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) presentes. Por lo general se usa como testigo o blanco un textil sin actividad. La actividad será determinada con base en la cantidad de UFC entre el testigo y el textil bajo análisis. Entre las normas que se pueden usar para la determinación cuantitativa de la actividad antimicrobiana en textiles se encuentran: ASTM E2149; AATCC 100; JIS L 1902; ISO 20743, esta última adoptada por Colombia como la NTC 6174; también se reporta el ensayo AATCC 30 para la evaluación antifúngica. En la Tabla 4 se presentan características específicas para cada prueba.

Tabla 4.

Métodos estandarizados para la evaluación antimicrobiana en textiles

Tipo de prueba	Nombre o norma	Características	Microorganismo usado
Métodos cualitativos	JIS L 1902	Rápido, económico, subjetivo. Se basa en la ausencia o presencia de bacterias bajo el textil o de la formación de halos de inhibición	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	AATCC 147 2004		<i>Staphylococcus aureus</i>
Métodos cualitativos	ASTM E2149	Método de agitación en Erlenmeyer. Rápido, solo adecuado para agentes con mecanismo por contacto, sin lixiviación	<i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Escherichia coli</i> .
	AATCC 100	Método de inoculación por absorción; uso de medios ricos en nutrientes y alta humedad. Se analiza una sola muestra	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
	JIS L 1902	Método de inoculación por absorción, se usa medios de cultivo con bajas concentraciones en nutrientes. Se analiza la muestra por triplicado	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>

Método semicuantitativo	ISO 20743	Platea tres métodos de inoculación: absorción, transferencia e impresión. Se usan medios de cultivo bajos en nutrientes. Se realiza por triplicado	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Staphylococcus aureus</i>
	AATCC 30	Se plantean cuatro métodos: pruebas I y II para la evaluación la susceptibilidad del textil a la aparición de mohos. Pruebas III y IV para la evaluación de la actividad antifúngica en textiles hidrofóbicos e hidrofílicos respectivamente. En la prueba III se usan medios de cultivo sólido y en la IV suspensiones líquidas de esporas.	<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium varians</i> <i>Trichoderma viride</i>

Fuente: Tomado de: HeiQ Materials (2010); Hilgenberg et al. (2016); Zhao et al. (2016); AATCC (2004), AATCC (2008); AATCC (2011); ASTM International (2014); Japanese Industrial Standard, (2008); International Standard (2007).

3.3.6. Aplicaciones de los textiles antimicrobianos

Aunque su rango de aplicación se extiende a varios sectores, de hecho, cualquier persona del común puede usar este tipo de productos, destacan (Fijan & Turk, 2012; Gao & Craston, 2008; Kumar, 2014; Lazary et al., 2014; Maya et al, 2017; Winder et al., 2013):

Sector deportivo: De manera particular las prácticas deportivas generan una alta cantidad de humedad, temperatura y nutrientes del sudor, todos estos factores que conducen al desarrollo de microorganismos. En este sector se usan textiles antimicrobianos para la elaboración de ropa exterior e interior.

Sector salud: Los médicos y en general los establecimientos de salud están en permanente contacto con microorganismos patógenos lo que hace susceptibles a médicos y pacientes al contagio de enfermedades nosocomiales causadas por especies como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*. Se pueden usar textiles antimicrobianos en uniformes, batas, cortinas, textiles de mobiliario, etc.

Sector defensa: Los militares y policías permanecen por largos periodos en ambientes hostiles, con climas variados y húmedos, y usando los mismos uniformes, esto los hace susceptibles a la contaminación y proliferación de microorganismos. En este sentido el sector defensa se vio en la necesidad de implementar textiles antimicrobianos para la fabricación en uniformes, sábanas, ropa interior, toallas y equipos de campaña garantizando condiciones más higiénicas para su personal.

Sector ambiental: En este sector se han implementado textiles antimicrobianos para la elaboración de sistemas de purificación de agua.

Industria de alimentos: Esta industria se caracteriza por la necesidad de mantener y garantizar condiciones de asepsia durante sus procesos productivos, por lo que se pueden emplear textiles antimicrobianos en la fabricación uniformes, mobiliario, etc, con el fin de reducir la proliferación de microorganismos.

Hogar y sector hotelero: Tanto en el hogar como en el sector hotelero los procesos de limpieza y desinfección son primordiales, no obstante, esto conduce a altos niveles de consumo de agua y detergentes. Se considera que los textiles antimicrobianos implementados en lencería para el hogar y mobiliario pueden ser un nuevo acercamiento para la reducción de la contaminación ambiental ya que los elementos no requerirían lavarse con frecuencia.

4. CONCLUSIONES

Los textiles antimicrobianos por sus múltiples beneficios (control de malos olores, control de infecciones, evitar el deterioro de los tejidos, entre otros), se están posicionando como una materia prima interesante para la elaboración de productos con aplicación en diversos sectores industriales. Se pueden obtener mediante la aplicación de diferentes agentes químicos, por lo que sus mecanismos de acción y aplicación pueden ser variados. No obstante, es necesario garantizar, antes de su implementación en el mercado, el cumplimiento de un delimitado número de criterios de seguridad, inocuidad y calidad con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios.

Se considera que el desarrollo de textiles antimicrobianos y en general de textiles técnicos es un área a la que debe apuntar la industria textil colombiana; en esta las empresas tienen oportunidad de encontrar nuevas posibilidades para innovar y presentar en sus portafolios, productos de vanguardia que les permitan competir con un sector cada vez más globalizado.

Agradecimientos: Se agradece de manera especial a Yuliana Cadavid y Daniel Campo por el acompañamiento y apoyo permanente en la ejecución de los proyectos de investigación aplicada SENNOVA 2018 y 2019 enmarcados en la temática “Textiles Antimicrobianos”. Así mismo al Centro Textil y de Gestión Industrial y al Área de Química, Textil y Producción por poner a disposición los espacios necesarios para el desarrollo experimental inherente a los proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- AATCC. (2004). *AATCC 30: Antifungal activity, assessment on textile materials: mildew and rot resistance of textile materials*. American Association of Textile Chemists and Colorists Durham.
- AATCC. (2008). *AATCC Test Method 100-2004, Antibacterial Finishes on Textile Materials*. American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC Technical Manual
- AATCC (2011). *AATCC Test Method 147-2011. Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: Parallel Streak Method*. American Association of Textile Chemists and Colorists, AATCC Technical Manual
- Agarwal, H., Venkat Kumar, S., & Rajeshkumar, S. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles – An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.03.002>
- ASTM International (2014). ASTM E2149 -13 a. Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions.
- Avila, A. G. & Hinestroza, J. P. (2008). Smart textiles: Tough cotton. *Nature Nanotechnology*. 3, 458-459.
- Bartels, V. (2011). *Handbook of Medical Textiles*; Elsevier: Cambridge, UK
- Bshena, O.; Heunis, T.D.; Dicks, L.M. & Klumperman, B. (2019). Antimicrobial fibers: Therapeutic possibilities and recent advances. *Future Medical Chemistry*, 3, 1821–1847.
- Çakır, B. A.; Budama, L.; Topel, Ö.; Hoda, N. (2012). Synthesis of ZnO nanoparticles using PS-b-PAA reverse micelle cores for UV protective, self-cleaning and antibacterial textile applications. *Colloids And Surface*, 414, 132-139
- Copper Andino (2019). *Copper Andino*. Recuperado de: <http://www.copperandino.com/>
- DIN EN ISO 10993-10, (2010). *Biologische Beurteilung von Medizinprodukten – Teil 10: Prüfungen auf Irritation und Hautsensibilisierung*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 10993-5, (2009). *Biologische Beurteilung von Medizinprodukten – Teil 5: Prüfungen auf In-vitro-Zytotoxizität*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 15797, (2004). *Textilien – Industrielle Wasch- und Finishverfahren zur Prüfung von Arbeitskleidung*. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 6330, (2013). *Textilien – Nichtgewerbliche Wasch- und Trocknungsverfahren zur Prüfung von Textilien*. Beuth-Verlag, Berlin.
- Fijan, S. & Turk, S.S., (2012). Hospital textiles, are they a possible vehicle for healthcareassociated infections. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9 (9), 3330–3343.
- Gao, Y., & Cranston, R. (2008). Recent Advances in Antimicrobial Treatments of Textiles. *Textile Research Journal*, 78(1), 60–72. <http://doi.org/10.1177/0040517507082332>
- Grice, E.A., Segre, J.A., (2011). The skin microbiome. *Nat Rev Microbiol*, 9 (4), 244–253.
- González, A & David, G.D (2015). *Guía Práctica Innovitech, Vigilancia Tecnológica para la Innovación*. SENA.
- HeiQ Materials AG. (2010). *Technical Briefing Document*. Antimicrobial Testing. Quantitative Test Methods.

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.). México: McGraw Hill Education.
- Hilgenberg, B., Prange, A. & Vossebein, L. (2016). Testing and regulation of antimicrobial textiles. Capítulo 2. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226-245) Cambridge: Elsevier.
- Hoefer, D., Hammer, T.R., (2011). Antimicrobial active clothes display no adverse effects on the ecological balance of the healthy human skin microflora. *ISRN Dermatol*:369603.
- Hui, X., Zhu, H., & Sun, G. (2016). Antimicrobial textiles for treating skin infections an atopic dermatitis. Capítulo 15. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226 – 245) Cambridge: Elsevier.
- Innovation in textiles. (2017). *Antimicrobial textiles market to reach \$1,076.1 million*. Recuperado de <https://www.innovationintextiles.com/antimicrobial-textiles-market-to-reach-10761-million>
- International Standard (2007). ISO 20743 Determinación de la actividad antimicrobiana en productos con acabados antimicrobianos. ISO 20743:2007 (E)
- Islam, S., Shabbir, M & Mohammad, F. (2017). Insights into the functional finishing of textile materials using nanotechnology. En Subramanian, S. *Textiles and Clothing Sustainability. Nanotextiles and Sustainability*. (p. 97-115) Hong King: Ed. Springer
- Japanese Industrial Standard (2008). JILS 1902 Testing for antibacterial activity and efficacy on textiles products. ICS 07.100.99; 59.080.01.
- Kramer, A., Guggenbichler, P., Heldt, P., Jünger, M., Ladwig, A., Thierbach, H., *et al.*, (2006). Hygienic relevance and risk assessment of antimicrobial-impregnated textiles. *Current Problems in Dermatology*, 33, 78–109.
- Kumar, R.S. (2014). *Textil for industrial applications*. New York. CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Lazary, A., Weinberg, I., Vatine, J.-J., Jefidoff, A., Bardenstein, R., Borkow, G., *et al.*, (2014). Reduction of healthcare-associated infections in a long-term care brain injury ward by replacing regular linens with biocidal copper oxide impregnated linens. *International Journal of Infectious Diseases*, 24, 23–39.
- Lorenz, C., Windler, L., von Goetz, N., Lehmann, R.P., Schuppler, M., Hungerbühler, K., *et al.*, (2012). Characterization of silver release from commercially available functional (nano)textiles. *Chemosphere*, 89(7), 817–824.
- Maya, M. P., González, E.L., & Restrepo, O.A. (2017). Compuestos antimicrobiales para textiles y sus métodos de caracterización. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31), 33–54. <http://doi.org/10.22395/rium.v16n31a2>
- Norma Técnica Colombiana (2016). NTC 6174 Determinación del a actividad antibacteriana en productos textiles. I.C.S: 59.080.01; 07.100.99
- Ranganath, A.S., Sarkar, A.K. (2014). Evaluation of durability to laundering of triclosán and chitosan on a textile substrate. *J Tex* 812303.
- Salaün, F. (2016). Microencapsulation technology for smart textile coatings. *Active Coatings for Smart Textiles*, 179–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100263-6.00009-5>
- Savoia, D (2012). Plant-derived antimicrobial compounds: Alternatives to antibiotics. *Future Microbiology*. 7, 979–990

- Sanitized (2019). *Snitized*. Recuperado de: <https://www.sanitize.d.com/es/>
- Santos, D., Guedes, R. M., & Lopes, M. A. (2016). Antimicrobial approaches for textiles: From research to market. *Materials*, 9(6), 1–21. <http://doi.org/10.3390/ma9060498>
- Shahidi, S. & Wiener, J. (2012). Antimicrobial Agents—Chapter 19. En: *Antibacterial Agents in Textile Industry*; InTech: Rijeka, Croatia.
- Simoncic, B. & Tomsic, B. (2010). Structures of novel antimicrobial agents for textiles-A review. *Textile Research Journal*. 80, 1721–1737.
- Soluciones Hospitalarias (2019). *ACTICOAT™ FLEX 3*. Recuperado de: <http://www.shospitalarias.com.ar/images/productos/apositos/acticoat/Acticoat-Flex.pdf>
- Song, J.; Wang, C.; Hinestroza, J. P. (2013). Electrostatic assembly of core-corona silica nanoparticles onto cotton fibers. *Cellulose*, 20, 1727-1736
- Subramanian, S. (2016). *Textiles and Clothing Sustainability*. Singapore: Springer (Vol. 3). <http://doi.org/10.1007/978-981-10-2188-6>
- Tabrez, S., Musarrat J. & khedairy, A.A, (2016). Colloids and surfaces B: biointerfaces countering drug resistance, infectious diseases, and sepsis using metal and metal oxides nanoparticles: current status. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 146, 70–83, doi:10.1016/j.colsurfb.2016.05.046.
- Upadhyay, A.; Upadhyaya, I.; Kollanoor-Johny, A. & Venkitanarayanan, K. (2014). Combating pathogenic microorganisms using plant-derived antimicrobials: A minireview of the mechanistic basis. *BioMed Research International*, 2014, 761-741.
- Walter, N., McQueen, R.H., Keelan, M., (2014). In vivo assessment of antimicrobial-treated textiles on skin microflora. *Int J Cloth Sci Technol*, 26(4), 330-342.
- Windler, L., Height, M. & Nowack, B. (2013). Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications. *Environment International – Journal*. 53, 62–73.
- Yip, J. & Luk, M.Y. (2016). Microencapsulation technologies for antimicrobial textiles. Capítulo 3. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p. 226-245) Cambridge: Elsevier.
- Yetisen, A. K., Qu, H., Manbachi, A., Butt, H., Dokmeci, M. R., Hinestroza, J. P., ... Yun, S. H. (2016). Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, 10(3), 3042–3068. [https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176](https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b08176)
- Zhao, Y., Xu, Z., Lin, T. (2016). Barrier textiles for protection against microbes. Capítulo 12. En: Sun, A. *Antimicrobial Textiles*. (p.226-245) Cambridge: Elsevier.

Estandarización de una bebida deslactosada a base de suero dulce de leche saborizado con pulpa de mora

Jamer Manuel Amador Villalba,^a Alexis Adrián Andreus González,^a
Cesar Augusto Arredondo Mejía,^a Carlos Andrés Rendón Ceballos,^a
Elizabeth Barrera Bello,^b Claudia Jiménez Argumedo^b

^a SENA, Aprendices del Programa Tecnólogo en Procesamiento de Alimentos del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, pertenecientes al Semillero de investigación de Agropecuaria y Agroindustria-SIAGRO, jmamador3@misena.edu.co, aandrus@misena.edu.co, carredondo@misena.edu.co, carendon94@misena.edu.co

^b SENA, Instructoras del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA vinculadas al Semillero de investigación de Agropecuaria y Agroindustria-SIAGRO, ebarrerab@misena.edu.co, cpjimenez356@misena.edu.co

Resumen

El suero es un subproducto lácteo que se obtiene por la precipitación de la caseína en la producción de quesos, contiene alrededor del 50% de los sólidos de la leche. Durante muchos años se consideró como un desperdicio, siendo empleado principalmente para engorde de animales o vertido a corrientes de agua, sin embargo, este punto de vista ha cambiado debido a que este subproducto es una fuente rica de carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y compuestos biológicamente activos y cada uno de ellos pueden ser aprovechados de agroindustrialmente (Poveda Elpidia, 2013). Es por esto, que el objetivo de esta investigación fue estandarizar una bebida a base de lactosuero saborizada con pulpa de mora y deslactosada a través de hidrólisis enzimática, mediante el uso de 2 formulaciones (F1 y F2). Se realizó una prueba evaluación sensorial de cada formulación, para establecer la mejor relación lactosuero/pulpa, una vez seleccionada la formulación de preferencia (F1) se realizó el perfil de sabor, la caracterización fisicoquímica (°Brix [refractometría], % Acidez titulable expresada en ácido láctico, pH [potenciometría] y punto crioscópico), y microbiológica según la normativa nacional. Se reportó que la formulación F1 presentó un nivel de preferencia del 94%, sus valores fisicoquímicos y microbiológicos para el día 7 de elaboración cumplieron con los requisitos establecidos en la NTC 1419/2004 y la Resolución 3929/2013, es decir que la bebida estandarizada deslactosada a base de lactosuero y saborizada con pulpa de mora es apta para el consumo y no representan ningún riesgo a la salud pública; considerando viable el aprovechamiento del lactosuero en la preparación de derivados agroindustriales

Palabras clave: Lactosuero, Bebida láctea, Punto crioscópico, Subproducto.

1. INTRODUCCIÓN

El lactosuero es el principal subproducto del proceso de producción del queso, durante muchos años, sus alternativas de producción no fueron consideradas con atención (Posada, Terán, & Ramírez, 2011). Los estudios recientes indican la teoría que las proteínas de la leche, incluidas las del suero, además de su alto valor biológico, poseen péptidos bioactivos, los cuales actúan como agentes antimicrobianos, y reguladores de la función inmune (Haraguchi, Abreu, & De Paula, 2006).

Además, el lactosuero contiene minerales como potasio, sodio, fósforo, calcio y magnesio, también presenta vitaminas pertenecientes al grupo B, dentro de las que se destaca la tiamina, el ácido pantoténico, el ácido nicotínico y cobalamina. Otro de los constituyentes del suero es la lactosa, que es un disacárido compuesto por glucosa y galactosa. Se puede concluir de diferentes investigaciones que el suero se puede emplear en diversos productos por su valor nutricional, presentando mayores ventajas procesarlo que convertirlo en un residuo que se vierte en fuentes hídricas (Londoño, M; Sepúlveda, J; Hernández, A y Parra, J, 2008).

Según Contextoganadero (2018) Fedegán reporto que la producción de leche en Colombia, para el año 2017 fue de 7.094 millones de litros y aproximadamente un 20% (1.419 millones de litros) se destinó a la producción de quesos lo que quiere decir que la producción nacional de suero corresponde a 1.271 millones de litros (MINAGRICULTURA, 2016).

En Colombia el lactosuero que se obtiene como residuo de la elaboración de quesos es subutilizado por las empresas lácteas, debido a que desconocen otras alternativas de aprovechamiento. El uso más común es regalarlo para engorde de animales o verterlo en corrientes de agua (Martínez, A., 2012). Cuando se vierte este residuo en corrientes de agua es consumido por bacterias y otros microorganismos debido a su valor nutricional, los cuales transforman la materia orgánica cuando el agua se queda sin oxígeno, en compuestos que descienden el pH del agua y generan malos olores. La demanda biológica del lactosuero es de 40000 a 50000 de O₂ mg/L, este parámetro se tiene en cuenta para medir la cantidad de dioxígeno que degrada la materia orgánica en una muestra líquida, es por esta razón que cuando se vierte suero en el agua causaría la muerte de todos los peces contenidos en ella. (Londoño M., *et al.*, 2008).

Actualmente se pueden encontrar varios tipos de bebidas que se desarrollan a base de lactosuero, no obstante, los cuatro tipos más comunes son los siguientes: Bebidas de lactosuero tipo jugos de frutas, bebidas tipo lácteo, bebidas tipo carbonatadas refrescantes y bebidas basadas en lactosuero y otros constituyentes (Martínez, A., 2012).

El aprovechamiento del suero representa una ventaja para las empresas lácteas, puesto que con esto se disminuiría el impacto ambiental que representa el vertido de este producto y además se tiene la posibilidad de procesarlo generando productos con valor agregado y presentando una alternativa de consumo a personas con intolerancia a la lactosa (Martínez, A., 2012). De aquí se plantea el objetivo general de esta investiga-

ción que es desarrollar una bebida deslactosada a partir del suero dulce de leche con pulpa de mora

2. METODOLOGÍA

El tipo de investigación empleado es aplicada y experimental y se tuvo como referencia la metodología planteada por Martínez (2012) en su tesis de maestría. Las fases para la ejecución del proyecto se describen a continuación:

Recolección de lactosuero fresco y pulpa de mora: El lactosuero fue recolectado en una empresa procesadora de derivados lácteos del Municipio de Rionegro -Antioquia, en recipientes limpios y estériles el mismo día de su elaboración y fue refrigerado inmediatamente a $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ para su posterior procesamiento. La pulpa congelada de mora se compró en el mercado local de Rionegro, en presentación comercial de 1Kg empacada en Bolsa de polietileno de baja densidad coextruido, calibre 4. La pulpa congelada de mora presentaba las siguientes características:

- **Aroma:** Intenso y característico de la mora madura y sana.
- **Color:** Intenso y homogéneo, característico de la mora.
- **Sabor:** Característico e intenso de la mora madura y sana. Libre de cualquier sabor extraño.
- **Apariencia:** Uniforme, libre de materiales extraños.

Caracterización fisicoquímica de la materia prima: El lactosuero de queso fresco y la pulpa de mora fueron sometidos a análisis fisicoquímicos como acidez (A.O.A.C. 947.05/90), pH (A.O.A.C. 981.12/90) y sólidos Solubles (A.O.A.C. 932.12/90). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Hidrólisis del lactosuero fresco: El lactosuero fue filtrado y luego pasteurizado a una temperatura de 75°C / 30 minutos con posterior enfriamiento hasta 10°C , luego se adicionó el estabilizante (tripolifosfato de sodio) al 0.04% disuelto en 50 mL de suero, e inmediatamente se agregó la enzima comercial (β -galactosidasa) directamente al lactosuero a diferentes concentraciones en mL/L: 1,2 mL/L (T1) 2,8 mL/L (T2) y 4,4 mL/L (T3) y sin lactasa (T0), con agitación intermitente por un período de 10 horas. Pasadas las 10 horas, las muestras fueron sometidas a un tratamiento térmico de $85^{\circ}\text{C}/1\text{ min}$ para inhibir la enzima β -galactosidasa y refrigeradas a $4\pm 2^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se realizó la medición del punto crioscópico por triplicado para cada tratamiento (antes y después del proceso de hidrólisis) para así determinar la mejor relación de mL de enzima y % de hidrólisis mediante el cambio en el punto crioscópico de cada tratamiento, a este suero deslactosado también se analizaron características fisicoquímicas como pH (A.O.A.C. 981.12/90), acidez titulable (A.O.A.C. 947.05/90) y solubles (A.O.A.C. 932.12/90) (Martínez, A, 2012).

Elaboración de la bebida deslactosada a base de lactosuero y saborizada: Para la formulación de la bebida deslactosada a base de lactosuero y saborizada se analizaron 2 formulaciones F1 (70/30) y F2 (50/50) de lactosuero deslactosado y pulpa de mora

respectivamente, a cada formulación se le adiciono azúcar y pectina de bajo metoxilo teniendo en cuenta que los °Brix finales fueran 14. Luego se sometieron a pasteurización rápida a 75°C/15seg, y posterior enfriamiento a 4±2°C. A las 2 formulaciones se le evaluaron la acidez, pH, sólidos solubles, posterior envasado y conservado en condiciones de refrigeración.

Análisis sensorial: Se realizó una evaluación sensorial de cada formulación, para establecer la mejor relación lactosuero/pulpa usando prueba descriptiva “Prueba de preferencia pareada” (Ramírez-Navas, 2012) empleando 76 consumidores no entrenados, edades comprendidas entre 15 y 50 años, masculino y femenino y de diferentes ocupaciones (funcionarios, estudiantes, personal de seguridad, entre otros). También se le realizó el perfil de sabor de la formulación seleccionada en la prueba de preferencia según lo establecido por la NTC 4934 (ICONTEC, 2001).

Análisis microbiológicos: A la formulación seleccionada se realizaron recuento de Mesófilos aerobios, Coliformes, E.Coli, Salmonella y mohos y levaduras, los días 0 y 7, según la NTC 1419 (ICONTEC, 2004) y la Resolución 3929 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).

Análisis estadístico: La información obtenida por triplicado, fue tabulada y evaluada a través de estadística descriptiva.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de recolectadas las materias primas y llevadas al taller de agroindustria, se procedió a su caracterización fisicoquímica (figura 1), obteniéndose los resultados presentados en las Tabla 1.

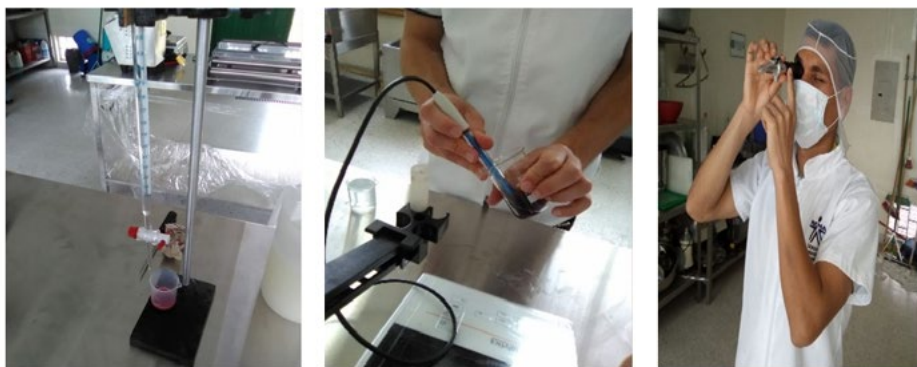


Figura 1. Medición parámetros fisicoquímicos

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 1
Caracterización fisicoquímica de la materia prima

	Lactosuero fresco		Pulpa de mora congelada	
	Normativa	Análisis	Normativa	Análisis
°Brix	6,30	6,47 ± 0,06	6,3	7 ± 0,03
Ph	≥ 6	6,66 ± 0,2	2,66	2,98 ± 0,01
Acidez (% ácido láctico)	0,04 max.	0,10 ± 0,03	-	-
Acidez (%ácido málico)	-	-	3,4 max.	2,81 ± 0,07

Fuente: Elaboración propia (2019)

La medición de pH no se tiene contemplado es las especificaciones exigidas por el Ministerio salud en la Resolución 02310/86, sin embargo, según Amiott (1991) citado por Alava, Gómez, & Maya (2014) clasifica al suero como suero dulce cuando presenta un pH próximo a 6,2, también afirma que valores de pH en suero mayores a 6.0 son característicos de sueros dulces obtenidos por coagulación enzimática de la leche (pág. 24). Con respecto al valor de pH obtenido en el presente estudio ($6,66 \pm 0,5$) es cercano al de la leche fresca (6,60) lo que obedece seguramente a que dicho suero proviene de un queso fresco elaborado con leche pasteurizada, sin adición de cultivos lácticos, además el valor de pH obtenido es similar al estudio realizado por Martínez (2012), el cual fue de 6,58 y la investigación de Alava et al (2014) de 6,52 respectivamente.

Con respecto a la acidez se obtuvo en promedio un valor de 0.10% ácido láctico, este valor está dentro del parámetro referenciado por el Ministerio de Salud en Colombia que es máximo de 0.4% ácido láctico. La acidez del suero depende del tipo de queso que se haya elaborado y de los acidulantes empleados en el proceso de coagulación (Alava et al. 2014). A partir del resultado obtenido se determina que cumple con lo estipulado en la Resolución 2310/1986 en el artículo 52 y es similar al resultado alcanzado por Martínez (2012) (0,11%) y por Alava et al (2014) (0,08% y 0,09%).

Con respecto al valor arrojado de sólidos solubles se tiene es similar al reportado por Martínez (2012) el cual reporto un valor de 6,83.

Los valores que se obtuvieron de la caracterización fisicoquímica de la pulpa de mora congelada corresponden a los estipulados en la NTC 4106 (Icontec, 1997) para un estado de madurez entre 3 y 4 y son similares a los obtenidos en estudio de (Ayala, Valenzuela, & Bohórquez, 2013) que fueron 2,83% ácido málico, pH de 2,7 y 7,4°Brix, lo que denota la calidad física de la pulpa.

Después del proceso de pasteurización del suero, se procedió con la hidrólisis enzimática del mismo por razones relacionadas con la nutrición (intolerancia a la lactosa) y conveniencia sensorial (incremento del dulzor) (Martínez, A., 2012), se realizó medición del punto crioscópico antes y después de proceso de hidrólisis (figura 2 y 3) para evaluar

la variación del mismo, empleando un Crioscopio Cryostar Automático para medición automática con Impresora Térmica conectada directamente al Crioscopio, este equipo fue facilitado por la misma empresa que proveía el suero. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.



Figura 2. Crioscopio
Fuente: Registro SENA



Figura 3. Medición punto crioscópico
Fuente: Registro SENA

Tabla 2

Cambios del punto crioscópico durante el proceso de hidrólisis

Tratamiento	Punto crioscópico antes de la hidrólisis	Punto crioscópico después de la hidrólisis
T0	-0.5363 ± 0,005	-0.5363 ± 0,005
T1	-0.5363 ± 0,005	-0.8915 ± 0,004
T2	-0.5363 ± 0,005	-0.9355 ± 0,003
T3	-0.5363 ± 0,005	-0.9184 ± 0,006

Fuente: Elaboración propia (2019)

Según lo observado en la Tabla 2, durante la hidrólisis se presentó una disminución del punto crioscópico, esto debido a que se origina ruptura del disacárido lactosa en azúcares simples como es glucosa y galactosa y presentando aumento en la concentración de sólidos que está ligado con el punto de congelación del suero (Martínez, 2012).

Como T2 fue el que presentó mayor descenso del punto crioscópico se determina que es el tratamiento con mayor grado de hidrólisis a las 10 horas bajo las condiciones establecidas, por tal motivo, se selecciona este tratamiento para la elaboración del lactosuero deslactosado el cual será utilizado como base para las formulaciones de la bebida a base de lactosuero. La caracterización fisicoquímica del lactosuero con T2 se muestra a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3
Caracterización fisicoquímica del suero hidrolizado (T2: 2,8mL/L)

	Lactosuero hidrolizado
°Brix	7,1 ± 0,06
pH	6,59 ± 0,08
Acidez (%ácido láctico)	0,10 ± 0,006

Fuente: Elaboración propia (2019)

El porcentaje de acidez no presentó ninguna variación después del proceso de hidrólisis con respecto al lactosuero fresco, el pH tuvo una variación muy pequeña de 0,075, esto se atribuye a la adición del estabilizante tripolifosfato de sodio el cual ayuda a regular la acidez, aditivo legalmente permitido según la NTC 3856 (Icontec, 2004) para productos lácteos. Mientras que los sólidos solubles presentaron un aumento de 6,5 a 7,1 debido al proceso de hidrólisis de la lactosa, en el cual se produce galactosa y glucosa.

En el proceso de elaboración de la bebida deslactosada a base de lactosuero y saborizada, se llevaron a cabo 2 formulaciones, una que contenía una relación 70/30 lactosuero/pulpa (F1) (figura 4) y la otra 50/50 lactosuero/pulpa (F2) (figura 5). Los resultados fisicoquímicos de las 2 formulaciones se pueden observar en la Tabla 4.


Figura 4. Formulación 1 (F1)

Fuente: Registro SENA


Figura 5. Formulación 2 (F2)

Fuente: Registro SENA

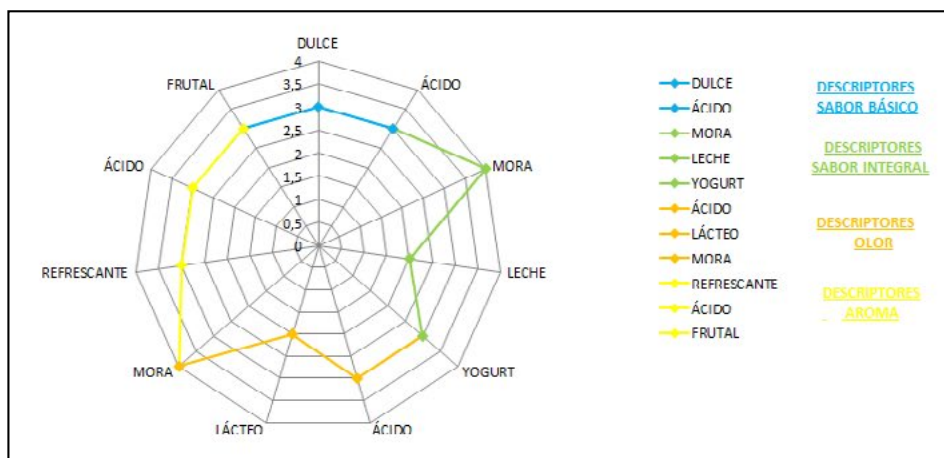
Tabla 4
Características fisicoquímicas de las bebidas con adición de pulpa de mora

Parámetro	F1	F2
°Brix	13,9	14,7
Acidez (% ácido láctico)	0.63 ± 0,02	0.81 ± 0,01
pH	3,91	3,34

Fuente: Elaboración propia (2019)

A partir de los datos de la Tabla 4 se puede notar que los grados brix de ambas formulaciones aumentaron con respecto al lactosuero fresco después del proceso de hidrólisis, esto debido a la adición de la sacarosa en las formulaciones. Así mismo el pH y la acidez presentan variación (disminución y aumento respectivamente) debido a la adición de la pulpa de mora.

A las 2 formulaciones se les realizó una prueba de preferencia con 76 consumidores no entrenados, arrojando un 94% de preferencia para la formulación F1 con respecto a un 6% para F2. Consecuentemente se elige la F1 para realizar la prueba de perfil de sabor la cual fue desarrollada en el Taller de Agroindustria. Subsede La Ceja del Centro de la Innovación, la Agroindustria y Aviación (CIAA) SENA. La prueba se realizó en horas de la tarde aproximadamente a las 02:15 pm, evaluado por 15 Aprendices SENA en Entrenamiento. La muestra se sirvió en un vaso de Polietileno de Baja Densidad (PEBD 4) de 3.5 oz con 50 mL de Muestra, la cual estaba codificada con el código 0320 y acompañada de una servilleta. Después del análisis de intensidad y amplitud se obtuvieron los resultados de las Figuras 6 y 7 respectivamente.


Figura 6.. Evaluación de Intensidad de la muestra

Fuente: Elaboración propia (2019)

Después de analizar la bebida con la formulación F1, los jueces concluyen que la Intensidad del Sabor Básico Ácido es moderado; que el sabor integral mora es el que más se identifica con un valor de descripción fuerte, seguido de yogur con moderado y el sabor integral leche con ligero. En cuanto al descriptor del olor a mora presentó una intensidad fuerte, seguida del olor ácido con moderado y olor lácteo ligero. Con respecto a la intensidad de los aromas los descriptores refrescante, ácido y frutal fueron evaluados como moderados. Así mismo los jueces concluyen que la Intensidad del Retrogusto en la Bebida es Refrescante.

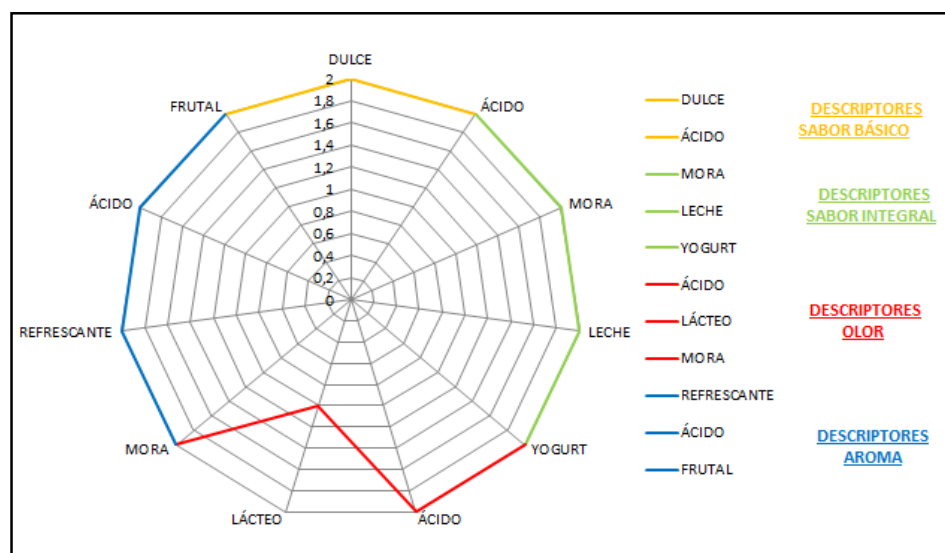


Figura 7. Evaluación de la amplitud de la muestra

Fuente: Elaboración propia (2019)

Los jueces también analizaron la amplitud de los descriptores concluyendo que la bebida con formulación F1 presentó una amplitud del sabor básico dulce y ácido de media; en el sabor integral mora, leche y yogurt de media. En la amplitud del olor a ácido y a mora de media, seguido del olor lácteo bajo. Así mismo el aroma a refrescante, ácido y frutal presentó una amplitud media.

Una vez seleccionada la formulación F1 y caracterizada fisicoquímica y sensorialmente se realizó análisis microbiológicos a la bebida deslactosada a base de lactosuero y saborizada con pulpa de mora, obteniéndose los resultados de la Tabla 5.

Tabla 5
Resultados microbiológicos de la bebida deslactosada y saborizada (F1).

Requisito microbiológico	Normativa NTC 1419/2004	Normativa Res 3929/2013	Resultado día 0	Resultado día 7
Recuento de aerobios mesófilos UFC/mL	30 000 – 50 000	500 - 800	< 10	< 10
Recuento de E.coli UFC/mL	< 1	< 10	< 10	< 10
Recuento de coliformes UFC/mL	1 – 10	-	< 10	< 10
Detección de Salmonella/ 25g	0	-	Ausencia	Ausencia
Recuento de mohos y levaduras UFC/mL	-	100 - 200	160	180

Fuente: Elaboración propia (2019)

La bebida deslactosada a base de lactosuero y saborizada con pulpa de mora después de 7 días de elaboración cumple con los requisitos microbiológicos establecidos en la NTC 1419/2004 y la Resolución 3929 de 2013, es decir es apta para el consumo y no representan ningún riesgo a la salud pública. Cabe resaltar que dentro de la formulación no se incluyeron conservantes.

4. CONCLUSIONES

La concentración de enzima que presentó la mejor hidrólisis con respecto al punto crioscópico fue la T2 con 2,8 mL/L, ya que obtuvo mayor descenso del punto, indicando así la mayor concentración de monosacáridos con respecto a los otros tratamientos. En cuanto a la estandarización de la formulación la que presento mayor porcentaje de preferencia entre los consumidores fue la F1, que contiene 70% suero deslactosado y 30% pulpa de mora congela, logrando un producto con características organolépticas agradables indicado por un nivel de preferencia del 94%, con comentarios por parte de los jueces tales como, sabor agradable, color característico de la pulpa de mora y olor frutal.

Se logró determinar que formulación seleccionada cumple con los requisitos microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en la normatividad colombiana en el día 7, se recomienda realizar por más días la caracterización microbiológica, fisicoquímica y sensorial para así determinar el tiempo de vida útil de la formulación.

Se considera factible el aprovechamiento del lactosuero en la producción de derivados agroindustriales debido a que es fuente de aminoácidos esenciales, de proteínas para la defensa contra infecciones microbianas, elevado contenido de minerales donde sobresale el potasio, calcio, fósforo, sodio y magnesio, y además puede reducir el impacto ambiental por la disposición de este subproducto y los posibles sobrecostos para las empresas generadoras de este subproducto.

REFERENCIAS

- Alava, C., Gómez, M., & Maya, J. (Enero-diciembre de 2014). Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1, 22-32. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.110>
- Amiott, J. (1991). *Ciencia y tecnología de la leche*. Zaragoza, España: Acribia.
- Ayala, L., Valenzuela, C., & Bohórquez, Y. (Julio-diciembre de 2013). Caracterización fisicoquímica de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) en seis estados de madurez. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 10-18. Obtenido de <http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/biotecnologia/article/view/306/260>
- CONtextoganadero. (02 de mayo de 2018). Fedegán señala que en 2018 Colombia superaría los 7 mil millones en producción de leche. Obtenido de Economía: <https://www.contextoganadero.com/economia/fedegan-senala-que-en-2018-colombia-superaria-los-7-mil-millones-en-produccion-de-leche>
- Haraguchi, F., Abreu, W., & De Paula, H. (2006). Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. *Revista de Nutrição*, 14(9): 479-488. Recuperado el 02 de Octubre de 2017, de <http://www.scielo.br/pdf/rn/v19n4/a07v19n4.pdf>
- Icontec. (1997). NTC 4106. Frutas frescas: Mora de castilla. Obtenido de <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=D527B0BFDD7475F3DA-74900F613F2D93&Req=>
- ICONTEC. (2001). NTC 4934. Análisis Sensorial. Metodología. Guía general para establecer un perfil sensorial. Obtenido de <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/normavw.aspx?ID=67232>
- Icontec. (2004). Norma técnica colombiana 3856: Para productos lácteos. Obtenido de <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=-D88CDB84FB7A1917A83E3FF35EB46FD1&Req=>
- ICONTEC. (2004). NTC 1419. Productos lácteos leche saborizada. Obtenido de <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-419&Q=3F1D5F51BD-2DA399FDC286BC28FC8BF1&Req=>
- Jelen, P. (2009). Whey based functional beverages. En W. P. Limited (Ed.), (pág. 445). Recuperado el 02 de octubre de 2017, de https://www.researchgate.net/profile/Adriana_Farah2/publication/259331153_Coffee_as_a_speciality_and_functional_beverage_Chapter_15/links/56afa74208ae9ea7c3ad886c/Coffee-as-a-speciality-and-functional-beverage-Chapter-15.pdf
- Londoño, M; Sepúlveda, J; Hernández, A y Parra, J. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco. *Revista Facultad Nacional*, 61(1):4409-4421. Recuperado el 02 de octubre de 2017, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a17v61n1.pdf>
- Martínez, A. (2012). Bebida deslactosada y fermentada a partir del lactosuero con pulpa de maracuyá y enriquecida con L-glutamina. Recuperado el 02 de octubre de 2017, de <http://www.unicordoba.edu.co/oldfiles/3%20BEBIDA%20DESLACTOSADA%20Y%20FERMENTADA.pdf>

- MINAGRICULTURA. (2016). Cadena Láctea, información sectorial. Recuperado el 02 de octubre de 2017, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/2016%20Abril.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 3929. Requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y bebidas. Bogotá. Obtenido de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/resolucion-3929-de-2013.pdf
- Posada, K., Terán, D., & Ramírez, J. (2011). Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos. *La Alimentación Latinoamericana* (292), 66. Recuperado el 02 de Octubre de 2017, de <http://www.publitech.com.ar/contenido/objetos/Lactosuero.pdf>
- Poveda Elpidia, E. (diciembre de 2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista chilena de nutrición*, 40(4), 397-403. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v40n4/art11.pdf>
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCi-TelA*, 12(1), 84-102. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Juan_Ramirez-Navas/publication/257890512_Analisis_sensorial_pruebas_orientadas_al_consumidor/links/00b495260e24536e05000000/Analisis-sensorial-pruebas-orientadas-al-consumidor.pdf

Diagnóstico de aspectos productivos y ambientales en el cultivo de Aguacate Hass del Oriente Antioqueño

Juan Manuel Quiceno Rico,^a Santiago Londoño Chica,^a Govani Alfonso Mora Gaviria,^a Anibal Ricardo Molina,^a Marcela Giraldo Franco,^a Blanca Lucía Morales García,^a Catarina Pássaro Carvalho,^a Dayana Urán Montoyam,^b Gina Liceth Amortegui Espinosa^b

^a SENA, Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, Grupo de Investigación en Innovación y Agroindustria - GIIA, juanmqri@misena.edu.co, slondono944@misena.edu.co, gamorag@misena.edu.co, anibalrimo@hotmail.com, marcegirald@misena.edu.co, blmorales03@misena.edu.co, cpassaro@gmail.com
^b SENA, Tecnología en Control Ambiental, estefa.124hj@gmail.com, lizethaespinosa@gmail.com

Resumen

En la actualidad el cultivo de aguacate Hass ha venido creciendo en el país como respuesta al mercado internacional demandante. El Oriente Antioqueño, en respuesta a esta dinámica económica, ha respondido positivamente con el aumento en el número de unidades productivas de aguacate. Por este motivo y con el propósito de comprender algunos aspectos de la dinámica aguacatera de la región, se realizó un pequeño estudio diagnóstico basado en encuestas. Las preguntas estuvieron encaminadas a la recolección de información sobre producción y manejo fitosanitario-ambiental, con la cual se construyó una base de datos. La muestra evaluada correspondió en su mayoría a pequeños productores, sin embargo, dejó ver aspectos de inversión, rentabilidad e impactos ambientales en recursos como el agua, los bosques y la biodiversidad. En producción, se puede observar que la región es una buena proveedora de aguacate en especial al principio y mitad del año. A nivel ambiental es positivo la conservación de bosques naturales o plantados dentro de sus fincas. De igual forma, se identificó la utilización de muchos productos químicos sin registro ICA en los cultivos. Este diagnóstico deja claro que se deben llevar a cabo estudios a mayor profundidad y detalle para comprender adecuadamente todos los aspectos que giran alrededor del cultivo de aguacate Hass y ayudarán a potenciar el mercado.

Palabras clave: *Persea americana*, Antioquia, Encuesta, Producción, Ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass') es una fruta tropical de gran importancia en los mercados internacionales por sus propiedades organolépticas y funcionales (Acham, Ahemen, Ukeyima, & Girgih, 2018; Dreher & Davenport, 2013). Tanto es el interés por estos frutos, que se dedican en el mundo más de 550 mil hectáreas (ha) de tierra para su cultivo, llegando a reportar en el año 2017 una producción de casi 6.000.000 de toneladas (ton) de aguacate, 70% del cual se produce en América (FAOSTAT, 2019).

Como cultivar con alto potencial genético, el aguacate se ve influenciado por múltiples factores ambientales y agronómicos que pueden limitar o favorecer la eficiencia productiva. Aspectos como la combinación en el uso de la tierra, el trabajo y el capital, la organización o división del trabajo, la coordinación entre tiempos y movimientos, el acceso a créditos o la presencia de incentivos económicos, los procesos de educativos, los costos de producción, los precios de venta, la calidad de los productos, la asistencia técnica, la fitosanidad en el cultivo, la comercialización, la infraestructura productiva, el acceso a créditos, el cambio tecnológico o la especialización tecnológica; son ejemplos de ellos (Muñoz & Garnica, 2014; Rebolledo & Romero, 2011).

En términos ambientales, el cultivo de aguacate como cualquier otro sistema productivo agrícola hace uso de los servicios ecosistémicos del ambiente. Sin embargo, actividades como el uso del recurso hídrico, la descarga de materia orgánica, la contaminación con agroquímicos o las actividades en zonas no aptas a la vocación del suelo, son responsables del incremento de problemas como la erosión y sedimentación, de la afectación a cuerpos de agua, así como de la disminución de la productividad del cultivo o de los ecosistemas frágiles y estratégicos prestadores de servicios ambientales (Álvarez, 2008; Álvarez, Gilchrist, David, & Varón, 2014).

En Colombia, el cultivo de aguacate ha venido ganando importancia económica en los últimos años. Este fenómeno internacional, a la par de las condiciones agroclimáticas del país, ha favorecido la expansión en áreas cultivadas para dicho producto, lo cual llevó a que en el año 2018 se alcanzaran cerca de 60 mil ha cultivadas, con rendimientos cercanos a las 10 ton/ha (Agronet, 2019).

Antioquia destaca como uno de los departamentos de mayor producción y alto rendimiento en producción, con casi 12.000 hectáreas sembradas y más de 100.000 toneladas producidas en el año 2017 (Agronet, 2019). Entre los municipios que más le aportan a esos altos índices de Antioquia, se encuentra Sonsón, Abejorral, el Retiro y el Peñol, que perteneciendo a la subregión del Oriente Antioqueño, producen todos juntos más de 40.000 ton al año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

Considerando entonces la importancia que tiene el Oriente Antioqueño como centro proveedor de aguacate Hass para el país y los mercados internacionales, la implicaciones sociales, económicas y ambientales de un cultivo y el poco conocimiento sobre las características de las unidades productivas de este frutal en la región, se propuso como objetivo central de este trabajo realizar un diagnóstico exploratorio enfocado en

observar algunos aspectos productivos y ambientales para algunas fincas productoras de aguacate Hass en la subregión del Oriente Antioqueño.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de Estudio

Esta investigación se realizó con agricultores asociados y no asociados, en su mayoría de pequeña escala, algunos con registro de predio exportador, de los municipios de Abejorral, Argelia, Cocorná, El Carmen de vival, El Peñol, Guarne, La Ceja, Marinilla, San Vicente Ferrer y Sonsón; quienes cultivan principalmente aguacate Hass. El rango de altura sobre el nivel del mar fue amplio, entre los 1.300 y los 2.550 m.s.n.m. Las temperaturas medias están entre los 13 °C y los 23 °C. La información se recolectó entre Julio de 2018 y Julio de 2019.

2.2 Recolección de Información

Se construyó un cuestionario con preguntas cerradas y semiabiertas con la finalidad de indagar sobre aspectos ambientales, financieros y productivos del cultivo de aguacate Hass y organizado en seis grupos de preguntas así: Información general, información de producción, información ambiental, información sobre fertilización, manejo de plagas y enfermedades, cosecha y postcosecha. A partir del cuestionario, se creó un instrumento de tipo encuesta semi-estructurada que fue distribuido en formato impreso o digital a 79 productores de la región del Oriente Antioqueño, aprovechando las estrategias formativas y extensionistas del Servicio Nacional de Aprendizaje en su Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación, como son los grupos de formación del programa Sena Emprende Rural (SER) y el programa de articulación con la media técnica (ASEM).

En la encuesta se valoraron diferentes indicadores para caracterizar las unidades de producción:

Información productiva del cultivo. Se indagó sobre el número y procedencia de las plantas en producción, organización de la siembra, tipo y procedencia de patrones empleados y algunos costos estimados de establecimiento, mantenimiento e ingresos por cosecha.

Información Ambiental. Se indagó sobre la presencia de bosque natural o plantado en la finca y el uso del recurso hídrico.

Manejo de Plagas y Enfermedades. Se indagó sobre los tipos y métodos de control de plagas y enfermedades recurrentes y de mayor impacto para cosecha o postcosecha.

2.3 Análisis de Información

Todas las respuestas fueron almacenadas en una base de datos construida en Excel. Posteriormente, la información se procesó con base en estadística descriptiva a partir de promedios y porcentajes, realizando una valoración cuantitativa y cualitativa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la información aportada por las entrevistas, se extrajeron algunos elementos relevantes sobre producción, manejo ambiental y manejo de plagas y enfermedades por parte de unidades productivas de aguacate.

Información productiva del cultivo

Del 80% de los encuestados que respondieron preguntas relacionadas con la plantación, se encontró que más del 60% son pequeños productores con áreas de cultivo menores a 1 ha y solo alrededor del 3% son grandes productores con más de 10 ha (Figura 1a). Con relación a los volúmenes de fruta producidos al año, se encontró que casi el 60% de los productores que respondieron, están produciendo más de mil Kg/ha de fruta al año (Figura 1b).

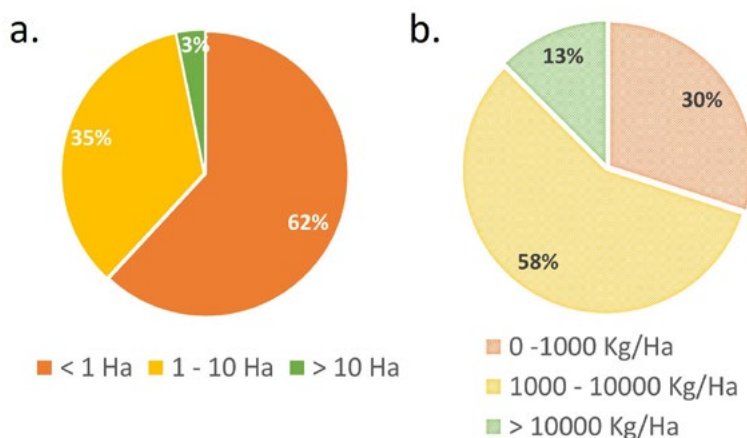


Figura 1. Área dedicada a cultivo (a) y estimativos de la última producción anual de aguacate Hass (b) en el Oriente Antioqueño.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Una característica del aguacate es que la fruta puede permanecer colgada del árbol por varios meses sin alcanzar su madurez de consumo. Esta situación o ‘Factor árbol’ como es conocido, se debe a la presencia de inhibidores metabólicos de la maduración que viajan desde las hojas hasta los frutos donde cumplen la función de retrasar su desarrollo o madurez. Este fenómeno, implica que en un mismo momento se podrán encontrar frutos de diferentes estados de desarrollo, lo cual lleva a que la selección del fruto durante la cosecha no sea tan fácil. Por este motivo, la determinación del momento de corte se vuelve un factor clave para garantizar que la fruta logre una maduración adecuada, obtenga las características adecuadas de sabor y firmeza, se minimicen las pérdidas y se alcance una buena aceptación en el mercado (Bernal *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2016).

Con el propósito de lograr la diferenciación de los aguacates durante la cosecha, se emplean comúnmente criterios como la longitud y diámetro del fruto, el cambio en el color y brillo de la cáscara, el tiempo de la fruta para desarrollarse, la respiración y producción de etileno, la firmeza de la pulpa, el porcentaje de aceite, entre otros. En los últimos años se ha extendido otra metodología más fiable denominada determinación de materia, una estrategia correlacionada con el contenido de aceites y que se emplea como indicador de madurez, indicador de calidad y además como parámetro decisi-

vo para la recolección de los frutos en cosecha. Además, es un proceso de fácil implementación en las fincas productoras y que, al estar fundamentado en la deshidratación controlada de la pulpa, le brinda al productor en la comodidad de su finca, herramientas para la toma de mejores decisiones sobre la cosecha (Bernal *et al.*, 2014; Carvalho, Velásquez, & Van Rooyen, 2014; Herrera-González, Salazar-García, Martínez-Flores, & Ruiz-García, 2017). En este aspecto, las encuestas dejan ver que a pesar de que existe un alto porcentaje (44%) de productores que no tienen conocimiento en cómo aplicar el método para determinar el porcentaje de materia seca, ésta estrategia al igual que los cambios visuales en el brillo del fruto, son los más empleados como criterios para la definición del momento de cosecha, con porcentajes de uso del 35% y 23%. Esta situación se puede explicar ya que más del 10% de productores dependen de las decisiones del agrónomo o del interés del cliente. De igual manera, entre los encuestados hubo más de un 10% que todavía no está en etapa productiva y no se ha enfrentado a la selección de aguacates para el mercado, teniendo en cuenta todos los aspectos de manejo necesarios para este fruto climatérico.

Las condiciones geográficas y agroclimáticas del país favorecen la producción del aguacate durante todo el año, en este sentido y para observar la influencia de características altitudinales y climáticas regionales, se cuestionó a los productores acerca de las épocas de la cosecha principal y de la travesía. Al respecto, se encontró que existe cierta variabilidad en los meses en que se dan cada una de las cosechas, aunque predomina que a finales o principios del año se da la cosecha principal y hacia mitad del año se da la travesía (Tabla 1). Esta variación puede estar relacionada con las diferencias agroclimáticas y altitudinales existentes entre los municipios, que además ha de influir sobre el rendimiento de los cultivos. De esta manera, se hace evidente la necesidad de ampliar el conocimiento con relación a los efectos que imponen las condiciones propias de cada municipio sobre la calidad y productividad de cultivares de aguacate Hass y así aportarle al desarrollo regional. Para los municipios de Abejorral, Guarne y la Ceja no se registró información relacionada en las encuestas.

Tabla 1

Distribución temporal de los períodos de Cosecha Principal y Travesía para productores de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño

Municipio	Cosecha Principal		Cosecha Travesía	
	Desde	Hasta	Desde	Hasta
Argelia	Noviembre	Enero	Abril	Mayo
Cocorná	Mayo	Junio	Enero	Febrero
El Carmen de Viboral	Enero	Marzo	Junio	Agosto
El Peñol	Noviembre	Enero	Junio	Agosto
Marinilla	Diciembre	Marzo	Mayo	Octubre
San Vicente Ferrer	Diciembre	Febrero	Julio	Septiembre
Sonsón	Enero	Febrero	Junio	Agosto

Fuente: Elaboración propia (2019)

Condicionada por factores topográficos, edáficos y climáticos, la distribución espacial de las plantas en el terreno o densidad del cultivo es un aspecto relevante en la buena producción del aguacate Hass (Bernal et al., 2014; Zapata et al., 2018), razón que llevó a ser incluida en la encuesta. Al respecto, se encontró que la distancia de siembra más popular entre los encuestados y que está condicionando una densidad de 297 plantas / ha fue la de 6 m entre árboles con 6 m entre surcos (35%), seguida muy de cerca por la distancia de 7 m entre árboles con 7 m entre surcos (30%), condicionando una densidad promedio de 218 plantas / ha.

La edad de los árboles, condicionada por el manejo agronómico, es otra propiedad que influye en la productividad de un cultivo (Samaniego-Russo & Sánchez-Sánchez, 1999). La encuesta mostró que del 85% que respondió la pregunta, cerca del 30% eran productores que están en los primeros 3 años de trabajo con su cultivo, razón por la cual en su mayoría no tienen árboles en etapa productiva. Este valor, soporta el auge y popularidad que ha venido tomando la idea de establecer cultivos de aguacate Hass de exportación en el país. El resto de agricultores poseen cultivos heterogéneos (árboles con edades diferentes), 45% poseen árboles entre 4 a 6 años, 61% con más de 7 años y 46% con menos de 3 años, esto último explicado por expansiones o renovaciones en las áreas cultivadas.

Un aspecto imprescindible en el éxito de un cultivo comercial de aguacate es la elección de las variedades que se desean sembrar. Un buen procedimiento en este sentido, garantiza la continuidad en la producción, alargamiento de los períodos de cosecha, mayores volúmenes de producción, disminución en el riesgo de problemas ocasionados por plagas y enfermedades, mejor desarrollo del cultivo y mayor calidad de la fruta (Ríos-Castaño & Tafur-Reyes, 2003). En este aspecto, la encuesta mostró que a pesar de que existe una clara confusión entre los términos ‘Vivero Registrado’ y ‘Vivero Certificado’, del 65% que respondió la pregunta, más del 90% de los productores conoce al menos la localidad de donde proviene su variedad y el 20% asegura que el origen es de un vivero registrado ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Desde una perspectiva nutricional, el aguacate es una fruta con alto contenido calórico, rica en ácidos grasos mono y poliinsaturados, vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B6, β -carotenos y potasio (Villa-Rodríguez, Molina-Corral, Ayala-Zavala, Olivas, & González-Aguilar, 2011; Dreher & Davenport, 2013). Con el objetivo de favorecer la uniformidad de sus propiedades nutricionales y organolépticas y por supuesto favorecer el éxito de un cultivo de aguacate para fines comerciales, se suelen emplear estrategias de propagación asexual efectuadas mediante injertación sobre plantas provenientes de semilla germinada. Estos portainjertos o patrones como se les conoce, se deben adaptar fácilmente a las condiciones edafoclimáticas de la zona de producción, razón por la cual se recomienda usar patrones locales o criollos, que al provenir del mismo ecosistema se adaptan fácilmente y favorecen el normal crecimiento de los árboles (Bernal et al., 2014; Cañas-Gutiérrez, Galindo-López, Arango-Isaza, & Saldamando-Benjumea, 2015).

De acuerdo a la encuesta, los productores de la región han adoptado dichas recomendaciones ya que se encontró que del 70% del público que respondió esta pregunta,

el 29% se inclina por utilizar patrones tipo Hass, otro 29% prefiere los Patrones Criollos y el 18% emplea patrones Reed, una variedad que junto con el hass es de las mejores para ser sembrada en condiciones de clima frío moderado en Colombia (1.800 a 2.600 m.s.n.m.) (Bernal et al., 2014). El 35% faltante se encuentra dividido en patrones como el Choquette, Colin, Fuerte, Nabal, Papelillo, Santana y Semil-40 (Figura 2). A pesar de la relevancia que tiene la procedencia del patrón para la productividad del cultivo, más del 60% de los entrevistados que respondieron la pregunta, manifestaron no conocerla. Es indispensable proponer trabajos encaminados a entender los efectos de los portainjertos sobre las características de los frutos cosechados, pues ya se ha evidenciado que la calidad del fruto también depende de este factor (Herrera-González, Salazar-García, Gutiérrez-Martínez, & González-Durán, 2013).

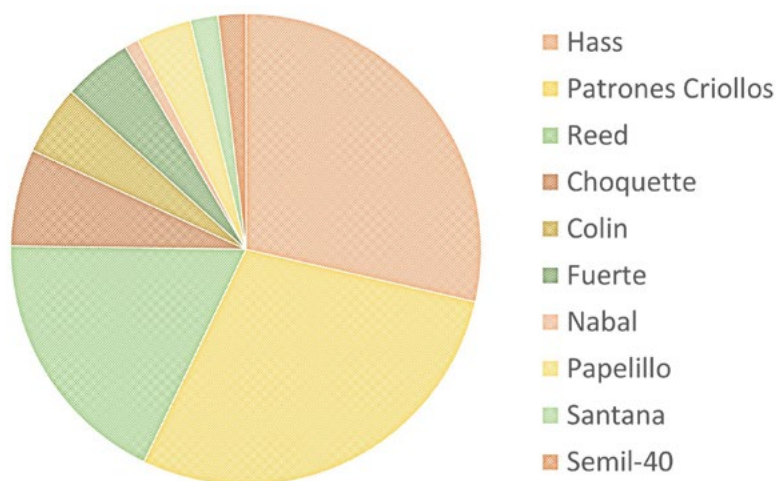


Figura 2. Tipo de Patrones empleados para el cultivo de aguacate Hass en la región del Oriente Antioqueño. Fuente: Elaboración propia (2019).

La eficiencia de un cultivo dependerá de elementos tales como el potencial genético de la especie cultivada, disponibilidad de agua, disponibilidad de nutrientes y el talento humano que se encargue del manejo, administración, control de plagas y enfermedades, etc. De esta manera, se deben considerar la existencia de costos directos como el arrendamiento de tierras, la adquisición de insumos, materiales, maquinaria, empaques, transporte, mano de obra, al igual que costos indirectos como seguros, servicios públicos, asesorías, licencias, publicidad, etc (Bernal et al., 2014). El análisis de costos sobre aspectos clave como el establecimiento y el mantenimiento anual del cultivo de aguacate Hass (Figura 3), mostró que para más del 50% de los productores entrevistados que respondieron esta pregunta, el costo aproximado para iniciar su cultivo podía superar los 10 millones de pesos colombianos (COP) por hectárea. Esto es justificable ya que para comenzar con el montaje de un cultivo se debe hacer la selección, limpieza, cercado, análisis de suelo y agua, trazado, ahoyado, siembra, plateo, fertilización, control fitosanitario, entre muchas más actividades, insumos, materiales y equipos que van

subiendo el costo de implementación del cultivo. Además, como en esta etapa todavía no hay ingresos, el impacto de la inversión es más evidente.

En términos de sostenimiento anual, el valor aproximado para más del 80% de los productores que respondieron la pregunta, superó el rango del millón de pesos y pudiendo llegar casi hasta los 100 millones COP, con un valor promedio de 18 millones COP (Figura 3). Este incremento es comprensible ya que a medida que las plantas van creciendo, los requerimientos en insumos, herramientas, materiales, mano de obra, administración, etc., van a ir subiendo. Solo hasta mantener constante o disminuir el valor de los costos totales e incrementar la productividad del cultivo, se podrá ver una ganancia real de la actividad productiva.

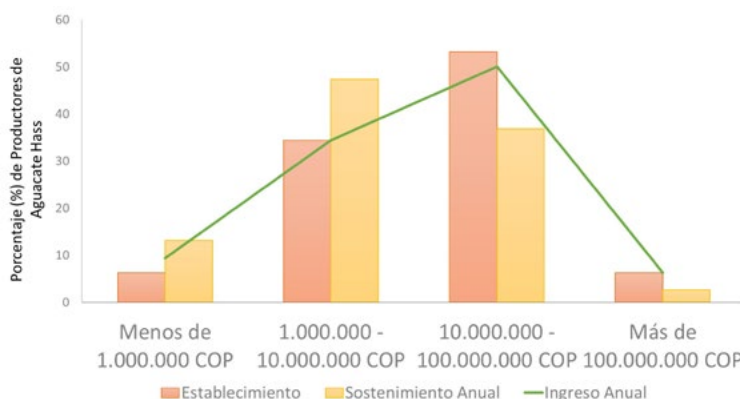


Figura 3. Costos promedio de Establecimiento, Sostenimiento e Ingresos para un cultivo de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño.

Fuente: Elaboración propia (2019).

El desbalance que se observa entre el establecimiento y el sostenimiento para los dos primeros grupos (menos de 10 millones COP), puede estar correlacionado con el hecho de muchos de los entrevistados presentaban cultivos con edades menores a los 3 años o cultivos heterogéneos en edad, donde no todos árboles dan el rendimiento adecuado.

Para poder comprender la viabilidad de este tipo de cultivo, se analizó el valor de los ingresos anuales de los productores. Como se puede ver en la Figura 3, el 50% de los productores que respondieron la pregunta ganan al año más de 10 millones de COP, lo que se explica por la presencia de árboles con más de 4 años de edad en las unidades productivas, es decir con cultivos que están alcanzando sus mayores rendimientos.

3.1 Información Ambiental

Bosques

Todos los ecosistemas del planeta brindan beneficios, razón por la cual la dimensión ambiental en la agricultura tiene gran relevancia y es imposible desconocerla ya

que está constituido de ecosistemas agrícolas (Boyd & Banzhaf, 2007). La biodiversidad inherente en los agroecosistemas son los que proporcionan el alimento además de los medios para producirlos. Los organismos del suelo, polinizadores, enemigos naturales de plagas y enfermedades son algunos de los componentes de la diversidad agrícola, tan importantes como la diversidad misma de animales y plantas que se consumen. Adicionalmente, de esta combinación entre componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas agrícolas, surgen otros servicios ecosistémicos como la retención de carbono y la protección de las cuencas, razón por la cual es importante conservar la biodiversidad dentro de ellos (Jarvis, Padoch, & Cooper, 2011).

A la par de los beneficios propios del agroecosistema, la presencia de ecosistemas boscosos característicos de Colombia y de la región Antioqueña, también entran a jugar un papel fundamental en la proveeduría de servicios ecosistémicos. Los bosques y los árboles brindan beneficios al fortalecer los medios de vida, suministrar aire y agua limpios, conservar la biodiversidad y responder al cambio climático (Balvanera, 2012; FAO, 2018; IDEAM, 2019; WWF Colombia, 2019). Al indagar sobre la presencia de bosques naturales dentro de las fincas productoras de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño, se encontró que del 80% de productores que respondieron la pregunta, cerca del 70% posee esta fuente de servicios ecosistémicos con áreas alrededor de las 2 ha en promedio. A pesar de que este resultado puede estar relacionado con la importancia cultural que ha tomado la interacción con paisajes históricos asociados a la agricultura o con el hecho de que muchas personas entran en contacto con la vida silvestre visitando fincas o sus alrededores (Jarvis et al., 2011); también ilustra claramente el panorama actual en pérdida de biodiversidad y cobertura boscosa a nivel nacional (IDEAM, 2019; WWF Colombia, 2019).

Una estrategia que ha surgido para mitigar la pérdida de bosques naturales ha sido el bosque plantado, una estrategia para la cual existen muchas preocupaciones frente a los posibles impactos negativos que pueda tener sobre la biodiversidad, ya que es común emplear una o pocas especies de árboles, se manejan como monocultivos, se manejan intensivamente o son cosechados con muy poca rotación (Barlow et al., 2007; Brockerhoff, Jactel, Parrotta, Quine, & Sayer, 2008). Entre los productores entrevistados, se encontró que un poco más del 20% cuenta con un área promedio de 2 ha dedicadas a este tipo de plantación, dentro o en los alrededores de su finca. Este resultado puede verse ligado a ciertas tendencias actuales de diversificación económica de los cultivos empleando especies maderables. La situación encontrada frente a bosques nativos y plantados es un indicador que podría ser usado para apoyar el desarrollo de iniciativas en pro de la recuperación de bosques naturales, pues se sabe que su afectación ha de traer consecuencias sobre la misma producción agrícola de alimentos (Taki, Yamaura, Okabe, & Maeto, 2011).

Agua

El agua es fundamental para el establecimiento y mantenimiento de los cultivos agrícolas pues es utilizada como insumo durante todo el proceso productivo. Es tan importante este recurso, que en el país se reportan demandas hídricas de más de 16.000

millones de m³/año, convirtiendo al sector agrícola en la esfera económica que más agua demanda y como consecuencia la que más huella hídrica (verde, azul, virtual) presenta (ENA, 2018). Con los resultados obtenidos de las encuestas, con un 53% de respuestas a esta pregunta, el volumen de agua promedio empleado por la mayoría de los productores de la región está alrededor de los 16.800 m³/año, siendo la principal fuente de este recurso el acueducto municipal o veredal y seguido de otras fuentes alternativas como quebradas (o ríos), afloramientos o combinación de todas (mixto) incluyendo el agua lluvia (Figura 4). Esta situación pone de manifiesto en primera instancia los desarrollos existentes en términos de infraestructura que favorecen la distribución de agua potable en los municipios; pero también deja claro lo buena que es la región como proveedora de servicios ecosistémicos con el recurso hídrico, razón por la cual se deberían crear mejores estrategias de conservación que favorezcan la disminución en la huella hídrica azul.

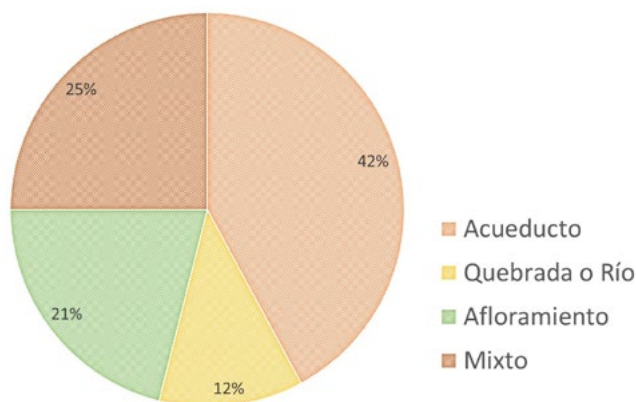


Figura 4. Procedencia del agua usada para un cultivo de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño.

Fuente. Elaboración propia (2019)

Aunque normalmente las personas no son conscientes de ello, el agua de lluvia o agua verde como se le conoce, siempre se está utilizando en los cultivos. Cada vez que hay precipitaciones, parte del agua se almacena en el suelo como humedad y después es aprovechada por la vegetación en su crecimiento, la otra parte será utilizada por los ecosistemas estratégicos o podrá estar poco disponible debido a aspectos topográficos o a la presencia de asentamientos humanos. Independientemente de esto, el agua verde se constituye como un factor de producción esencial ya que se encarga de sostener el 90% de la agricultura nacional, dejando el 10% restante al agua azul (ENA, 2018).

3.2 Manejo de Plagas y Enfermedades

Las condiciones geográficas, climáticas y biológicas del Oriente Antioqueño lo convierten en un escenario formidable para la promoción y conservación de la biodiversidad (Quijano, 2016). Sin embargo, bajo la vocación agrícola del país, direccionada

con premisas de la revolución verde en la promoción de monocultivos, el territorio se ha transformado en un escenario de constantes batallas contra una parte alterada de la biodiversidad a la que se le denomina plaga o enfermedad. De esta manera, la alta presión que tienen las plagas y las enfermedades sobre la tasa de producción agrícola inherente a los modelos de desarrollo económico e industrial de la sociedad actual, ha llevado a que se empleen productos químicos plaguicidas de manera intensiva y extensiva, como una situación normal y medida eficaz para el control de insectos, malezas, enfermedades y otros organismos que afectan la productividad del campo (ENA, 2018).

La presencia, distribución, importancia cuarentenaria de organismos fitopatógenos o severidad de los daños ocasionados son factores limitantes para la productividad de un cultivo y son relevantes dependiendo del mercado (internacional o nacional) a donde estén dirigidos. Entre las principales plagas se encuentran aquellos con hábitos chupadores como chinches, trips, insectos escama y ácaros; y otros con hábitos mastiadores como los perforadores de frutos y semillas y los marceños (Téliz & Mora, 2007; Londoño, 2015).

Al analizar la muestra de productores del Oriente Antioqueño, se encontró que existe gran diversidad de plagas y enfermedades que los aquejan (Figura 5) y que si no son controladas adecuadamente pueden llevar a reducciones importantes en la calidad de los frutos cosechados, en la rentabilidad, productividad e incluso viabilidad del cultivo. Las plagas más recurrentes fueron los ácaros, trips y marceños con más del 70% de recurrencia y esto sin dejar de lado que la hormiga arriera y los chinches presentaron porcentajes superiores al 50%.

Insectos polívoros como los trips ocasionan raspaduras sobre el pericarpio del fruto que llevan a la formación de manchas de color café con aspecto corchoso y que también pueden favorecer el ingreso de otro tipo de patógenos al fruto. Su ataque en frutos pequeños también lleva a la generación de protuberancias venosas (Londoño, 2015; Rivera-Martínez *et al.*, 2017). Los ácaros son otra plaga que viene afectando los cultivos de aguacate desde hace muchos años, producen manchas de color pardo-rojizo en el haz de las hojas y clorosis en el envés. Su presencia puede traer como consecuencia la defoliación de los árboles y una reducción en la tasa fotosintética de las plantas infestadas (Marticorena & Berrío, 2014; Londoño, 2015). Los marceños son plagas nocturnas que afectan durante la época de fructificación, generando daños por raspadura sobre la cáscara del fruto que terminan convirtiéndose en cicatrices de color café (Londoño, 2015).

También es relevante la identificación de plagas cuarentenarias como barrenadores y pasadores de fruto en municipios como Cocorná, el Peñol, Guarne, Marinilla, San Vicente Ferrer, Sonsón; en donde más del 20% de los encuestados aseguró presentarlas. Los barrenadores son insectos que perforan los frutos y ovopositan en el interior. La larva se mueve a través de la pulpa hasta alcanzar la semilla donde se instala para alimentarse. Estos insectos ocasionan la pudrición de la pulpa, la pérdida de la semilla y hasta la caída de los frutos. Su presencia se debe reportar al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para hacer un manejo adecuado de la plaga y evitar su dispersión, pues la

sola identificación de estos insectos en un cultivo se puede convertir en limitante para la exportación hacia algunas regiones del mundo (Londoño, 2015). Estos datos ilustran la necesidad existente de conocer la prevalencia de las plagas y enfermedades de acuerdo a la zona cultivada, razón por la cual se requieren estudios que puedan potenciar el análisis y obtener resultados más contundentes, pudiendo tener en cuenta la movilidad natural de los organismos en presencia de los abundantes corredores biológicos o parches verdes que caracterizan el Oriente Antioqueño.

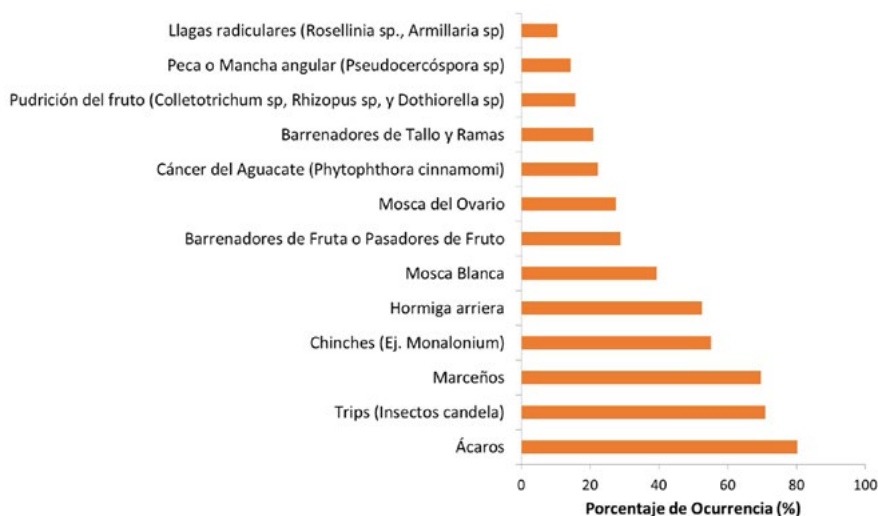


Figura 5. Plagas y Enfermedades que afectan a productores de aguacate Hass en el Oriente Antioqueño.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Como medida de control y prevención, los productores deben emplear los plaguicidas. A pesar de que en promedio el 70% de los encuestados aseguró tener conocimientos o haber recibido capacitaciones en temas relacionados con el Manejo Integrado de Plagas, el uso de agroquímicos, el uso de equipos para aplicación de plaguicidas y reglamentación ambiental básica y conservación del medio ambiente, la información consignada en la Tabla 2 parece mostrar una situación un poco diferente.

Al revisar la lista de registros de plaguicidas químicos o de bioinsumos actualizado a Julio-Agosto del año 2019 ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), se nota que los agricultores emplean en el cultivo de aguacate una gran cantidad de productos que no aparecen registrados para este tipo de sistema productivo: AGRIFOS® 400 SL, APACHE 20 EC, DIVINO®250 EC, ESTELAR™ 1280 SL, LORSBAN 4 EC. Esta mala práctica agrícola, a la par de otras como la utilización de productos en exceso o la elección de tiempos inadecuados de aplicación bajo ideas como ‘a mayor cantidad de producto, menor efecto de la plaga o enfermedad’, ‘Si me sirve en el cultivo X, me sirve en el cultivo Y’; deja en evidencia el panorama existente frente al desconocimiento del código

internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas, además de la falta de capacitación, control y vigilancia sobre el uso de agroquímicos en los predios productores (Guerrero, 2003; FAO, 2006).

Esta mala praxis en el campo, de la mano con la toxicidad, estabilidad, persistencia, movilidad o volatilidad de principios activos de los plaguicidas, los ha convertido en un riesgo potencial para el ser humano y el ambiente en general (Guerrero, 2003; ENA, 2018). Los productos aplicados pueden permanecer en el alimento alterando su calidad (por ejemplo, si no se tiene en cuenta su Límite Máximo de Residualidad), o simplemente la influencia de la solubilidad en el agua favorece su llegada a las corrientes hídricas (superficiales o subterráneas) donde pueden alterar la biodiversidad del cuerpo de agua, generar intoxicaciones en seres humanos, bioacumulación en los sedimentos, eutrofización en cuerpos lénticos, entre muchas más (ENA, 2018).

El valor promedio de los gastos en Manejo de Plagas y Enfermedades, osciló en un costo cercano a los 2.000.000 COP, aunque para algunos productores de la región puede estar en más e 10.000.000 COP, teniendo incidencia en este aspecto el área cultivada y las características de la zona.

Aunque este diagnóstico no propició la adquisición de información necesaria para realizar estudios adecuados de impacto ambiental del uso de plaguicidas en los cultivos de aguacate Hass de la región, si es claro que queda sentada la necesidad de estudios más profundos y detallados donde se puedan obtener datos precisos sobre las dosis, el número de aplicaciones de cada agroquímico y demás información relevante que permita calcular adecuadamente el impacto ambiental que se está llevando a cabo para cada unidad productiva, tal y como existen reportes de estudios en otras regiones del país (Reina-Noreña, Mayorga-Cobos, Caldas-Herrera, Rodríguez-Valenzuela, & Varón-Devia, 2015).

Tabla 2

Productos Químicos Plaguicidas empleados por productores de Aguacate Hass en el Oriente Antioqueño

Nombre Comercial	Principio Activo	Registro ICA para Aguacate	Clase de Producto	Nombre Comercial	Principio Activo	Registro ICA para Aguacate	Clase de Producto
VERTIMEC 1.8 EC	Abamectina	Si	Insecticida Acaricida	ABASAC 1.8 EC	Abamectina	Si	Insecticida
MALATHION 57 EC ADAMA	Malathion	Si	Insecticida	ADN GREEN	Extracto de Sophora spp.	No	Agente de control Biológico
CITROEMULSION EC	Aceite Mineral	Si	Insecticida	ALBA-TROSS® 200 SC	Fipronil	Si	Insecticida

ALISIN	Extracto Ají - Ajo Limoneno disulfuro Ácido Nico- tínico Carotenoi- des Otros	No	Agente de control Biológico	ANTRASIN P.C.	Sulfato de Cobre Pentahi- dratado y Sulfato de Calcio	Si	Fungicida
EXALT 60 SC	Spinetoram	Si	Insecticida	ATTA-KILL	Sulflura- mida	No	Insecticida Hormigui- cida
PROTEUS® OD	Thiacle- pid y Deltame- trina	Si	Insecticida	CANDONGA 1.8 EC	Abamec- tina	Si	Insecticida
OBERON SPEED	Spiromesi- fen y Aba- mectina	Si	Insecticida	DIVINO®250 EC	Difenoco- nazole	No	Fungicida
ENGEO®	Thiame- toxan y Lamb- da-cyaltrotrín	Si	Insecticida	ESTELAR™ 1280 SL	Glifosato	No	Herbicida
AGRIFOS® 400 SL	Fosfito monopotá- sico y Dipotá- sico	No	Fungicida	KUMULUS® DF	Azufre	No	Fungicida
CLOSER™ 240 SC	Sulfoxaflo- r	Si	Insecticida	LORSBAN 4 EC	Clorpirifos	No	Insecticida
INVEPRID 350® SC	Imidaclo- pid	Si	Insecticida	MANZATE 200 WP	Mancozeb	Si	Fungicida
CALDO SUL- FOCÁLCICO	Azufre y Cal	No	Insecticida Acaricida Fungicida	NILO® 300 SC	Imidaclo- pid Bifen- trina	Si	Insecticida
APACHE 20 EC	Ciperme- trina	No	Insecticida	OBERON® SC 240	Spirome- sifen	Si	Insecticida
CATOMBE 1.8 EC	Abamectina	No	Acaricida	OXICLORU- RO DE CO- BRE AL 35% DIABONOS	Oxicloruro de Cobre al 35%	No	Fungicida

DIMETOATO RAINBOW 400 EC	Dimethoate	No	Insecticida	REQUIEM SC	Tiame- toxam Lambda- cihalo- trina	No	Insecticida
MAGISTER 200 SC	Fenazaquin	No	Acaricida	VERTISOL	Lecani- cillium (=Verti- cillium lecani)	No	Agente de control Biológico
RUTINAL	Ruda	Si	Agente de control Biológico	SANTIMEC	Abamecti- na y pyri- daben	Si	Insecticida Acaricida
RIDOMIL® GOLD MZ 68 WP	Metalaxyl-M Mancozeb	Si	Fungicida	SCORE® 250 EC	Difenoco- nazole	No	Fungicida
ROXION 400CE	Dimetoato	No	Insecticida Acaricida	YODOSAFER SL	Polivinil pirrolido- na	Si	Fungicida
SAFERMIX WP	Metar- hizium anisopliae Bacillus thuring- iensis var kurstaki	Si	Agente de control Biológico	PURÍN DE ORTIGA	Urtica dioica L	No	Repelente y bioestimu- lante
CALDO DE CENIZA	Ceniza y jabón	No	Insecticida Fungicida	JABÓN POTÁSICO	Sal Potá- sica	No	Insecticida

Fuente: Elaboración propia (2019)

A pesar de que la mayoría de los productos empleados son de origen sintético, hay que destacar que existen prácticas de producción más tradicional u orgánica, como son el uso de purines o caldos de ceniza. De igual forma también se observó la incorporación de productos registrados como bioinsumos y que incorporan agentes de control biológico. Estudios posteriores al respecto, podrán ayudarnos a encontrar los efectos benéficos que trae el uso de estos productos para una región plagada de productos químicos sintéticos de alta toxicidad y permanencia.

4. CONCLUSIONES

Los estudios diagnósticos son estrategias importantes porque permiten dilucidar situaciones o contextos generales, de manera que facilitan la promoción de propuestas o proyectos de investigación más detallados en áreas específicas.

El panorama general sobre algunos aspectos del cultivo de aguacate Hass en la subregión del Oriente Antioqueño mostró que existe gran abundancia de pequeños productores donde la economía familiar depende en gran medida del cultivo de aguacate. De hecho, se encontró con varios productores con cultivos en edades menores a los tres años, lo que muestra el resultado de la promoción actual que se hace para la implementación de nuevos cultivos de aguacate, que va muy de la mano con las consideraciones económicas potenciales que este tipo de cultivo tiene a largo plazo.

A pesar de que existe una amplia diversidad en las especies de aguacate que se pueden usar como portainjertos, en la región prevalece la elección por las variedades Hass, Reed y Criollo para este propósito, lo cual puede estar relacionado con las ventajas adaptativas a las condiciones agroclimáticas y edáficas de la región.

De acuerdo a los datos de producción, se puede observar que la región se constituye en una buena proveedora de aguacate en especial en épocas como el principio y mitad del año.

Ambientalmente es positivo que un alto número de productores promueve la conservación de bosques naturales o plantados dentro de sus fincas, ya que esto se constituye en centro de conservación de biodiversidad necesario en procesos como la polinización y el control natural de plagas. De igual manera, se pueden constituir como ecosistemas estratégicos para la conservación del agua en quebradas, ríos o afloramientos.

Como todo cultivo agrícola, el aguacate necesita una buena fuente de agua y de preferencia cerca al área productiva. Cuando no se tiene la disponibilidad del recurso o no hay buena calidad en el mismo, el agua de acueducto puede solventarlo, tal y como les sucede a muchos productores de la región. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esto se convertirá en un gasto más y debe ser considerado en el balance económico de la producción, al igual que los gastos derivados del manejo integrado de plagas y enfermedades.

Para los productores, los costos del control de plagas y enfermedades pueden llegar a 2.000.000 COP en promedio anual. Sin embargo, al observar la cantidad de plaguicidas químicos que se utilizan, muchos de ellos sin registro ICA, los costos se pueden incrementar al momento en que se supere un Límite Máximo de Residualidad y todo un lote sea rechazado por el mercado.

Este diagnóstico deja claro que se deben llevar a cabo estudios a mayor profundidad y detalle para comprender adecuadamente todos los aspectos que giran alrededor del cultivo de aguacate Hass y ayudarán a potenciar el mercado.

Agradecimientos

Los Autores agradecen al Sistema de investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA por la financiación del proyecto “Determinación de períodos de carencia para pesticidas de uso común en el cultivo de Aguacate Hass de exportación en el Orien-

te Antioqueño”, del cual se derivaron los resultados de este trabajo. También agradecen a los productores, instructores, aprendices y demás personal que participaron en el estudio.

REFERENCIAS

- Acham, I. O., Ahemen, S., Ukeyima, M. T., & Girgih, A. T. (2018). Tropical Fruits: Bioactive Properties and Health Promoting Benefits in Chronic Disease Prevention and Management. *Asian Food Science Journal*, 1-13.
- Agronet (Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario Colombiano). (2019). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Estadísticas agropecuarias. Estadísticas agrícolas. Producción de aguacate, área sembrada, rendimiento por hectárea. Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> [Julio 14, 2019]
- Álvarez, C. F. (2008). Sistemas de certificación ambiental para la extensión tecnológica, la competitividad y el desarrollo rural. *Producción más limpia*, 3(2), 61-87.
- Álvarez, C. F., Gilchrist, E., David, C. A., & Varón, L. M. (2014). Evaluación ambiental de actividades agropecuarias de pequeños productores en el municipio de Angelópolis (Antioquia, Colombia). *Journal of agriculture and Animal Sciences*, 3(1):8-21.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Barlow, J., Gardner, T. A., Araujo, I. S., Ávila-Pires, T. C., Bonaldo, A. B., Costa, J. E., ... & Hoogmoed, M. S. (2007). Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(47), 18555-18560.
- Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Córdoba, O., ... & Caicedo, A. (2014). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica. Recuperado de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12616/68164_64855.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Agosto 21, 2019].
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological economics*, 63(2-3), 616-626.
- Brockerhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5), 925-951.
- Cañas-Gutiérrez, G. P., Galindo-López, L. F., Arango-Isaza, R., & Saldamando-Benjumea, C. I. (2015). Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana*) en Antioquia, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 129-143.
- Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., & Van Rooyen, Z. (2014). Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 399-406.
- Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(7), 738-750.

- FAOSTAT. (2019). Producción de Aguacate por año en Colombia. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> [Julio 14, 2019].
- Guerrero, J. A. (2003). Estudio de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas en áreas específicas de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 21(3), 198-209.
- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J. A., Lurie, S., Defilippi, B. G., Campos-Vargas, R., & Pedreschi, R. (2016). Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of 'Hass' avocados (Persea americana Mill). *Fruits*, 71(5), 259-268.
- Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Gutiérrez-Martínez, P., & González-Durán, I. J. L. (2013). El comportamiento poscosecha de frutos de aguacate 'Hass' es influenciado por el portainjerto. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 19-32.
- Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Martínez-Flores, H. E., & Ruiz-García, J. E. (2017). Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento poscosecha del fruto de aguacate Méndez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 55-63.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2019). Ecosistemas. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas> [Agosto 30, 2019].
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá: Ideam.
- Jarvis, D. I., Padoch, C., & Cooper, H. D. (Eds.). (2011). *Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas*. Publicado por Bioversity Internacional.
- Londoño, M. E. (2015, Julio). Manejo Integrado de Plagas en aguacate. En E. Becerra (Presidencia), 42° Congreso Colombiano de Entomología SOCOLEN. Congreso dirigido por la Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Marticorena, J. L. M., & Berrío, A. R. (2014). Ácaros asociados al cultivo del aguacate (Persea americana Mill) en la costa central de Perú. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 215-221.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Cadena Productiva Aguacate - Área, Producción y Rendimiento*. Recuperado de <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Cadena-Productiva-Aguacate-Area-Produccion-y-Rendimiento/ddse-euqv>.
- Muñoz, B. B., & Garnica, A. G. (2014). Factores que limitan la posibilidad de elevar la eficiencia de las organizaciones productoras de aguacate: el caso del municipio de Tetela del Volcán, Morelos. *Entreciencias: Diálogos en la sociedad del conocimiento*, 2(4), 183-196.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2006). Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a0220s.pdf> [Agosto 31, 2019].
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2018). El estado de los Bosques del Mundo. Recuperado de: <http://www.fao.org/state-of-forests/es/> [Agosto 31, 2019].
- Quijano, M. A. (2016). *Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.
- Reina-Noreña, J., Mayorga-Cobos, M. J., Caldas-Herrera, S. J., Rodríguez-Valenzuela, J., & Varón-Devia, E. H. (2015). El problema de la peca en cultivos de aguacate (Persea americana Mill.) del norte del Tolima, Colombia. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 265-278.

- Rebolledo, A., & Romero, M. A. (2011). Avances en investigación sobre el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) bajo condiciones subtropicales. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 113-120.
- Ríos-Castaño, D., & Tafur-Reyes, R. (2003). Variedades de aguacate para el trópico: caso Colombia. En V Congreso Mundial del Aguacate, Actas (Vol. 1, pp. 143-147).
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Domínguez-López, A., Acosta-Guadarrama, A. D., & Figueroa-Figueroa, D. K. (2017). Modelización espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana*). *Revista Colombiana de Entomología*, 43(2), 131-140.
- Samaniego-Russo, J. A., & Sánchez-Sánchez, E. (1999). Crecimiento y Producción de cuatro cultivos de Aguacate (*Persea americana* Mill.), en el sur de Sonora, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 61-66.
- Taki, H., Yamaura, Y., Okabe, K., & Maeto, K. (2011). Plantation vs. natural forest: Matrix quality determines pollinator abundance in crop fields. *Scientific Reports*, 1(132), 1-4.
- Téliz, D., & Mora, A. (2007). El aguacate y su manejo integrado. México, DF: Mundi-Prensa
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231-1237.
- WWF Colombia (Fondo Mundial para la Naturaleza Colombia). (2019). *Bosques, riqueza para Colombia*. Recuperado de: http://www.wwf.org.co/que_hacemos/bosques/ [Agosto 30, 2019].
- Zapata, J. E., Tobón, J. D., Patiño, H. I., Palacios, E. H., Mejía, C. A., Marín, H. D., Machado, C. A., & Alcaraz, E. (2018). *El cultivo de aguacate (Persea americana) en el Occidente de Antioquia: Establecimiento del Cultivo*. Santa Fe de Antioquia, Antioquia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Evaluación de efectividad del proceso de pirólisis como método de disposición final de residuos sólidos aplicado a zona rural del Oriente Antioqueño - Colombia

Juan Daniel Gallego Villa,^a Mauricio Grisales Gallego,^a Alejandro Mejía,^a
Sandra Milena Galvis Ocampo^b

a SENA, Aprendices del Programa Tecnólogo en Control Ambiental del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, vinculados al Semillero de investigación de agropecuaria y de agroindustria - SIAGRO
b SENA, Instructora del Programa Tecnólogo en Control Ambiental del Centro de la Innovación, la Agroindustria y la Aviación - CIAA, adscrita al Semillero de investigación de agropecuaria y de agroindustria - SIAGRO, samilenaga@misena.edu.co

Resumen

El objetivo de la pirólisis es disponer de forma sanitaria y ecológica los residuos sólidos cuyo proceso permite la disminución del volumen mismo de los residuos y entregando como producto final residuos líquidos a gaseosos. Esta investigación evaluó tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencia de la pirólisis como una propuesta de disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; lo que se alcanzó a través de la identificación del comportamiento en relación a tiempo, densidad de disposición y cantidad de producto final aplicado a estos residuos, con el uso de ensayos en campo en dos localidades diferentes con condiciones similares. Los resultados obtenidos permitieron determinar que es una opción viable en términos de reducción de materiales sobrantes (cenizas), así como la adecuación de lugares para la realización del proceso, lo anterior partiendo de una variable importante en el Oriente Antioqueño, como lo es la gestión del espacio, debido a la demanda y costos de los terrenos, es así como podría adoptarse este método para reducir las áreas improductivas dedicadas al soterramiento de residuos sólidos inaprovechables.

Palabras clave: Alternativas de uso, Eficiencia, Residuos inservibles, Cenizas.

1. INTRODUCCIÓN

Según Cortázar Dueñas (2015) la oportunidad de gestionar residuos de una manera eficiente y eficaz obteniendo de estos, ventajas en producción energética es una opción del presente inmediato, más que una posibilidad de índole futurista. Dentro de las tecnologías que apoyan estas iniciativas, se encuentran: la incineración, la pirólisis, la digestión anaerobia, la gasificación convencional y la gasificación por plasma; es importante destacar que cada una de las anteriormente mencionadas, se encuentra en diferente estado de desarrollo.

Noguera & Olivero (2010) determinan que el método de mayor utilización en Colombia para disposición final de los residuos sólidos son los rellenos sanitarios, método que en la actualidad está generando un impacto social negativo, asociado a la extensión de áreas de terreno que al culminar el proceso, tienen muchas limitaciones en su aprovechamiento, esto sumado al incremento poblacional que se está dando en las ciudades y que obliga al retiro de las zonas urbanas de estos sistemas, incrementando los costos de disposición en el mejor de los casos, en otros donde se imposibilita la construcción de los mismos y se hace necesario realizar trayectos más largos para disponer en sistemas de otros municipios, por lo anterior se hace necesario desarrollar nuevas metodologías que reduzcan los impactos ambientales asociados a disposición final de los residuos y a su aprovechamiento.

El tratamiento térmico de residuos tiene una historia larga y polémica. Las teorías más sencillas, básicas y contaminantes hacen referencia al proceso de quemar los residuos en un vertedero, o escombrera a cielo abierto. El bajo control de esta combustión, no propicia ningún tipo de contención o tratamiento de los gases, cenizas y otros residuos de la combustión, lo cual de acuerdo con Bernache Pérez (2012) genera contaminación medio ambiental.

En contraposición a estos métodos rudimentarios, se encuentran técnicas como la pirólisis, que es definida por Sedesol (2001) como un proceso fisicoquímico de alta complejidad, que se viene investigando y estructurando en los países desarrollados, particularmente en los Estados Unidos, esta se considera una opción que podría plantearse como alternativa para reciclar indirectamente los residuos sólidos; por la acción del calor, en una atmósfera baja de oxígeno, para obtener como producto final una mezcla de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua; esta práctica tiene como objetivo disponer de forma sanitaria y ecológica los desechos, reduciendo su volumen, al convertirlos en materiales sólidos, líquidos y gaseosos; posibilitando que éstos, puedan utilizarse como materias primas en sectores energéticos o en diversos procesos industriales (Gomez, Klose, & Rincon, 2008).

En la literatura se identifica un gran número de defensores de los sistemas de tratamiento de residuos más modernos, los cuales identifican la pirólisis como una técnica reciente (PNUD, 1999), cuando en realidad no lo es. (Academia de Ingeniería Ambiental, 2010) La pirólisis es un proceso milenario, utilizado en la producción de carbón e igualmente de forma extensiva en las industrias química y petrolífera.

Según Esquer Verdugo (2009) un avance significativo para considerar la utilización de la pirolisis, como un método de disposición final de residuos sólidos, fue el estudio realizado por Essenhigh, Stumbar, & Kuwata (1969) en la Universidad de Nueva York, denominado *“Pruebas exploratorias de laboratorio de la destilación destructiva de residuos orgánicos, y los prospectos para la gasificación completa de la materia orgánica”*.

Con respecto a las técnicas de tratamiento térmico de residuos, teóricamente se han considerado dos líneas principales: 1. En las que interviene el oxígeno o con presencia de oxígeno, denominadas como: Técnicas de Incineración; y 2. Aquéllas que carecen de oxígeno, o en las que su uso es escaso, con el fin de someter los residuos a altas temperatura, entendiéndose que no hay combustión directa, siendo este el proceso que técnicamente se ha denominado pirólisis (también conocida como: termólisis) (Gomez, Klose, & Rincon 2008).

De acuerdo a lo argumentado por la Academia de Ingeniería Ambiental (2010) el rango de temperatura, en el cual se da el proceso de pirólisis, se encuentra entre los 400 °C y 800 °C. entregado como subproductos: gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis; cuyas proporcionalidades estarán acordes a la composición mismas de los residuos utilizados en el proceso, las temperaturas específicas aplicadas en el mismo y el tiempo que este dure. La reducción del tiempo e incremento de la temperatura se establece como pirólisis rápida, y maximiza el producto líquido, de forma contraria si se aplican temperaturas más bajas durante períodos de tiempo más largos, será una pirolisis lenta con la generación predominante de cenizas sólidas; proceso que se evidencia en la Figura 1 identificando los tipos de pirolisis con relación a las temperaturas, las materias primas y los resultados de las mismas en torno a subproductos.

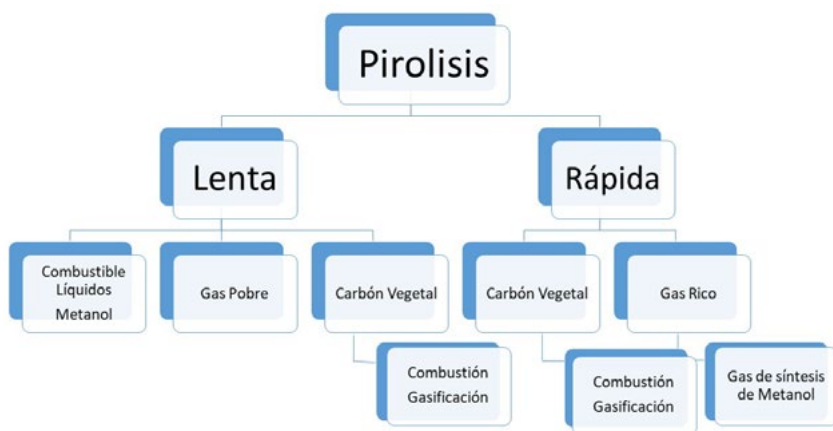


Figura 1. Esquema de diferencia entre pirolisis rápida y pirolisis lenta

Fuente. Centro tecnológico Nacional de la conservación alimentaria

Según el Grupo de Investigación Británico CADDET (1998) citado por La Academia de Ingeniería Ambiental (2010):

Las diversas técnicas de gasificación y pirólisis pueden producir residuos sólidos o líquidos en varias de sus fases; gestores opinan que estos materiales no son residuos que requieran eliminación, sino productos utilizables. Sin embargo, tal afirmación sigue sin ser demostrada y cualquier comparación de las diversas opciones de tratamiento de residuos debería considerar las emisiones al aire, el agua y la tierra (Academia de Ingeniería Ambiental, 2010, p. 97).

En pro de identificar la viabilidad de aplicación de la pirolisis a baja escala como un método sencillo, con óptimos resultados, que reduce costos de disposición por lo menos en lo concerniente a residuos inservibles, se proyecta, evaluar tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencia para disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; teniendo en cuenta que estas variables se relacionan con: el comportamiento en relación a tiempo, la densidad de disposición y la cantidad de producto final.

La densidad se establece como una relación entre la masa y el volumen de una sustancia. En relación a los combustibles sólidos se identifican diferentes tipos de densidad acorde al volumen que se considere en cada caso. Una de ellas es la densidad a granel que se denota como la relación entre la masa del sólido y el volumen total del recipiente que lo contiene. (Gomez, Klose, & Rincon, 2008).

Los objetivos de la presente investigación se enmarcaron en: evaluar tres variables relacionadas a la efectividad y eficiencias de la pirolisis como una propuesta de disposición final para residuos inservibles en zonas rurales; lo que se alcanzó a través de identificar el comportamiento en relación a tiempo, densidad de disposición y cantidad de producto final aplicado a residuos sólidos inservibles en un proceso de pirolisis, con el uso de ensayos en campo en dos localidades diferentes en condiciones similares.

2. METODOLOGÍA

Investigación aplicada en la que se pretende la evaluación de variables para el desarrollo de una metodología aplicable a la disposición final de residuos sólidos inservibles, partiendo de un método pre experimental, en el que se partirán de tres variables concretas y significativas en el proceso, cuyas definiciones, formulas ya están establecidas, una variable independientes y dos variables dependientes (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES, 1999), se realizara evaluación de las mismas, aplicando nueve repeticiones en cada ensayo, evaluando en cada una de ellas su comportamiento para ser comparadas con procesos de disposición final actual utilizado (Alvitres, 2000).

Para lo anterior se evaluará la conducta de tres variables:

Densidad: Se define como una relación entre la masa y el espacio que esta ocupa,

se establece la densidad variable independientes ya que no fue objeto de la investigación cambiar el tamaño de las partículas, por el contrario, la intencionalidad será procesarlas tal cual se genera por el productor del residuo; se referencia la densidad también como el peso específico de los residuos sólidos sirve principalmente para determinar el volumen ocupado por una masa de residuos.

Para determinar la densidad se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{masa} &= \text{kg de materia inservible depositada en el tanque} \\ \text{volumen} &= \text{ancho} * \text{largo} * \text{altura de la masa de residuos en el tanque} \end{aligned}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa kg}}{\text{volumen m}^3}$$

Ecuación 1. Calculo de densidad

Ecuación 1. Calculo de densidad

Fuente: (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales (CEPIS), 1999)

Tiempo: Es una magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos; es el segundo.

Se ha establecido el tiempo como una variable dependiente asociada a la masa (kg) de residuos que ingresa al proceso y a la temperatura °C a la cual se active el tanque de pirólisis.

Residuo final: Se determina como residuo o subproducto final a la masa solida (kg) que se extrae posterior a la terminación del proceso, se ha identificado como una variable dependiente ya que la cantidad de residuos, se encuentra directamente proporcional a la temperatura suministrada, es decir a menor temperatura se tendría menor obtención de residuo final; así mismo se menciona este como un subproducto ya que no se ha realizado una caracterización que permita establecer la composición físico- química de dicho producto para determinar la utilización de mismo en otros procesos, así mismo en esta investigación no se tuvo este como una variable de análisis. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

Teniendo las variables establecidas se partió de la aplicación de la misma técnica, en dos ubicaciones geográficas diferentes, Municipio de Rionegro sector Llano Grande vereda Cabeceras y el Municipio de San Vicente vereda La Porquera ambas con similares condiciones climatológicas y en cada una de ellas se aplicó siete repeticiones para obtención de datos.

Para el análisis de datos se partió de la estadística descriptiva utilizando cálculos numéricos de tendencia central, como es el caso de la media aritmética, mediana y moda. (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), 1999)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al determinar la densidad en cada uno de los ensayos es necesario la medición de datos como la masa de residuos a procesar y las medidas del espacio que estas ocuparon en relación a ancho, largo y altura que ocuparon los residuos, tal como se muestra en las Tablas 1 y 2, cuyos datos permitieron obtener una densidad promedio de los residuos.

Tabla 1

Datos para obtención de densidad piloto 1

Ancho del area de pirolisis (m)	Largo del area de pirolisis (m)	residuos para pirolisis (m)	Volumen para pirolisis (m3)	Densidad kg/m3
0,5	0,5	0,02	0,005	300
0,5	0,5	0,03	0,006	320
0,5	0,5	0,06	0,015	233
0,5	0,5	0,05	0,013	240
0,5	0,5	0,07	0,018	371
0,5	0,5	0,09	0,023	356
0,5	0,5	0,02	0,005	300
0,5	0,5	0,03	0,006	320
0,5	0,5	0,07	0,016	258
Moda				300
Mediana				300

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 2

Datos para obtención de densidad piloto 2

Ancho del area de pirolisis (m)	Largo del area de pirolisis (m)	Altura los residuos para pirolisis (m)	Volumen para pirolisis (m3)	Densidad kg/m3
0,4	0,4	0,05	0,008	250
0,4	0,4	0,07	0,011	339
0,4	0,4	0,09	0,014	104
0,4	0,4	0,08	0,013	234
0,4	0,4	0,04	0,006	313
0,4	0,4	0,07	0,011	286
0,4	0,4	0,07	0,011	339
0,4	0,4	0,08	0,013	227
0,4	0,4	0,04	0,006	469
Moda				339
Mediana				286

Fuente: Elaboración propia (2019)

El cálculo de la densidad de los residuos sólidos urbanos son elementos importantes en el diseño y evaluación de sitios para la disposición de los residuos sólidos, permite prever el tamaño del sitio de disposición, esta variable podrá estar afectada por el tamaño mismo de la partícula, la humedad que esta contenga; es determinante en el cálculo y diseño del sistema de confinamiento para la pirólisis así mismo incide sobre la efectividad en el sostenimiento de la temperatura en el horno, que concluye el resultado final sea incremento o disminución en el tiempo de pirólisis. (Pinzon Casas, 2016).

Para esta investigación se estableció el cálculo de la densidad de los residuos sólidos inservibles sin la manipulación en el cambio de su tamaño, esto con la proyección que la metodología al ser aplicada con posterioridad no incurriera en la posibilidad de adquisición de maquinaria para el corte o desgaste del producto en sí.

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales - CEPIS, (1999), estudios realizados han determinado que la densidad para residuos sueltos se estiman en un rango de 250 a 300 kg/m³, en concordancia con el resultado obtenido que fue 293 kg/m³, lo que muestra la viabilidad de implementación de un horno familiar para la pirólisis de residuos sólidos como método de disposición final, y referenciado con datos del mismo informe en el que se estima una producción per-cápita para Antioquia de 0,65 kg/persona día con grupos familiares promedio de 4 personas/vivienda y cuya producción de residuos inservibles está por debajo del 30 por ciento del total de la producción de una vivienda, se evidencia la factibilidad técnica inicial para el desarrollo de estructuras asociadas a la pirólisis en áreas rurales.

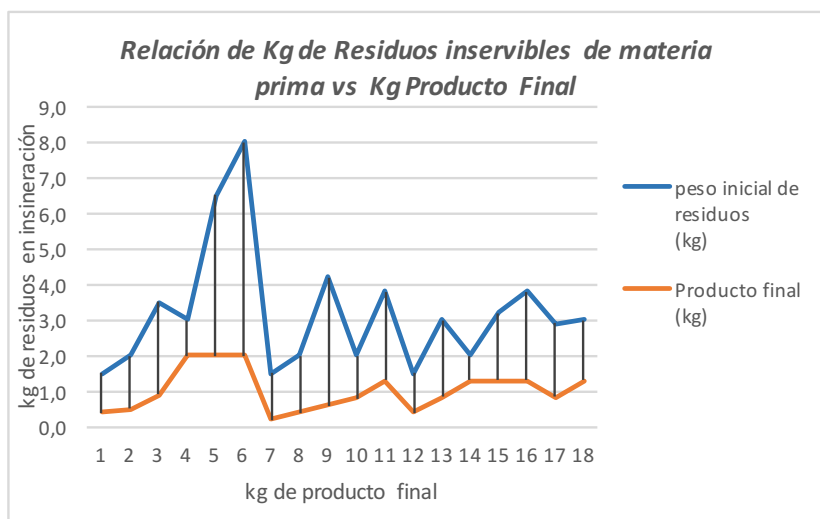


Figura 2. Relación de Residuos iniciales con producto final

Fuente: Elaboración propia (2019)

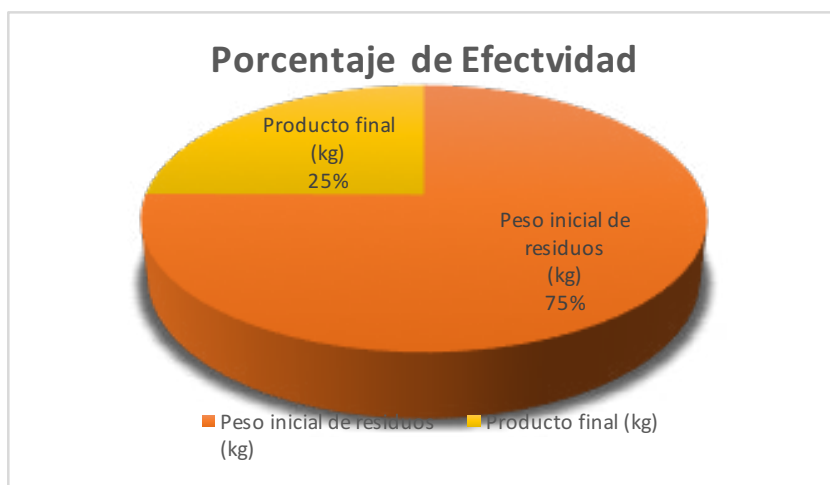


Figura 3. Porcentajes de efectividad según ensayos de campo

Fuente: Elaboración propia (2019)

La variable de producto final (Figura 2) traducido a cenizas estables generadas del proceso como residuo final, son difícilmente comparables, ya que se debe tenerse en cuenta las temperaturas y el tiempo en que estas son producidas en el proceso; aun así y teniendo como punto de partida el sistema actual de disposición final que es el relleno sanitario, se considera la pirólisis como un método de alta eficiencia, teniendo en cuenta que reduce en un setenta y cinco (75%) la materia prima introducida al proceso, resultado que se refleja de manera considerable en las áreas disponibles al almacenamiento de este residuo y que por ende será un reductor importante en áreas improductivas dentro de los sistemas de producción agrícola unifamiliares.

Con respecto a los rellenos sanitarios, que es el referente comparativo de mayor demanda se tiene, según Kiss Kofalusi & Encarnación Aguilar (2006) el tiempo de descomposición y reducción de la masa dispuesta en estos, está asociada a la tecnología utilizada en los mismos, incluyendo las condiciones ambientales prevalentes a través de la altura de la celda, o el perfil total del relleno, la tecnología de compactación y el tipo de cubierta.

Adicionalmente autores como Johannessen (1999) argumentan que la edad del relleno puede influenciar en la descomposición, al igual que la capacidad de reacción de los materiales depositados el cual a largo plazo va disminuyendo; entendiendo esto que la disposición por enterramiento como es el caso de relleno sanitario estará expuesta a una serie de condiciones tanto internas como externas para llegar a determinar el tiempo en que reducirán su masa y por ende el área que estos ocupan como relación de densidad, obteniendo así un impacto paisajístico bastante fuerte, al igual que pérdida de áreas con potencial aprovechable en otras actividades económicamente más rentables.

Tabla 3
Datos campo para cálculo de efectividad

<i>Peso inicial de residuos (kg)</i>	<i>Tiempo de pirolisis (min)</i>	<i>Producto final (kg)</i>	<i>% de residuos final</i>	<i>% de Efectividad</i>
1,5	380	0,4	26,6	73,3
2,0	240	0,5	25,0	75,0
3,5	300	0,9	25,6	74,3
3,0	296	2,0	66,6	33,4
6,5	323	2,0	30,7	69,3
8,0	670	2,0	25,0	75,0
1,5	253	0,2	13,3	86,7
2,0	620	0,4	20,0	80,0
4,2	260	0,6	14,2	85,8
2,0	64	0,8	40,0	60,0
3,8	128	1,3	34,4	65,6
1,5	150	0,41	38,1	61,9
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	200	0,83	36,8	63,2
2,0	164	1,31	36,9	63,2
3,2	128	1,3	34,4	65,6
3,8	128	1,3	34,4	65,6
2,9	200	0,83	36,8	63,2
3,0	164	1,31	36,9	63,2

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 4
Resultados de medidas de tendencia central en las variables evaluadas

	<i>Peso inicial de residuos (kg)</i>	<i>Densidad kg/m3</i>	<i>Tiempo de pisolisis (min)</i>	<i>Producto final (kg)</i>	<i>% de residuos final</i>	<i>% de Efectividad</i>
Promedio	3,14	293,00	238,61	1,04	32,82	67,17
moda	2,00	319,50	128,00	1,30	34,42	65,58

Fuente. Elaboración propia (2019)

Las medidas de tendencia centran permiten dar una visión unificada a partir de una serie de datos obtenidos en campo comparables con otros estudios que den posibilidad a la generación de escenarios o conclusiones a partir de la misma; es así como uno de

los resultados obtenidos en la Tabla 4 con relación al tiempo de pirolisis de la materia prima, se muestran como un valor alto comparable con otros sistemas de incineración que podrían reducir este tiempo de manera considerable; situación que es contraria a lo que pretende este método teniendo en cuenta que a mayor lentitud en la pirolisis se puede reducir visiblemente la cantidad de emisiones generada a la atmosfera y en caso de proyectar el complemento para este tipo de metodologías podría mejorar de forma importante la calidad del residuo final entorno a que podría ser convertidos en un subproducto aprovechable en finca, que aún es susceptible de ser analizado para su respectiva caracterización.

Lo anterior se sustenta al tener en cuenta lo argumentado por Garcia Cortes (1993) en relación a que el proceso de pirolisis se optimiza cuando se lleva a cabo muy lentamente con tiempo de reacción de horas e incluso de días; si la reacción ocurre en tiempos no superiores a segundos se favorece el rendimiento en líquidos combinados a temperaturas de 650°C mientras que a temperaturas superiores se maximiza la producción de gas.

CONCLUSIONES

Acorde al cálculo de la densidad, se determina una amplia posibilidad de aplicar pirolisis a los residuos inservibles rurales ya que, al ser un valor alto con respecto a otros residuos como el caso de los reciclables, permitirán el desarrollo de un horno de alto rendimiento, que demande bajo espacio para su funcionamiento y que esté al alcance de las comunidades rurales su adquisición o construcción en caso de querer aplicar esta metodología de disposición final.

Los resultados permiten determinar que es una opción viable en términos de reducción de materiales sobrantes cenizas, así como la adecuación de lugares para la realización del proceso, lo anterior partiendo de una variable importantes en el Oriente Antioqueño en términos de manejo del espacio, debido a la demanda y costos de los terrenos, es así como podría adoptarse este método para reducir las áreas improductivas dedicadas al enterramiento de residuos sólidos inservibles en las áreas rurales; resultados son adaptables a todo Oriente de Antioquia, en consideración a la composición físico química general de los residuos y las condiciones climatológicas.

El alcance de esta investigación es un inicio al desarrollo de alternativas de disposición final para las zonas rurales más aisladas; es imperativo el desarrollo de otras investigaciones que continúen soportando la posibilidad de implementar la pirolisis como método de tratamiento de los residuos sólidos inservibles rurales; dentro de lo que se considera el la estandarización del procedimiento de iniciación del fuego y la estabilización del rango de temperatura que conlleven posiblemente al aumento de la eficiencia del producto final, así mismo escalar para la caracterización físico- química del producto final (cenizas), se deberá tener en cuenta la emisión de gases en cuento a concentración y altura, permitiendo así proyectar otras estrategias de aprovechamiento de dicho residuo.

REFERENCIAS

- Academia de Ingeniería Ambiental. (2010). *Cuadernillo de apoyo para la asignatura de: Tecnologías limpias y Recursos Renovables*. En D. Romero Fonseca. México.
- Alvitres, V. (2000). Planificación de la Investigación. En V. Alvitres, *Método Científico* (p.205). Perú: Ciencia.
- Bernache Pérez, G. (diciembre de 2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos un estudio de la región Centro Occidente de Mexico. *Revista Internacional contaminación y ambiente*, 28, 97 - 105. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a14.pdf>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales (CEPIS). (1999). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Colombia: Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/analisis/colombia/colombia4.html>
- Cortázar Dueñas, M. (2015). *Estudio comparativo de tecnologías comerciales de valorización de residuos sólidos urbanos*. Universidad del País Vasco. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10810/14888>
- Esquer Verdugo, R. (2009). *Reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos urbanos*. Instituto Politécnico Nacional Escuela superior de ingeniería y arquitectura. México.
- Essenhig, R., Stumbar, J., & Kuwata, M. (1969). Combustion behavior of suspended paper spheres. *Symposium (International) on Combustion*, 12. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0082078469804480>
- García Cortes, A. N. (1993). Estudio termoquímico y cinético de la pirólisis de residuos sólidos urbanos. Tesis, Universidad de Alicante. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/4157>
- Gomez, A., Klose, w., & Rincon, S. (2008). *Pirólisis de Biomasa*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: kassel. Recuperado de <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-457-8.volltext.frei.pdf>
- Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES). (1999). En Y. GALLARDO DE PARADA, A. MORENO GARZON, & ICFES (Ed.), *Aprender a Investigar*. Santa Fé de Bogotá: ARFO editores LTDA. Obtenido de <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/CEUL/mod4analisisinform.pdf>
- Johannessen, L. (1999). *Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal solid Waste Landfill*. Urban Waste Management Thematic Group, Working Paper, World Bank, Urban Development Division.
- Kiss Kofalusi, G., & Encarnación Aguilar, G. (Abril - Junio de 2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en el sitio de disposición final. *Gaceta Ecológica*, 79. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2877246>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Bogotá, Colombia: ISBN: 978-958-57464-0-4.

- Noguera , K., & Olivero , J. (2010). *Los rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano*. *Revista Academica Colombiana de Ciencia*, XXXIV. Recuperado de <http://www.utsvirtual.edu.co/sitio/blogsuts/residuosolidos/files/2015/11/Rellenos-saanitarios-en-L.America-caso-Colombia.pdf>
- Pinzon Casas, R. D. (2016). Producción, recolección y disposición de residuos sólidos urbanos, análisis del sistema de gestión en el Municipio de Puerto Asis. Universidad de Manizales. Manizales: Universidad de Manizales, Facultad de ciencias contables, economicas y administrativas. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2829/Producci%C3%B3n%20recolecci%C3%B3n%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20an%C3%A1lisis%20del%20sistema%20de%20gesti%C3%B3n%20en%20el%20municipio%20de%20>
- PNUD. (Septiembre de 1999). A Revolutionar Pyrolysis Process for turning Waste-to-Energy. *BIO ENERGY NEWS*, 3. Recuperado de www.undp.org.in/programme/GEF/september/page10-25.htm
- Sedesol. (2001). *Manual Técnico Administrativo para el servicio de limpieza Municipal*. Venezuela. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/296126453/Manual-Tecnico-Residuos-Solidos-Municipales-SEDESOL>

