



Avances en tecnología alimentaria: Estudios y aplicaciones

Francisco Domínguez Rodríguez
Orlando Meneses Quelal

COLECCIÓN CÓNCLAVE

Avances en tecnología alimentaria:
Estudios y aplicaciones



Universidad Politécnica Estatal del Carchi

Francisco Domínguez Rodríguez
Orlando Meneses Quelal

Avances en tecnología alimentaria:
Estudios y aplicaciones



UNIDAD DE
PRODUCCIÓN Y DIFUSIÓN
ACADÉMICA Y CIENTÍFICA

Domínguez Rodríguez, F.J., & Meneses Quelal, O. (Comps.). (2025). Avances en tecnología alimentaria: estudios y aplicaciones. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

1. Tecnología alimentaria; 2. Ingeniería en alimentos;
3. Educación superior; 4. Innovación

Clasificación Thema: TDCT1 - Seguridad de alimentos y bebidas

Clasificación Dewey: Materia: 664 - Tecnología de alimentos

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Dr. Jorge Mina – Rector

Dra. Gladys Urgilés – Vicerrectora

PROCESO EDITORIAL

Dr. Marco Burbano – Director de Investigación

MSc. Johana Morillo – Jefa de la Unidad de Producción y Difusión Académica y Científica

Lic. Dody Haro – Diagramación y diseño

MSc. Rodrigo Tapia – Corrección de estilo

MSc. Diana Ruiz – Editora

AVAL ACADÉMICO

Juan Eduardo Bravo Vasquez – UNIVERSIDAD YACHAY TECH

Mathew Cedeño Avellán – UNIVERSIDAD YACHAY TECH

DATOS DE PUBLICACIÓN

Título: Avances en tecnología alimentaria: estudios y aplicaciones.

Compiladores: Francisco Domínguez Rodríguez, Orlando Meneses Quelal

Diseño de portada: Lic. Dody Haro

Comentario de la solapa: Francisco Domínguez Rodríguez

DOI: <https://doi.org/10.32645/9789942625588>

ISBN PDF: 978-9942-625-58-8

ISBN EPUB: 978-9942-625-59-5

Disponibilidad digital: <https://www.publicacionesupec.org/index.php/carchi>

Edición: Primera, Diciembre 2025.

© Universidad Politécnica Estatal del Carchi ©Francisco Domínguez Rodríguez ©Orlando Meneses Quelal

Calle Antisana y Avenida Universitaria, Tulcán, Carchi, Ecuador.

Tel: 06 2 980 837 Ext: 1300 / 1301

publicaciones@upec.edu.ec / publicacionesupec@gmail.com

Ecuador, Tulcán. Diciembre 2025

Prohibida la reproducción de este libro, por cualquier medio,
sin la previa autorización por escrito de los propietarios del copyright.

Índice

Prólogo.....	17
Introducción	
Sección 1.....	21
Formulación de una infusión de arrayán (<i>Myrtus communis</i> L), sunfo (<i>Clinopodium nubigenum</i> (Kunth) Kuntze) y mora de castilla (<i>Rubus glaucus</i> Benth), endulzada con estevia (<i>Stevia</i> <i>rebaudiana</i> Bertoni).....	21
Resumen.....	23
Introducción.....	25
Materiales y métodos.....	26
Análisis sensorial.....	29
Análisis fisicoquímicos.....	31
Análisis microbiológico.....	33
Resultados y discusión.....	34
Deshidratación de la materia prima.....	34
Evaluación de la infusión.....	43
Análisis fisicoquímicos.....	48
Análisis microbiológico.....	52
Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	55
Referencias.....	57
Sección 2	
Elaboración de una bebida saborizada con mora (<i>Rubus glaucus</i>) de baja graduación alcohólica, mediante la sustitución parcial de miel por un jarabe sacarificado de almidón de papa (<i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> L).....	61

Resumen.....	63
Introducción.....	65
Materiales y métodos.....	66
Materiales y equipos.....	66
Métodos.....	66
Flujogramas de proceso.....	67
Resultados y discusión.....	69
Hidrólisis enzimática.....	70
Discusión.....	84
Conclusiones.....	90
Recomendaciones.....	90
Referencias.....	91

Sección 3

Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (Zea mays L) en una cerveza artesanal tipo Irish red ale.....	95
Resumen.....	97
Introducción.....	99
Materiales y métodos.....	100
Métodos.....	103
Diseño experimental.....	103
Hidrólisis enzimática.....	103
Malteado.....	103
Curva de glucosa.....	104
Formulación.....	105
Características fisicoquímicas	106
Resultados y discusión.....	108

Parámetros de malteado de maíz morado.....	110
Cuantificación de azúcares reductores en la cerveza artesanal	
Irish Red Ale.....	111
Perfil sensorial de la cerveza.....	113
Conclusiones.....	114
Recomendaciones.....	115
Referencias.....	117

Sección 4

Regresión lineal múltiple para el modelamiento matemático de la biomasa residual del aguacate (Persea americana Mill).....	121
---	------------

Resumen.....	123
---------------------	------------

Introducción.....	125
--------------------------	------------

Materiales y métodos.....	127
---------------------------	-----

Toma y recolección de muestras.....	129
-------------------------------------	-----

Análisis estadístico de datos.....	129
------------------------------------	-----

Resultados y discusión.....	129
-----------------------------	-----

Conclusiones.....	136
-------------------	-----

Bibliografía.....	137
-------------------	-----

Sección 5

Evaluación de la producción de panela en los trapiches de Pindical y Chical, ubicados en las parroquias de Maldonado y Chical....	141
--	------------

Resumen.....	143
---------------------	------------

Introducción.....	145
--------------------------	------------

Materiales y métodos.....	148
---------------------------	-----

Resultados y discusión.....	150
Conclusiones.....	173
Recomendaciones.....	173
Referencias.....	175

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Cinthya Mishele Riascos Tarapués, cuya dedicación y compromiso fueron fundamentales para la consolidación de esta obra. Su labor en la integración coherente de los capítulos, la depuración y optimización de tablas y figuras, así como su preciso trabajo en la normalización y estandarización del formato editorial, elevó significativamente la calidad final del manuscrito.

Extendemos también un especial reconocimiento a Jenniffer Elizabeth Ordoñez Cisneros, por su meticulosa adaptación de las referencias al estilo bibliográfico requerido y por su apoyo en la revisión del formato de tablas y figuras. Su minuciosidad y rigor técnico contribuyeron de manera decisiva a la consistencia y presentación final del libro.

A ambas profesionales, nuestro profundo agradecimiento por el tiempo, el conocimiento y el esfuerzo entregados a la construcción de esta obra.

Ph.D. Francisco Domínguez Rodríguez

Ph.D. Orlando Meneses Quelal

Prólogo

La industria alimentaria es un entorno dinámico en constante evolución, donde la tecnología y los avances desempeñan un papel fundamental. Los continuos progresos científicos y técnicos están revolucionando la forma en que se producen y distribuyen los alimentos y bebidas, permitiendo satisfacer las crecientes demandas de los consumidores de manera segura y eficiente. Estos avances no solo se traducen en productos alimentarios de mayor calidad y variedad, sino también en procesos de producción más sostenibles y respetuosos con el ambiente. Asimismo, posibilitan la expansión de los mercados globales al ofrecer productos adaptados a las preferencias locales y culturales de los consumidores de todo el mundo.

En estas páginas encontrarás artículos que exploran las complejidades de la ciencia y la ingeniería de los alimentos, profundizando en las últimas tendencias en seguridad y envasado de alimentos, lo que te permitirá descubrir los enfoques innovadores que están impulsando la sostenibilidad y la eficiencia en su producción.

Este libro es un testimonio del poder transformador de la innovación. A través de estudios de casos del mundo real y ejemplos prácticos, se evidencia cómo estos avances tienen un impacto tangible en la industria alimentaria, desde mejorar la calidad nutricional hasta reducir el desperdicio de alimentos y mejorar las experiencias de los consumidores.

Esta obra titulada *Avances en tecnología alimentaria: estudios y aplicaciones* es un faro de conocimiento e inspiración para investigadores, profesionales de la industria y cualquier persona apasionada por el futuro de los alimentos.

Que este libro despierte tu curiosidad, genere nuevas ideas y allane el camino hacia un futuro alimentario más brillante y sostenible, así como en la mejora de nuestra industria alimentaria.

Con gratitud y admiración,
Ph.D. Orlando Meneses Quelal

Introducción

La industria alimentaria se caracteriza por su constante búsqueda de innovación y mejora en la elaboración de productos que satisfagan las demandas y preferencias de los consumidores. En este contexto, la presente obra ofrece una visión detallada de diversos estudios y aplicaciones en el ámbito de la formulación y producción de alimentos.

El primer capítulo aborda la formulación de una infusión única, combinando elementos como el arrayán, el sunfo y la mora de castilla, endulzada de manera natural con estevia. Este estudio resalta la importancia de la selección cuidadosa de ingredientes para lograr una bebida equilibrada en sabor y propiedades nutricionales, donde adicionalmente se determinaron las condiciones óptimas de deshidratación de cada uno de sus componentes, que favorecen la obtención de esta infusión.

A continuación, el libro explora la elaboración de una bebida saborizada con mora de baja graduación alcohólica, destacando la sustitución parcial de miel por un jarabe sacarificado de almidón de papa. Este enfoque innovador busca ofrecer alternativas saludables y accesibles para los consumidores, aprovechando ingredientes locales y técnicas de producción eficientes.

El tercer capítulo examina la influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado en la elaboración de una cerveza artesanal tipo *Irish Red Ale*. Este estudio destaca las ventajas de dicha sustitución en el perfil de sabor y características sensoriales de la cerveza relacionadas con la hidrólisis enzimática, explorando nuevas posibilidades en la industria cervecera artesanal.

Posteriormente, en el capítulo cuatro se presenta un análisis mediante regresión lineal múltiple para el modelamiento matemático de la biomasa residual producida a partir del aguacate, proporcionando una herramienta para estimar de manera precisa la producción y aprovechamiento de biomasa generada a partir de este fruto tan versátil.

Finalmente, el libro examina en detalle la producción de panela en los trapiches de Pindical y Chical, ubicados en las parroquias de Maldonado y Chical.

Este estudio ofrece una visión integral de los procesos de producción de panela, desde la extracción de la caña de azúcar hasta el empaquetado del producto final, resaltando la importancia de esta actividad en la economía local y regional e identificando los problemas que atraviesan estas productoras artesanales para así poder brindarles alternativas de solución que conlleven a buenas prácticas de manufactura, que finalmente repercutan en productos inocuos y de calidad.

En conjunto, estos capítulos proporcionan una panorámica de los avances y aplicaciones en el ámbito de la tecnología de alimentos, contribuyendo al conocimiento y desarrollo de esta importante industria alimentaria.

Ph.D. Francisco Domínguez Rodríguez

AVANCES EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: ESTUDIOS Y APLICACIONES

Valeria Rocío Rosero Gómez

valeria.rosero@upec.edu.ec

Francisco Javier Domínguez Rodríguez

francisco.dominguez@upec.edu.ec

Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Carrera de Alimentos

Formulación de una infusión de arrayán (*Myrtus communis* L.), sunfo (*Clinopodium nubigenum* [Kunth] Kuntze.) y mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni).

Resumen

Las hojas de arrayán, sunfo y estevia poseen propiedades aromáticas, medicinales, y características atractivas para las industrias de infusiones saludables; sin embargo, son poco aprovechadas para desarrollar nuevos productos alimenticios dentro de la zona. Frutas como la mora de Castilla aportan excelentes características sensoriales por sí solas o fusionadas. El objetivo del estudio fue formular una infusión de hojas de arrayán, hojas de sunfo y mora de Castilla endulzada con hojas de estevia. Inicialmente se deshidrataron las materias primas a 40, 45 y 50 °C, tomando muestras cada 30 minutos para las hojas y cada 3 horas para la fruta, posteriormente se graficaron las curvas de secado definiendo los mejores parámetros de deshidratación. Se trituraron las materias primas y se formularon a 3 niveles de concentración (a₁= 36,66; 43,33; 10; 10 %; a₂= 23,33; 33,33; 33,33; 10 %; a₃ = 36,66; 26,66; 26,66; 10 %) con relación a hojas de arrayán, hojas de sunfo, mora de castilla y hojas de estevia, 2 niveles para temperatura (b₁= 90, b₂=80 °C) y tiempo de inmersión (c₁=3, c₂=5 min). Para determinar el mejor tratamiento, se realizó un análisis sensorial a 50 jueces semientrenados, consecutivamente un análisis estadístico y fisicoquímico. El mejor tratamiento fue el T_{IF} (36,66 % arrayán, 43,33 % sunfo, 10 % mora de Castilla y 10% estevia) a inmersión de 90 °C por 3 minutos, presentando el 11,72 % de humedad, cenizas insolubles en HCl 2,69 y pH 4,90, en los resultados microbiológicos no se evidenció *Escherichia coli*, *Salmonella* ni *Bacillus cereus*.

Palabras clave: Deshidratación, infusión, formulación.

Introducción

La deshidratación es una de las formas de conservación de alimentos más antiguas, es una operación unitaria actualmente muy utilizada en la agroindustria, que consiste en la aplicación de calor a un determinado alimento en condiciones controladas, con el fin de eliminar el mayor contenido de agua presente mediante la evaporación. En el campo de los alimentos, el objetivo de esta operación es incrementar la vida útil, inhibir el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, así como también facilitar la manipulación durante el transporte, empaque o almacenamiento. Otro beneficio de esta operación es el valor agregado que se les da a las diferentes materias primas, lo que favorece a las industrias alimentarias (Fellows, 2017).

Ecuador es un país megadiverso y se caracteriza por poseer plantas nativas, aromáticas, medicinales y forestales. Según Hilbay et al. (2016), se conoce que existen más de 500 variedades de plantas aromáticas y medicinales distribuidas en las cuatro regiones. Debido al contenido nutricional que poseen, estas plantas son empleadas como materia base para la elaboración de extractos, de té o tisanas, polvo seco, fibra para cultivos, entre otros.

Algunas de estas plantas se han ido perdiendo con el pasar de los años (guaviduca, ishpingo, mapacho, paico); otras aún se preservan en menor proporción o se les ha dado uso netamente casero (chilca, toronjil, verbena) (González, 2025). Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2016), la principal razón para esto es que la población de la zona se dedica a la producción agrícola y ganadera tradicional, como son los cultivos de papa, zanahoria, alverja, maíz, frutas, entre otros y la producción de leche, por lo que se expenden estos productos diariamente o la mayoría de las industrias de la zona se dedican a la elaboración de derivados lácteos, dejando de lado las plantas como materias primas para elaborar alimentos.

Entre las plantas que se pueden encontrar en la zona se encuentran aquellas aromáticas, como el arrayán y el sunfo y medicinales como la estevia. Las primeras son plantas que desprenden sabores y aromas agradables sin dejar de lado su contenido nutricional y la estevia es reconocida por ser un endulzante natural

y sus efectos benéficos sobre la salud de los consumidores. Además, hay algunas frutas muy apetecidas por los consumidores como la mora de castilla, que por sus cualidades aporta sabor, color, olor, ya sea por sí sola o fusionada con algún tipo de alimento (Hernández et al., 2018; Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [Intagri], 2021; Centro de Investigación Científica de Yucatán [CICY], 2022).

Actualmente las preferencias de los consumidores apuntan al consumo de alimentos que aporten beneficios a la salud. Debido a esto, las nuevas tendencias en cuanto al consumo de bebidas, como las infusiones obtenidas a partir de plantas combinadas con frutas, han ido creciendo, ya que se aprovechan los componentes nutricionales que poseen los alimentos con los cuales se elaboran. Por otro lado, a medida que pasa el tiempo, aumenta el número de consumidores, especialmente jóvenes, quienes han renunciado al concepto de que los tés e infusiones son consumidos cuando existe una enfermedad o dolencia y han sustituido esta creencia por el deleite de disfrutar una bebida que les da la impresión de viajar por el mundo, debido a las combinaciones de plantas y frutas con las que son elaboradas (The Food Tech, 2022).

Por lo antes mencionado, esta investigación se enfoca en formular una infusión de arrayán (*Myrtus communis* L), sunfo (*Clinopodium nubigenum* [Kunth] Kuntze) y mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*), endulzada con estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), con el fin de aprovechar todos estos componentes para darles un valor agregado, así como también contribuir con la sostenibilidad ambiental, ya que de esta manera se fomentarán fuentes de producción (cultivos), en este caso la plantación de arrayán y sunfo, plantas amigables con el medio ambiente (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2005; Taco, 2023).

Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo experimental, ya que mediante la formulación y la elaboración de la infusión se evaluarán las características sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas del producto final. La investigación se llevó a cabo en dos fases: la deshidratación de las materias primas y la formulación de

la infusión. Las materias primas —arrayán, sunfo y mora de Castilla— fueron recolectadas en la parroquia de Julio Andrade cantón Tulcán y las hojas de estevia se adquirieron en el cantón Bolívar perteneciente a la provincia del Carchi.

Fase 1: Deshidratación de las materias primas

Para llevar a cabo la deshidratación se utilizó un horno de secado por convección de flujo forzado que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, este equipo tiene un sistema de circulación de aire caliente, el cual adopta la circulación de doble conducto de aire, asegurando que la temperatura del dispositivo sea uniforme. Posee un controlador inteligente de temperatura y tiempo, temporizador, instrucciones de alarma, corrección de desviación de temperatura, silicona resistente a altas temperaturas para sellar la puerta, tubos de calor de alta temperatura para el elemento calefactor, garantizando la seguridad. Las temperaturas de deshidratación se definieron tomando como referencia manuales e investigaciones sobre deshidratación (Gárate et al., 2015; Coral, 2018; Cabascango y De la Vega, 2018), con las cuales se establecieron tres tratamientos: T_{1D} (40° C) , T_{2D} (45 °C) y T_{3D} (50 °C). Una vez colocadas las materias primas en el equipo, se tomaron cada 30 minutos tres muestras de las hojas mencionadas anteriormente y cada 3 horas tres muestras de mora de Castilla, para posteriormente realizar los análisis de humedad. Con los datos obtenidos, se graficaron las curvas de secado para determinar la temperatura y el tiempo óptimo de deshidratación, seleccionando el mejor tratamiento, con el cual se obtuvo una humedad final de 12 % para todas las materias primas, como lo establece la Norma INEN 2392 para hierbas aromáticas. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo, en donde se observa el proceso que se llevó a cabo para deshidratar cada una de las materias primas.

Fase 2: Proceso de elaboración de la infusión

Una vez deshidratadas las materias primas se procedió a formular y elaborar la infusión, tomando como referencia la Norma INEN 2392, segunda revisión

(2017). En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo del proceso que se llevó a cabo.

Figura 1

Diagrama de flujo de la deshidratación de mora de Castilla, hojas de arrayán, sunfo y estevia

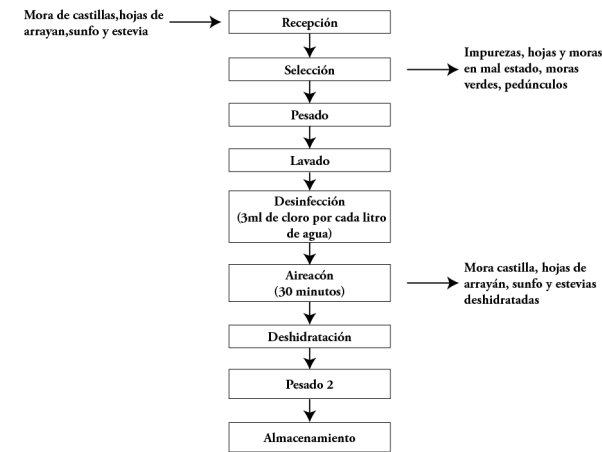
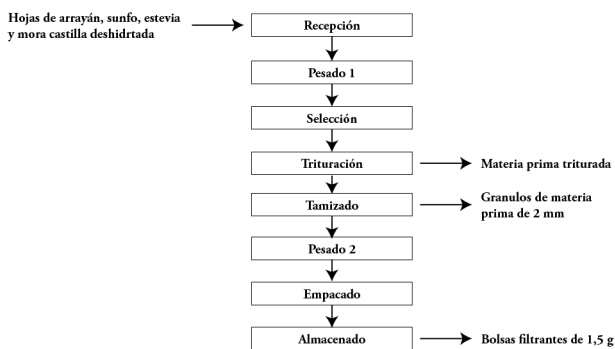


Figura 2

Diagrama de flujo de la deshidratación de las materias primas



Las bolsas filtrantes que contenían la infusión se sumergieron para obtener los diferentes tratamientos y, posteriormente, realizar un análisis sensorial para

definir el mejor tratamiento y, seguidamente, realizar los análisis fisicoquímicos de humedad (máx. 12 %), cenizas (máx. 3,5 %) y análisis microbiológicos (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*).

Análisis sensorial

El análisis sensorial permitió evaluar las características del producto mediante los sentidos. Se evaluaron seis tratamientos aplicando una prueba de aceptabilidad a 50 jueces semientrenados, con un tamaño de muestra de 10 ml de la infusión para cada juez. La inmersión de la infusión se realizó en un volumen de agua de 200 ml por cada 1,5 gramos de infusión. Se utilizó como instrumento una hoja de cata con una escala hedónica de cinco puntos, como se muestra en la Tabla 1, en esta prueba se evaluaron atributos como color, olor, sabor y apariencia del producto final.

Tabla 1

Escala hedónica

Valor	Grado de aceptabilidad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	No me gusta ni me disgusta
4	Me gusta moderadamente
5	Me gusta mucho

Previo al análisis sensorial, se realizó un diseño experimental para los tratamientos y se obtuvo un arreglo factorial 3x2 obteniendo seis tratamientos. Se efectuó el análisis de varianza ANOVA simple de un diseño completamente al azar, aplicando la prueba de Tukey con un margen de error del 5 %, la cual permitió realizar la comparación de medias e identificar si existían diferencias significativas que no se ajustan al nivel de confianza ($p < 0,05$), utilizando como referencia Gutiérrez y Vara (2008). Se empleó el programa Infostat, versión 2020, con la finalidad de

obtener el mejor tratamiento, correspondiente a la mejor formulación, tiempo y temperatura de inmersión. A continuación, se muestra en la Tabla 2 el esquema de experimento para cada tratamiento.

Tabla 2

Análisis fisicoquímicos

Tratamiento	Descripción	Esquema del experimento	Número de repeticiones
T1F	a1 b1 c1	36,66 % de hojas de arrayán, 43,33 % de hojas de sunfo, 10% de mora de Castilla y 10 % de hojas de estevia a 90 °C durante 3 minutos.	3
T2F	a2 b1 c1	23,33 % de hojas de arrayán, 33,33 % de hojas de sunfo, 33,33 % de mora de Castilla y 10% de hojas de estevia a 90 °C durante 3 minutos.	3
T3F	a3 b1 c1	36,66 % de hojas de arrayán, 26,66 % de hojas de sunfo, 26,66 % de mora de Castilla y 10 % de hojas de estevia a 90 °C durante 3 minutos.	3
T4F	a1 b2 c2	36,66 % de hojas de arrayán, 43,33 % de hojas de sunfo, 10 % de mora de Castilla y 10 % de hojas de estevia a 80 °C durante 5 minutos.	3
T5F	a2 b2 c2	23,33% de hojas de arrayán, 33,33 % de hojas de sunfo, 33 % de mora de Castilla y 10% de hojas de estevia a 80 °C durante 5 minutos.	3
T6F	a3 b2 c2	36,66 % de hojas de arrayán, 43,33 % de hojas de sunfo, 10 % de mora de Castilla y 10 % de hojas de estevia a 80 °C durante 5 minutos.	3

Análisis fisicoquímicos

Una vez obtenido el producto, de acuerdo con la Norma INEN 2392 para hierbas aromáticas, se realizaron las siguientes determinaciones:

- Número de tratamientos: 6
- Número de repeticiones: 3
- Unidades experimentales: 18 unidades experimentales
- Tamaño de unidad experimental: 20 g por cada tratamiento.

Determinación de humedad

Mediante la Norma NTE INEN-ISO 1573 se procedió a determinar el contenido de humedad en cada una de las formulaciones obtenidas con el objetivo de verificar si cumplían con el porcentaje máximo de humedad establecido en la norma. Primero, se colocaron las cápsulas en la estufa marca Binder ED 53 a una temperatura de 103 ± 2 °C durante una hora, se enfriaron en el desecador de vacío de vidrio borosilicatado Pyrex durante aproximadamente 20 minutos, a continuación se pesaron en una balanza analítica marca Mettler Toledo. Luego se colocaron en cada una de las cápsulas 3 g de muestra y se llevaron a la estufa previamente calentada a una temperatura de $105 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ durante 4 horas. Una vez cumplido el tiempo, se trasladaron al desecador durante un tiempo de 20 minutos, finalmente, se pesaron en una balanza analítica. Para realizar el cálculo del porcentaje de humedad, se utilizó la ecuación 1:

$$\% \text{ Humedad} = (m_0 - m_1) * \frac{100}{m_0}$$

Donde:

m_0 = Es la masa inicial en gramos de la porción de prueba

m_1 = Es la masa, en gramos de la porción de prueba seca

Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó en las formulaciones obtenidas con el propósito de precisar el contenido de minerales presentes en este tipo de alimento, por lo que se utilizó como referencia la Norma NTE INEN ISO 1577 y la Norma AOACC 999.11. Se procedió a colocar los crisoles en la estufa marca Binder ED 53 a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante una hora y se trasladaron al desecador de vacío de vidrio borosilicatado Pyrex TM por 20 minutos, posteriormente, se pesaron en la balanza analítica. Se colocaron 3 g de muestra en cada crisol, los cuales se llevaron a la mufla marca Comecta modelo N8L a una temperatura de $530\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4 horas hasta que la ceniza presentara un color blanco o ligeramente gris. Por último, se llevaron los crisoles al desecador para que se enfriaran y poder pesarlos. Para realizar el cálculo se empleó la ecuación 2:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_1 - P_2)}{M} * 100$$

Donde:

P_1 = masa del crisol con las cenizas (g)

P_2 = masa del crisol vacío (g)

M = masa de la muestra (g)

A continuación, a la muestra de cenizas obtenidas se le añadieron 25 ml de ácido clorhídrico (HCl), el crisol se colocó en un recipiente para evaporarlo durante 10 minutos, antes, se cubrió el crisol con un vidrio de reloj, una vez transcurrido el tiempo, se filtró con agua destilada tibia, y se colocó en la mufla a $530\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 1 hora, cumplido el tiempo, se llevó al desecador durante 20 minutos y finalmente se pesaron las muestras. Para realizar el cálculo se hizo uso de la ecuación 3:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{100}{P} * \frac{100}{M} X p^2$$

Donde:

P = masa del contenido total de cenizas (g)

M = masa de la muestra molida o calcinada (g)

Xp = masa de la ceniza insoluble en ácido (g)

Determinación de pH

La determinación de pH se realizó con el propósito de cuantificar la acidez o alcalinidad presente en la infusión, se utilizó como referencia el trabajo de Vindell & Ochoa, (2015), en el cual se empleó un potenciómetro marca Apera SX811-SS previamente lavado y calibrado, a una temperatura de 63,5 °C, el electrodo se introdujo en 10 ml de muestra de la infusión y se registró el valor que reportó el equipo.

Análisis microbiológico

Los requisitos microbiológicos que establece la Norma INEN 2392 son: *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Clostridium perfringers* y *Bacillus cereus*. La evaluación microbiológica se realizó utilizando placas Compact Dry, un producto de Nissui Pharmaceutical Co., Ltd., que son placas de medios cromogénicos listas para usar y que se pueden usar como sustituto directo del método convencional. Una vez colocadas las muestras en cada placa, se las llevó a la incubadora marca Memmert: *Escherichia coli* a 35 ± 2°C durante 24 ± 2 horas, *Salmonella* a 42 ± 1 °C durante 22 ± 2 horas, y *Bacillus cereus* a 35 ± 2 °C durante 24 ± 2 horas según lo establece el Manual de usuario CompactDry TM. Finalmente, se procedió a contabilizar si existe la presencia de colonias mediante el contador de colonias marca Isolab.

Resultados y Discusión

Deshidratación de la materia prima

Previo a la deshidratación, se consideró el porcentaje inicial de humedad y la textura de cada una de las hojas y de la fruta para no incinerarlas o que estas pudieran perder sus características sensoriales. Mediante la técnica tradicional para la determinación de humedad, se obtuvo que la humedad inicial fue de 56,01 % para el arrayán, para el sunfo, 85,56 %, para la mora de Castilla el 87,41 y para la estevia el 84,2 %. En la Tabla 3 se puede evidenciar el porcentaje de humedad de cada una de las muestras en cada intervalo de tiempo.

Según Fellows (2017), para llevar a cabo el proceso de deshidratación se requiere seleccionar las mejores condiciones de secado para cada tipo de alimento, con el objetivo de reducir al mínimo impacto en su composición. Por su parte, Calín-Sánchez et al. (2020) señalan que uno de los parámetros más importantes durante el proceso de deshidratación es la temperatura, indicando que las temperaturas recomendadas para deshidratar las hierbas aromáticas son mayores a 35 °C y, para las frutas, mayores a 50 °C. En cuanto al tiempo, este varía de acuerdo con el tipo de alimento y las temperaturas de deshidratación.

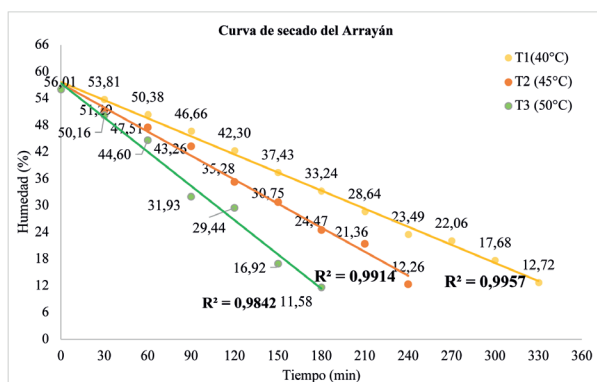
Tabla 3*Tratamientos realizados para la formulación de la infusión*

Materia prima	Arrayán			Sunfo			Estevia		
Tratamiento	T ₁ D	T ₂ D	T ₃ D	T ₁ D	T ₂ D	T ₃ D	T ₁ D	T ₂ D	T ₃ D
Tiempo(min)									
30	53,81	51,28	50,16	82,14	81,29	78,61	82,58	79,27	73,78
60	50,38	47,51	44,60	75,06	69,59	54,31	78,78	68,32	68,49
90	46,65	43,25	31,93	67,59	55,22	32,86	72,21	43,07	26,15
120	42,29	35,28	29,43	62,95	43,01	13,12	62,12	56,28	18,57
150	37,43	30,75	16,92	56,40	35,04	7,79	56,04	52,73	8,23
180	33,23	28,11	11,57	43,16	29,66	-	56,89	37,45	-
210	28,63	24,46	-	34,18	24,74	-	41,48	29,44	-
240	23,48	21,35	-	24,05	17,50	-	33,50	22,52	-
270	22,05	12,26	-	17,35	12,99	-	26,77	13,44	-
300	17,680	-	-	12,92	7,87	-	18,09	4,37	-
330	12,72	-	-	8,31	-	-	13,36	-	-
360	-	-	-	-	-	-	8,64	-	-

En la Figura 3 se exponen las curvas de secado del arrayán para cada uno de los tratamientos, en el T_{1D} se requirieron 330 minutos para que la deshidratación alcanzara el nivel esperado, una humedad del 12,72 %, mientras que en el T_{2D} alcanzó una humedad del 12,26 % en 240 minutos y, en el T_{3D} se requirieron 180 minutos para una humedad del 11,57 %. En todos los tratamientos, el coeficiente de correlación se encuentra muy cercano a la unidad, por lo que los datos tienden a ser lineales y no hay datos dispersos.

Figura 3

Curva de secado del arrayán



Las condiciones de deshidratación que se establecieron en este estudio para el arrayán fueron: temperatura de 45 °C durante 250,27 min (obtenido del modelo de regresión lineal: $y = -0,1797x + 57,358$), con una humedad de 11,88 %. Por el contrario, Gárate et al. (2015), en su estudio de secado de hojas de arrayán, definieron que la temperatura ideal para deshidratar este tipo de hojas es a 50 °C durante 150 minutos, obteniendo una humedad del 9,07 %, ya que se mantienen el color, olor, sabor y los aromas. Las dos investigaciones difieren en temperatura y tiempo, ya que en la primera se eligió una temperatura de 45 °C debido a que el rendimiento obtenido y los atributos como olor y sabor fueron más intensos, a diferencia del tratamiento en el que se deshidrató a 50 °C, donde la intensidad de estas características sensoriales fue baja. Por otra parte, en la segunda investigación se utiliza la temperatura de 50 °C y se obtuvieron buenas

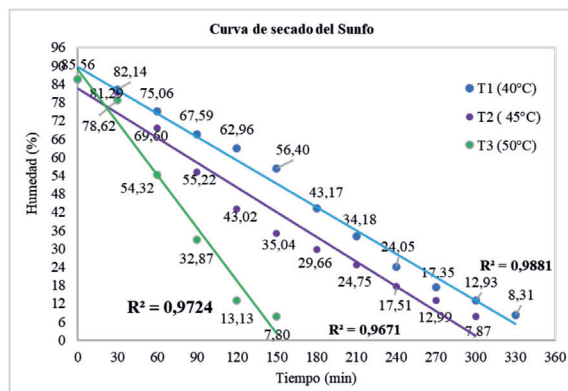
características sensoriales. Cabe mencionar que la humedad inicial de las hojas de arrayán fue de 56,01 % para la presente investigación, mientras que para la investigación de Gárate et al., (2015) fue de 61,45%, concluyendo así que las humedades iniciales pueden representar una variabilidad en los resultados finales de la deshidratación.

En la Figura 4 se presentan las curvas de secado del sunfo obtenidas. En el T_{1D} la humedad que se obtuvo a los 330 minutos fue de 8,31 %, mientras que en el T_{2D} , a los 300 minutos, se obtuvo una humedad del 7,87 % y en el T_{3D} a los 150 minutos la humedad llegó a 7,80 %.

Además, se evidencia que en los dos primeros tratamientos la diferencia de tiempo para llegar al 12,96 % de humedad promedio es de 30 minutos (270 y 300 minutos), mientras que en el tratamiento 3 el tiempo de deshidratación se reduce a la mitad del tratamiento 2, lo que muestra que en el primer tratamiento la velocidad de secado ocurrió de forma acelerada.

Figura 4

Curva de secado del sunfo



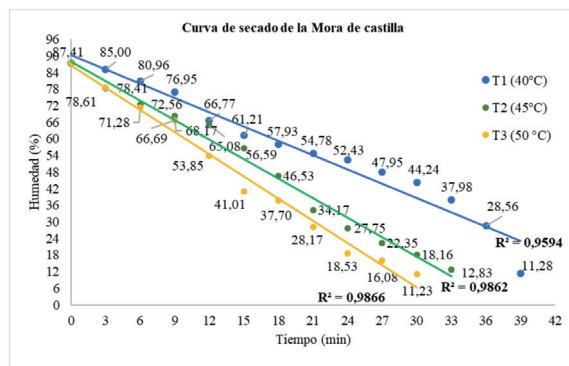
El proceso de deshidratación del sunfo en esta investigación fue llevado a cabo a 45 °C durante 262,40 minutos (obtenido del modelo de regresión lineal), con una humedad resultante de 11,67 %. Por otra parte, Coral (2018) empleó una temperatura de 50 °C ± 2 durante 180 minutos, alcanzando una humedad del

10%, mientras que Quimbiamba (2021) utilizó una temperatura de 50 °C durante 180 minutos, obteniendo una humedad del 1,51%. Pese a que las investigaciones de Coral (2018) y Quimbiamba (2021) aplicaron la misma temperatura (50 °C) y tiempo (180 minutos) de deshidratación, la humedad resultante presentó una variación significativa. En comparación con las investigaciones mencionadas y la presente investigación, tanto los parámetros de deshidratación como la humedad resultante mostraron una estrecha relación con los parámetros utilizados por Coral (2018); sin embargo, no se emplearon dichos parámetros debido a que el sunfo deshidratado en estas condiciones perdió notablemente el olor y sabor.

Las curvas de secado para la mora de Castilla que se muestran en la Figura 5 indican que el T_{1D} alcanzó una humedad del 11,28 % en 39 horas, para el T_{2D} la humedad obtenida fue de 12,83 % en 33 horas, y en T_{3D} en 30 horas alcanzó una humedad del 11,23%. El coeficiente de correlación en el tratamiento T1 fue de 0,95; en el tratamiento T2 presentó el 0,99; y en el tratamiento T3 fue de 0,98. Como se evidencia, estos valores son cercanos a la unidad, por lo que el ajuste lineal es casi perfecto.

Figura 5

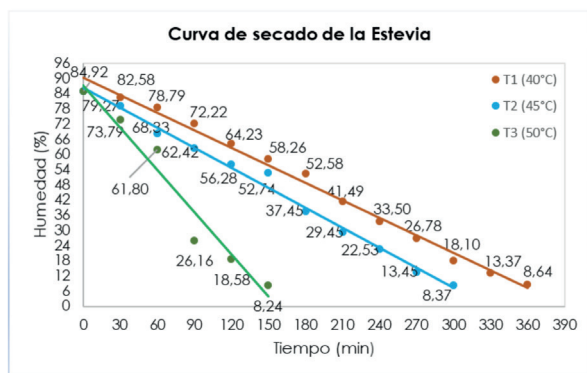
Curva de secado de la mora de Castilla



En esta investigación la deshidratación de la mora de Castilla acondicionada en láminas de 2 mm se realizó a tres condiciones diferentes: a 40 °C durante 39 horas, obteniendo una humedad del 11,28%, a 45 °C durante 33,39 horas.

Figura 6

Curva de secado de la estevia



Para llevar a cabo la deshidratación de la estevia, los parámetros definidos fueron: a 45 °C durante 276,95 minutos (obtenido del modelo de regresión lineal), alcanzando una humedad del 11,79%, y a 50 °C durante 150 minutos, con una humedad del 8,24%. En el estudio de Quimbiamba (2021) se utilizó una temperatura de 50 °C durante 180 minutos, obteniendo una humedad del 1,51 %, lo que difiere de esta investigación, ya que los porcentajes de humedad obtenidos presentan una diferencia significativa. Además, al llevar a cabo la deshidratación a temperatura de 50 °C se obtiene un rendimiento muy bajo del 7,44 %.

Una vez considerados los tiempos y temperaturas, se analizaron los rendimientos y las características sensoriales obtenidas al final de la deshidratación para determinar el tratamiento óptimo. En la Tabla 4 se muestran los rendimientos para cada tratamiento y cada materia prima en estudio. Para el cálculo del rendimiento se utilizó la ecuación 4:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{rendimiento final}}{\text{rendimiento inicial}} * 100$$

Tabla 4*Rendimientos de las materias primas*

Materia prima	Tratamiento	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
Arrayán	T ₁ D	33,967	10,573	31,1281
	T ₂ D	33,252	11,793	35,4675
	T ₃ D	33,772	5,1823	15,3449
Sunfo	T ₁ D	17,368	2,1547	14,5104
	T ₂ D	18,025	2,4090	13,3643
	T ₃ D	17,781	2,5801	12,4059
Mora de Castilla	T ₁ D	11,207	11,558	10,3141
	T ₂ D	17,191	20,520	11,9367
	T ₃ D	14,496	16,781	11,5768
Estevia	T ₁ D	16,337	1,825	11,1705
	T ₂ D	15,418	2,054	13,3214
	T ₃ D	17,150	1,2766	7,4435

En el arrayán los tratamientos T1 y T2 presentaron un rendimiento del 31,12 % y 35,46 %, mientras que en el tratamiento T3 el rendimiento se redujo al 15,34 %. De acuerdo con lo antes expuesto, el tratamiento T2 presenta el rendimiento más alto. Con base a las características sensoriales finales, se evidenció que en los tratamientos T2 y T3 se obtuvo un color amarillento, a diferencia del tratamiento T1, en el cual el color se tornó verde, en cuanto al olor y el sabor, en los tratamientos T1 y T2 estos atributos se presentaron más intensos que en el tratamiento T3, en el cual su intensidad fue baja.

En el sunfo, se observó que no hubo una diferencia notoria en los resultados de los rendimientos de todos los tratamientos, ya que en los tratamientos T1, T2 y T3 los valores resultaron bajos: 12,40 %, 13,36 % y 14,51 %, respectivamente.

(obteniendo del modelo de regresión lineal), alcanzando una humedad de 11,52%; y a 50 °C durante 30 horas, con una humedad del 11,23% (ver Figura 5). Márquez y Ciro (2002) llevaron a cabo la deshidratación de la mora en dos tamaños de partícula: moras trituradas y moras licuadas. Las muestras de mora trituradas fueron deshidratadas a 35 °C durante 45 horas alcanzando una humedad de 17,40%, a 50 °C durante 24 horas, con una humedad del 15,04 % y a 65 °C durante 10 horas, llegando a una humedad del 11,02 %. Las muestras de moras licuadas se sometieron a deshidratación a 35 °C durante 56 horas, alcanzando una humedad de 28,06%; a 50 °C durante 34 horas, obteniendo una humedad del 20,64 %; y a 65 °C durante 14 horas, llegando a una humedad del 16,60%. Al relacionar los resultados, se evidencia que el tamaño de partícula influye en el proceso de deshidratación, debido a que al reducir el tamaño de la partícula aumenta el área superficial del alimento, lo que favorece una mayor transferencia de calor y, por lo tanto, incrementa la evaporación superficial del agua contenida en el alimento.

En la Figura 6 se presentan las curvas de secado para la estevia. Se observó que el tratamiento T_{1D} alcanzó una humedad del 8,64 % a los 360 minutos, mientras que el T_{2D} a los 300 minutos, logró una humedad del 4,37 %, y el T_{3D} , al cabo de los 150 minutos, obtuvo el 8,23 % de humedad. El coeficiente de correlación en el tratamiento T1 y T2 es muy cercano a la unidad, dando como resultado un ajuste lineal casi perfecto a diferencia del tratamiento T3. Sin embargo, en ninguno de los tratamientos se pudo determinar el tiempo exacto en el que se alcanzó a una humedad máxima del 12%.

En el T_{1D} y T_{2D} , las características sensoriales como el color, olor y sabor se mostraron intensas y no presentaron diferencias significativas, mientras que en el T_{3D} , pese a que tardó menos en deshidratarse y el rendimiento obtenido fue el más alto, las características sensoriales se perdieron notoriamente.

El rendimiento obtenido en la deshidratación de la mora de Castilla para el tratamiento T1 fue de 10,31%; en el tratamiento T2, presentó el 11,93%; y en el tratamiento T3 fue de 11,57%, evidenciándose un bajo rendimiento en todos los tratamientos. En cuanto a las características sensoriales, en los tratamientos T_{1D} y T_{2D} el color, sabor y olor fueron bastante semejantes, mientras que en el T_{3D} la mora deshidratada obtuvo menor aceptación debido a que las características

sensoriales se perdieron notoriamente por la mayor temperatura empleada.

En la estevia deshidratada, el rendimiento para el tratamiento T1 fue de 11,17 %; en el tratamiento T2, de 13,32%; y en el tratamiento T3, del 7,44%, por lo que el T_{2D} obtuvo el porcentaje más alto, mientras que el rendimiento en el T_{3D} fue bastante bajo en comparación de los dos primeros. En cuanto a las características sensoriales, en el atributo sabor no se pudo diferenciar algún cambio entre tratamientos, debido a que la intensidad del dulzor fue similar.

Dado que no se pudo precisar el tiempo en el que la humedad alcanzó el 12 % en todos los tratamientos, se aplicó el modelo de regresión lineal al tratamiento que más se acercó a las condiciones requeridas, como son el porcentaje de humedad más próximo al citado, las características sensoriales finales y el rendimiento obtenido. En la Tabla 5 se presentan los tratamientos para cada materia prima y el modelo de regresión resuelto para obtener el tiempo óptimo.

Tabla 5

Modelo de regresión lineal para determinar el tiempo óptimo de deshidratación

Materia prima	Tratamiento	Modelo de regresión lineal	Tiempo óptimo	% Humedad
Arrayán	T _{2D}	$y = -0,1845 x + 58,176$	250, 27 min	11,88
Sunfo	T _{2D}	$y = -0,2638 x + 81,223$	262,40 min	11,67
Mora de Castilla	T _{2D}	$y = -2,3375 x + 87,729$	33,39 h	11,52
Estevia	T _{2D}	$y = -0,2735 x + 87,747$	276,95 min	11,79

Utilizando las ecuaciones obtenidas en las curvas de secado del T_{2D} de cada materia prima, se determinó que para el arrayán el tiempo óptimo fue 250,27 minutos y el porcentaje de humedad obtenido por gravimetría fue de 11,88 %.

En la curva de secado del sunfo presentada en la Figura 4, se observa que a los 270 minutos, superó el límite máximo de humedad con el 12,99 %; mientras que a los 300 minutos disminuyó considerablemente la humedad al 7,87 %, mediante el modelo de regresión lineal, se estableció que el tiempo óptimo fue 262,40 minutos logrando el 11,67 % de humedad encontrándose dentro de los valores antes mencionados.

En la mora de castilla, a las 33 horas como se observó en la Figura 5, se alcanzó el 12,83 % de humedad, por lo que, al resolver la ecuación, se obtuvo que el tiempo óptimo para deshidratar la mora de castilla resultó ser de 33,39 horas, alcanzando una humedad del 11,52 %.

En la Figura 6 se muestra que a los 270 minutos la humedad de la estevia alcanzó el 13,45 % y a los 300 minutos disminuyó considerablemente al 4,37 % de humedad, por lo que el tiempo óptimo calculado fue de 276,95 minutos con la humedad resultante de 11,79 %.

Mediante los resultados analizados, también se puede concluir que el tiempo de deshidratación depende de la temperatura y, de esta manera, existe una relación inversamente proporcional entre el tiempo de deshidratación y la humedad, ya que a mayor tiempo de deshidratación la humedad será menor. Además, según Chicaiza y Chito (2017), la temperatura de deshidratación afecta en las características sensoriales del producto; por lo tanto, el tiempo y espesor del alimento a deshidratar son factores que influyen en la aceptabilidad del producto final, cuya principal característica es preservar aroma, sabor y olor.

Cabe mencionar también que a pesar de que mediante el modelo de regresión lineal se determinó el tiempo exacto de deshidratación, la humedad resultante no fue exactamente el 12 %, esto debido a que intervienen algunos factores como la disponibilidad y calibración del equipo, las condiciones ambientales, el tamaño del gránulo, la rapidez con la que se pese para evitar que la muestra gane o pierda humedad del ambiente entre otros como menciona Enrique (2008).

Evaluación de la infusión

La evaluación sensorial es una disciplina científica que se utiliza para medir,

analizar e interpretar las reacciones percibidas sobre un alimento a través de los sentidos de la vista, el olfato, el gusto y el oído (Severiano, 2019). En este estudio se utilizó una escala hedónica de 5 puntos para evaluar los atributos de color, olor, sabor y apariencia, Mediante los datos arrojados en la evaluación sensorial se pudo realizar un análisis estadístico por cada atributo resaltando que en el T_{1F} el color y olor tuvieron mayor aceptación.

a) Olor

Los resultados del análisis de varianza del atributo olor (no mostrados) en donde el p-valor 0,016 fue menor que 0,05 indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En la tabla 6 se presentan las medias obtenidas para cada uno de los tratamientos por medio de la aplicación de la prueba de Tukey, encontrando diferencias significativas de los tratamientos T_{1F} y T_{2F} con respecto a los otros tratamientos que no presentan diferencias entre sí. Debido a que la media más alta de 3,78 fue obtenida para el T_{1F}, esto implica que resultó el tratamiento más aceptado con respecto al olor mientras que el menos aceptado fue el T_{3F} con una media de 3,28.

Tabla 6
Prueba de Tukey para el atributo olor

Tratamientos	Medias	Tamaño muestral	Error estándar	Agrupación	
T ₁ F	3,78	50	0,12	A	
T ₂ F	3,68	50	0,12	A	
T ₄ F	3,48	50	0,12	A	B
T ₅ F	3,42	50	0,12	A	B
T ₆ F	3,32	50	0,12	A	B
T ₃ F	3,28	50	0,12	B	

b) Color

El análisis de varianza del atributo color tuvo diferencias significativas entre los tratamientos ya que el p valor $< 0,0001$ fue menor a 0,05. En la Tabla 7 se puede evidenciar que el T₁F fue el tratamiento más aceptado con la media más alta de 4,26, y el tratamiento menos aceptado fue el T₆F.

Tabla 7

Prueba de Tukey para el atributo color

Tratamientos	Medias	Tamaño muestral	Error estándar	Agrupación	
T ₁ F	4,26	50	0,12	A	
T ₂ F	3,84	50	0,12	A	B
T ₅ F	3,70	50	0,12	B	C
T ₃ F	3,44	50	0,12	B	C
T ₄ F	3,42	50	0,12	B	C
T ₆ F	3,26	50	0,12		C

c) Sabor

El p valor resultante 0,1252 es mayor que 0,05 por lo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. En la Tabla 8 se observa que no existe diferencia significativa entre todos los tratamientos, sin embargo, tomando como referencia la media más alta de 3,68 el tratamiento más aceptado fue el T₁F.

Tabla 8*Prueba de Tukey para el atributo sabor*

Tratamientos	Medias	Tamaño muestral	Error estándar	Agrupación
T ₁ F	3,68	50	0,13	A
T ₂ F	3,50	50	0,13	A
T ₅ F	3,48	50	0,13	A
T ₄ F	3,34	50	0,13	A
T ₃ F	3,30	50	0,13	A
T ₆ F	3,20	50	0,13	A

d) Apariencia

En el atributo apariencia el p valor <0,0001 es menor a 0,05 por lo tanto existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Las medias de los tratamientos como se presentan en la Tabla 9 muestran que los tratamientos T_{2F} y T_{1F} presentaron diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos, en tanto que los tratamientos T_{5F} y T_{4F} son estadísticamente iguales, el tratamiento con mayor aceptación fue el T_{2F} con la media más alta de 4,04 y el tratamiento con menos aceptación fue el T_{6F} con una media de 3,38.

Tabla 9*Prueba de Tukey para el atributo apariencia*

Tratamientos	Medias	Tamaño muestral	Error estándar	Agrupación		
T ₂ F	4,04	50	0,11	A		
T ₁ F	3,92	50	0,11	A		
T ₅ F	3,72	50	0,11	A	B	
T ₄ F	3,62	50	0,11	A	B	C
T ₃ F	3,38	50	0,11		B	C
T ₆ F	3,28	50	0,11			C

El T_{1F} obtuvo mayor aceptación en los atributos de color y olor, mientras que en el atributo apariencia fue el T_{2F}, en cuanto al sabor no existió diferencia significativa sin embargo el T_{1F} presentó la media más alta.

En la investigación de Quimbiamba (2021) utilizó una escala hedónica de 7 puntos y se pudo observar que el tratamiento 8 (25% sunfo , 40 % flores de ataco y 25 % hojas de ataco y 10% hojas de estevia a 90 °C durante 3 min) tuvo mayor aceptación en tres de los atributos evaluados (sabor, color y apariencia), Madera (2022) empleó una escala hedónica de 5 puntos en donde determinó que el tratamiento 5 tuvo aceptación en tres de los atributos evaluados (apariencia, olor y sabor) demostrando así que los indicadores sensoriales aprueban la aceptación o el rechazo que tiene el producto y Giler (2019) evaluó la primera impresión (escala de 5 puntos), el aroma, gusto y retrogusto (escala de 3 puntos) y la aceptación general de la infusión (escala de 4 puntos) en donde obtuvo que el producto final fue llamativo, de aroma fuerte, en cuanto al gusto y retrogusto fue de sabor amargo y la aceptación del producto fue buena. En base a las referencias mencionadas anteriormente se definió una escala hedónica así como también los atributos óptimos para realizar el análisis sensorial en la presente investigación.

En cuanto a las escalas hedónicas utilizadas, se difiere con Quimbiamba

(2021), ya que al emplear escalas con mayor número de puntos, el análisis para los jueces semientrenados puede resultar confuso o a su vez, tedioso. Además, se debe tomar en cuenta los aspectos que analizó Giler (2019), debido a que mediante estos parámetros se pueden determinar las percepciones relacionadas aromas y sensaciones como amargor y astringencia, que pueden producir los taninos presentes en algunas plantas o frutas.

Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos de humedad y cenizas fueron realizados a las bolsitas filtrantes que contenían las tres formulaciones desarrolladas y no a los seis tratamientos obtenidos puesto que cambian las temperaturas y tiempos de inmersión más no la formulación, a diferencia del pH el cual si fue determinado para cada tratamiento.

La Norma INEN 2392 establece los requisitos fisicoquímicos (humedad y cenizas insolubles en HCl) que deben cumplir las hierbas aromáticas, esto debido a que si la humedad es superior al 12 % el tiempo de conservación resulta menor y existe riesgo de que la proliferación de microorganismos sea mayor, así como también el rápido deterioro del producto como menciona García y Rayo (2019), por otro lado el porcentaje de cenizas insolubles en ácido clorhídrico se aplica para comprobar la presencia de materiales de origen silíceo como tierra, arena o grava, así como también iones de metales pesados como plata, mercurio o plomo que pueden ser tóxicos al ser ingeridos por el ser humano (Taco, 2023).

a) Humedad

En la Tabla 10 se puede observar el porcentaje de humedad para las formulaciones evaluadas, evidenciando que se realizaron tres repeticiones. En la formulación 1 se obtuvo una media del 11,566 % de humedad con una desviación estándar de $\pm 0,197$, en la formulación 2, el 11,72 % con una desviación estándar de $\pm 0,109$; y en la formulación 3, el 14,69 % con una desviación estándar de $\pm 0,436$. Por lo tanto, se concluye que las formulaciones 1 y 2 están dentro del rango máximo de

humedad permitido (12 %), mientras que en la formulación 3 el porcentaje de humedad sobrepasa el límite máximo, por lo que no es conveniente emplearla, ya que puede ocurrir una proliferación de microorganismos que afecte la vida útil del producto. Además, los resultados obtenidos en la desviación estándar reflejan que son menores a la unidad, por lo tanto, los datos no exhiben mayor variabilidad en función de la media.

b) Cenizas

El contenido de minerales presentes en cada una de las formulaciones se muestra en la Tabla 11. La formulación 1 presentó una media del 2,15 % de cenizas insolubles en ácido, con una desviación estándar de $\pm 0,044$; la formulación 2, el 2,69 % con una desviación estándar de $\pm 0,207$; y la formulación 3, el 3,02 % con una desviación estándar del $\pm 0,0429$. Todos estos valores se encuentran dentro del límite máximo, que es el 3,5 % expresado en la Norma INEN 2392. Con base en la desviación estándar, los resultados fueron menores a la unidad, lo que demuestra que no existe dispersión significativa en los datos; por lo tanto, los resultados tienden a estar agrupados cerca de la media obtenida.

Tabla 10*Determinación de humedad*

Formulación	Repetición	% Humedad	Media
Formulación 1 (T1F -T4F)	R1	11,5568	11,5660 ± 0,1972
	R2	11,3736	
	R3	11,7677	
Formulación 2 (T2F -T5F)	R1	11,7859	11,7213 ± 0,1095
	R2	11,5948	
	R3	11,7833	
Formulación 3 (T3F -T6F)	R1	14,5706	14,6939 ± 0,4360
	R2	14,3322	
	R3	15,1789	

Tabla 11*Determinación de cenizas insolubles en HCl*

Formulación	Repetición	% Cenizas insolubles en ácido	Media
Formulación 1 (T _{1F} -T _{4F})	R ₁	2,1869	2,1596 ± 0,0447
	R ₂	2,1080	
	R ₃	2,1840	
Formulación 2 (T _{2F} -T _{5F})	R ₁	2,6980	2,6950 ± 0,2078
	R ₂	2,4857	
	R ₃	2,9014	
Formulación 3 (T _{3F} -T _{6F})	R ₁	3,0776	3,0284± 0,0429
	R ₂	3,0089	
	R ₃	2,9987	

c) pH

Utilizando el pH-metro calibrado, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 12. Pese a que se empleó la misma formulación en cada dos tratamientos, el pH cambió en todos; por lo tanto, sí existe influencia en las temperaturas y tiempos de inmersión. También se evidencia que los tratamientos T_{1P}, T_{3P}, T_{4F} y T_{6F} presentan un pH por encima de 4,6, por lo que tienen baja acidez; y por el contrario el T_{2F} y T_{5F} presentaron un pH por debajo de 4,6 lo que muestra que son los tratamientos con mayor acidez. Esto se debe a que los tratamientos 2 y 5 están constituidos por el 23,33 % de arrayán, 33,33 % de sunfo, 33,33 % de mora y el 10 % de estevia, con tiempos y temperaturas de inmersión de 90 °C durante 3 minutos y 80 °C durante 5 minutos respectivamente. A diferencia de los otros tratamientos, presentan un mayor porcentaje de mora de castilla, lo que genera el pH ácido.

Tabla 12*pH obtenido para cada tratamiento*

Repeticiones	Tratamientos					
	T1F	T4F	T2F	T5F	T3F	T6F
R1	4,,98	4,,70	4,,28	4,,71	5,,63	4,,60
R2	5,,04	4,,89	4,,35	4,,58	5,,36	4,,69
R3	4,,69	4,,23	4,,14	4,,69	5,,41	4,,89
Media	4,,90	4,,76	4,,26	4,,51	5,,47	4,,73

Por su parte, Ray y Bhunia (2010) afirman que el pH de un alimento es un factor intrínseco que influye en el crecimiento y viabilidad de los microorganismos, por lo que cada especie microbiana tiene un rango de pH para su desarrollo. Los mohos crecen a un pH de 1,5 a 9; las levaduras entre 2 a 8,5; las bacterias grampositivas, de 4 a 8; y las gramnegativas de 4,5 a 9. El pH óptimo para desarrollarse *Escherichia coli* es de 6 a 7, para *Salmonella*, entre 7 a 7,5; para *Bacillus cereus*, de 6 a 7 y *Clostridium perfringers* en un pH de 7,2.

Análisis microbiológico

La evaluación microbiológica se le realizó al mejor tratamiento, T_{1F} (36,66 % de arrayán, 43,33 % de sunfo, 10 % de mora de Castilla y 10% de estevia), con la finalidad de evaluar la inocuidad del producto final. Las bolsas filtrantes que contenían la infusión del mejor tratamiento fueron almacenadas en una funda Ziploc durante dos meses para el respectivo análisis. Al realizar la inoculación en las placas Compact Dry y, posteriormente, el conteo de microorganismos no se identificó el crecimiento alguno de colonias como se observa en la Tabla 13, por lo tanto, es un producto inocuo y apto para el consumo humano.

Tabla 13*Resultados microbiológicos*

Microorganismos UFC/g	Repeticiones	Límite máximo permitido INEN 2392	Resultados
<i>Escherichia coli</i>	R1	1×10^2	<10
	R2		<10
	R3		<10
<i>Salmonella</i>	R1	Ausencia	Ausencia
	R2		Ausencia
	R3		Ausencia
<i>Bacillus cereus</i>	R1	1×10^4	<10
	R2		<10
	R3		<10

En la presente investigación, las materias primas fueron deshidratadas a 45 °C, y los tiempos de deshidratación dependieron del tipo de materia prima. La inmersión de la infusión se realizó a una temperatura de 90 °C por 3 minutos y al ejecutar los análisis fisicoquímicos del mejor tratamiento de la infusión filtrante se evidenció una humedad del 11,56 %, el 2,15 % de cenizas insolubles en ácido clorhídrico y un de pH 4,90.

Por su parte, Madera (2022), en el desarrollo de su infusión de hojas de ortiga y aguacate, estableció que las materias primas fueron deshidratadas a 70 °C durante 2,74 horas para las hojas de ortiga y 3,32 horas para las hojas de aguacate. Al realizar los análisis fisicoquímicos del mejor tratamiento correspondiente a la infusión, obtuvo el 12 % de humedad y el 0,46 % de cenizas, pero no determinó el pH de la infusión.

Por el contrario, en el estudio de Sosa y Martínez (2023), para desarrollar la infusión a base de hojas de culén y menta edulcorada con esteviósido, sometieron a deshidratación a las materias primas a temperatura de 60 °C durante 7 horas.

En cuanto a temperatura y tiempo de inmersión utilizaron 90 °C durante 5 minutos y al realizar los análisis fisicoquímicos al mejor tratamiento obtuvieron una humedad del 7,04 %, 6,2 % de cenizas totales y 7,8 % de pH.

Quimbiamba (2021), en la elaboración de la infusión a base de ataco y sunfo endulzada con estevia, deshidrató las materias primas a 50°C durante 3 horas; además, la condición óptima de inmersión fue 90 °C y 3 minutos. En los análisis fisicoquímicos, el mejor tratamiento obtuvo una humedad del 1,51 %, el 0,24 % de cenizas insolubles en ácido clorhídrico y un pH de 6,5.

Se evidencia que la infusión obtenida en este estudio difiere de las investigaciones antes expuestas, excepto con la investigación de Madera (2022) en cuanto al tiempo de deshidratación, debido a que se comprobó que este parámetro influye en el porcentaje de humedad y, por esta razón, las características sensoriales finales de cada materia prima, así como también, sus rendimientos. Por ello, que para cada materia prima a deshidratar se debe establecer un tiempo determinado como lo realizó Madera (2022) y la presente investigación.

Conclusiones

Se determinó que los parámetros de deshidratación óptimos para el arrayán fueron 45 °C durante 250,27 minutos, obteniendo una humedad del 11,88 %; para el sunfo, 45 °C durante 262,40 minutos, con una humedad del 11,67 %, en cuanto a la mora de Castilla, se la deshidrató a 45 °C durante 32,39 horas, alcanzando una humedad del 11,52 %; y finalmente, para la estevia, la temperatura y tiempo óptimos fueron de 45 °C durante 276,95 minutos, con una humedad del 11,79 %. Estos parámetros fueron los mejores no solo por el porcentaje de humedad cercano al 12 %, sino también por la incidencia en las características sensoriales obtenidas al final de la deshidratación y el porcentaje de rendimiento.

Se evaluaron cada uno de los tratamientos mediante el análisis sensorial obteniendo mayor aceptabilidad en el T_{IF} (36,66 % arrayán, 43,33 % sunfo, 10 % mora de Castilla y 10 % estevia) a una temperatura de inmersión de 90 °C por 3 minutos, resultando ser el óptimo para resaltar el color, olor y sabor al momento de realizar la infusión y consecuentemente, su degustación, demostrando que se

puede obtener una infusión a partir de estas materias primas.

Los resultados fisicoquímicos del mejor tratamiento T_{1F} de la infusión, arrojan resultados de que las materias primas con las cuales se formuló la infusión cumplen con los requisitos tanto de humedad el 11,72 % como de cenizas 2,69 %, que son valores que se encuentran dentro del límite permitido en la Norma INEN 2392. En cuanto al pH obtenido, fue de 4,90; por lo tanto la infusión posee baja acidez.

Los resultados microbiológicos muestran que no se evidencia la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Bacillus cereus*; por lo tanto, cumple con los límites máximos permitidos para cada microorganismo según la Norma INEN 2392, obteniendo un producto final inocuo y seguro para el consumo.

Recomendaciones

Incorporar las materias primas de esta investigación, especialmente el arrayán, en el desarrollo de nuevos productos, con el fin de fomentar nuevas fuentes de producción, ya que es una planta amigable con el medio ambiente y, además contiene más de 50 compuestos bioactivos.

A partir de los resultados de esta investigación previo a la deshidratación de cualquier materia prima, se debe evaluar su humedad inicial, debido a que este dato varía según el grado de madurez y las condiciones climáticas en las que se encuentre.

Realizar un tratamiento previo a las hojas de estevia para evitar los residuos amargos que pueda presentarse.

Buscar y analizar otro método de deshidratación de la mora de Castilla, con el fin de comparar el tiempo de deshidratación requerido y las características sensoriales finales obtenidas.

Realizar estudios para determinar el porcentaje de compuestos bioactivos presentes en cada una de las plantas al final de la deshidratación, considerando las temperaturas y tiempos definidos en esta investigación.

Se recomienda mejorar las características sensoriales de la infusión utilizando saborizantes permitidos.

Referencias

- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). *Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs*. *Foods*, 9(9), 1261. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
- Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). (2022). *Estevia, una alternativa dulce y saludable*. Desde el Herbario CICY. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022/2022-06-02-Lozano-Monica-Estevia-una-alternativa-dulce.pdf
- Chicaiza, G., & Chito, M. (2017). *Industrialización de la jícama (Smallanthus sonchifolia)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5706/6/PC-000218.pdf>
- Coral, R. P. (2018). *Diseño de una planta para la elaboración de un deshidratado para infusiones de sunfo (Clinopodium nubigenum (Kunth) Kuntze)* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19876/1/CD-9289.pdf>
- Enrique, L. (2008, octubre). *Evaluación de la incertidumbre de algunos factores de influencia en la determinación del contenido de humedad*. Centro de Metrología, Simposio de Metrología 2008. https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/m2/sm2008-m219-1096.pdf
- Fellows, P. (2017). *Food processing technology*. Elsevier.
- Gárate, J., Medina, L., Rondón, G., Pachari, E., & Guillen, Y. R. (2015). *Estudio del secado convectivo de hojas de arrayán (Myrtus communis)*. Universidad Nacional San Agustín. <https://es.scribd.com/document/454204309/31-Estudio-Del-secado-convectivo-de-hojas-de-Arrayanh>
- Giler, A. (2019). *Caracterización de las hojas de remolacha (Beta vulgaris) liofilizadas para su uso en la elaboración de infusión* [Tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/2279/1/ULEAM-AGROIN-0051.pdf>

- González Rivera, V., Albán Galárraga, M. J., Andrade Yucailla, V., Hidalgo Guerrero, I., & Urbano Rivera, J. (2025). Estudio etnobotánico del uso de plantas medicinales por la población de la ciudad de Puyo... *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 24(3), 390–413. <https://doi.org/10.37360/blacpma.25.24.3.29>
- Gutiérrez, H., & Vara, R. D. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.^a ed.). McGraw-Hill. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Hernández, H., Naranjo, M., Campos, L., López, O., & Carrión, Á. (2018). *Estudio de los procesos de industrialización de la mora de castilla (Rubus glaucus Benth)... Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/mora-castilla.html>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2005). *La agroforestería: una alternativa productiva ambiental para la sierra ecuatoriana. Repositorio INIAP*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/297/4/iniapscbd323.pdf>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri). (2021). *Cultivo de plantas aromáticas y medicinales*. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/cultivo-de-plantas-aromaticas-y-medicinales>
- International Organization for Standardization. (1980). ISO 1573:1980. *Determination of loss in mass at 103 °C*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/6167/f86f8d18d8684d45943845f6244b3d15/ISO-1573-1980.pdf>
- International Organization for Standardization. (1987). ISO 1577:1987. *Tea—Determination of acid-insoluble ash*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/6174/23038c87582a40f78383fc2ea7b8e622/ISO-1577-1987.pdf>
- Quimbiamba, J. (2021). *Elaboración de una infusión de ataco (Amaranthus hybridus L.) y sunfo (Clinopodium nubigenum) endulzada con stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) [Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]*. <https://repositorio.upec.edu.ec/items/0ef3a312-0062-47b1-9e1b-3a37cf9059e1>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2017). NTE INEN 2392. Hierbas aromáticas.

- Severiano, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Interdisciplina*, 7(19), 47–68. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-57052019000300004
- Taco, M. (2023). *Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria de un té elaborado a partir de cuatro plantas medicinales del Ecuador [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37919/1/CAL%20045.pdf>
- The Food Tech. (2022, mayo 21). *Consumo de infusiones y té: Una tendencia en ascenso por sus beneficios a la salud*. <https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/consumo-de-infusiones-y-te-una-tendencia-en-ascenso-por-sus-beneficios-a-la-salud/>
- Vindell, A., & Ochoa, T. (2015). *Determinación de la concentración de pH en hojas de cultivares clonales Spondias purpurea L. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]*. Repositorio UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/3289/1/tnf30v779.pdf>

AVANCES EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: ESTUDIOS Y APLICACIONES

Jasson Jácome Cabascango

jasson.jacome@upec.edu.ec

Carlos Rivas Rosero

carlos.rivas@upec.edu.ec

Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Carrera de Alimentos

Elaboración de una bebida saborizada con mora (*Rubus glaucus*) de baja graduación alcohólica, con sustitución parcial de miel por un jarabe sacarificado de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.)

Resumen

El objetivo de esta investigación fue establecer parámetros hidrolíticos para obtener jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.) a concentraciones del 5 %, 15 % y 25 % mediante procesos de licuefacción llevados a cabo durante 2 horas a 90 °C, con una adición de 0,1 ml/kg de enzima alfa-amilasa y una homogenización de 200 rpm. La sacarificación tuvo lugar durante 12 horas a 60 °C, con adición de 0,1 ml/kg de enzima glucosidasa y una homogenización de 200 rpm, obteniéndose jarabes con valores de 6,4; 17,1 y 26,4 °Brix, siendo la concentración del 25 % la que obtuvo un mayor rendimiento. Posteriormente, se utilizó en la biomasa compuesta de mora (*Rubus glaucus*) y miel de abeja. Para los análisis fisicoquímicos de la bebida, se creó una base de datos al inicio de la fermentación, producida por la acción de la levadura *Saccharomyces bayanus* a una temperatura de 28 °C durante 30 días. Asimismo, se registraron datos después de 45 días de maduración a 10 °C. Se determinó el efecto de sustituir la miel por jarabe de almidón en la bebida fermentada mediante análisis fisicoquímicos. Los resultados del estudio muestran que el tratamiento más aceptable fue el T9 (20 % de miel, 20 % de mora y 25 % de almidón), con valores finales de sólidos solubles (7,3 °Brix), pH (3,45), acidez total (0,65), grado alcohólico (7,18 %) y metanol (4,34 mg/100 ml). Se realizó una evaluación sensorial en la que se valoraron los parámetros de color, aroma, sabor y astringencia mediante una escala hedónica de preferencia de cinco puntos con la participación de 70 jueces no entrenados. Mediante una prueba de diferenciación de medias Tukey (nivel de confianza del 95 %), se identificaron los mejores tratamientos (T6, T8 y T9).

Palabras clave: Hidrólisis, almidón de papa, sacarificación, licuefacción

Introducción

En este trabajo se presenta la elaboración de una bebida fermentada saborizada con mora, con la sustitución parcial de miel por un jarabe sacarificado de almidón de papa. A nivel de laboratorio, se lograron establecer parámetros de sólidos solubles y pH para obtener un jarabe de glucosa a partir de un producto amiláceo. Se determinó el efecto de la sustitución en las características fisicoquímicas mediante análisis de °Brix, pH, acidez total, porcentaje alcohólico y metanol; posteriormente, se realizó una evaluación sensorial. Con base en los datos recopilados, se presentan a continuación los resultados de todos los procesos previos a la obtención del producto.

Ecuador es un país privilegiado en términos de condiciones climáticas y biodiversidad, pero muchos de sus productos agrícolas y subproductos pasan desapercibidos. Según el INIAP (2013), la mora (*Rubus glaucus*) presenta altos contenidos de proteínas, fósforo, azúcares reductores, polifenoles, carbohidratos, magnesio, manganeso y potasio. La papa (*Solanum tuberosum L.*) es, por su parte, una fuente abundante de almidón, un polisacárido constituido por moléculas complejas de amilosa y amilopectina (Morales y Molina, 2015). En la cadena de producción de las materias primas se originan pérdidas debidas a procesos bioquímicos y fisiológicos que aceleran su degradación (Villarreal, 2013). Se trabajó la hidrólisis enzimática del almidón en dos etapas: licuefacción y sacarificación, procesos que requieren condiciones y parámetros óptimos para la producción de jarabe.

Vicuña (2019) menciona que el principal producto de los centros apícolas es la miel, sustancia producida por las abejas (*Apis mellifera*) a partir del néctar de las flores que ellas mismas recogen. Según la normativa vigente, la INEN 1572, solo regula la miel de abejas, no los productos derivados del panal. Por lo tanto, la falta de atención a la profesión y al producto genera una baja demanda a nivel nacional, lo que ocasiona que el mercado se abastezca de otros países.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo es de gran interés, ya que es necesario abrir nuevas alternativas de industrialización y comercialización en el sector de las bebidas fermentadas (vinos). Al utilizar productos y subproductos

agrícolas e industriales, esta investigación es importante, ya que permite producir un producto inusual a partir de la mora, la miel y el jarabe de almidón.

Materiales y métodos

Materiales y equipos

El proceso experimental se llevó a cabo en la ciudad de Tulcán en los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Las materias primas utilizadas fueron papa de tercera, miel, mora; los equipos de laboratorio empleados: plancha de calentamiento, homogeneizador, licuadora industrial, horno de secado, termómetro, densímetro, balanza analítica (0-500g), potenciómetro, refractómetro digital escala (0-90° brix), pipeta de 10 ml, tubos de ensayo, gradilla, matraz (250 ml); los instrumentos empleados: colador, olla de acero inoxidable, airlock, botellas, corchos; se empleó como insumos: enzimas (SPEZYME® FRED, OPTIDEX® L-400), levadura (*Saccharomyces bayanus*), ácido cítrico, solución 0,1 N de hidróxido de sodio, solución 0,1 N de ácido clorhídrico, soluciones buffer de pH 4 y pH 7, yodo, agua destilada. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (A x B), en donde el factor A son las concentraciones de miel: mora y el factor B son las concentraciones de jarabe de almidón.

Métodos

Los métodos utilizados para el análisis hidrolítico del almidón de papa empiezan con la hidrólisis enzimática, que consta de tres etapas: gelatinización, licuefacción y sacarificación. El objetivo es romper las moléculas de almidón hasta obtener glucosa, para lo que se utilizan dos tipos de enzimas: la α -amilasa y las glucoamilasas. (Morales & Molina, 2015). Se utilizó la metodología establecida según la NTE INEN 380 para determinar el contenido de sólidos solubles, mediante refractometría a 20°C. La NTE INEN 389 establece el método potenciométrico para determinar la concentración de ion hidrógeno (pH), en los procesos de licuefacción y sacarificación, se utilizó un potenciómetro digital con una escala de 0 a 100.

Los métodos utilizados para los análisis fisicoquímicos de la bebida incluyen la determinación de sólidos solubles bajo el reglamento (CEE) No 2676/90, mediante análisis refractométrico del contenido de azúcar en mostos. La medición de este parámetro se realizó al inicio y 30 días después de haber envasado el producto. La NTE INEN 2325 establece el método potenciométrico para determinar el pH (concentración de iones de hidrógeno). La NTE INEN 341 rige el método para determinar la acidez total, acidez fija y acidez volátil en bebidas alcohólicas destiladas. Según la norma NTE INEN 340 el contenido de alcohol etílico se determina mediante el análisis de densidad relativa con un hidrómetro. Esta medición se realizó 30 días después de ser envasadas las muestras de vino. Se utilizó la metodología establecida por la Norma OIV-MA-AS312-03A, para determinar el contenido de metanol, aplicando también la metodología descrita en la Norma INEN 347 de bebidas alcohólicas, se realizó 30 días después de ser envasado las muestras de vino. En el análisis sensorial, se evaluaron los siguientes parámetros sensoriales básicos: olor, color, sabor, astringencia. Con un panel de 70 jueces no entrenados al azar se prepararon muestras de 10 ml. Cada miembro del panel fue evaluado con nueve muestras de vino según un sistema de puntuación en una escala hedónica de 5 puntos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (AxB), en donde el factor A son las concentraciones de miel:mora y el factor B son las concentraciones de jarabe de almidón de papa. Los resultados obtenidos en el efecto hidrolítico, análisis fisicoquímico y sensorial se evaluaron con una prueba de diferencias entre medias, prueba Tukey con un nivel de confianza del 95 % en el software Infostat.

Flujogramas de proceso

El flujograma de proceso para la obtención del almidón de papa es mostrado en la figura 7, mientras que en la figura 8 se presente el flujograma del proceso elaboración de la bebida.

Figura 7

Proceso de extracción de almidón de papa

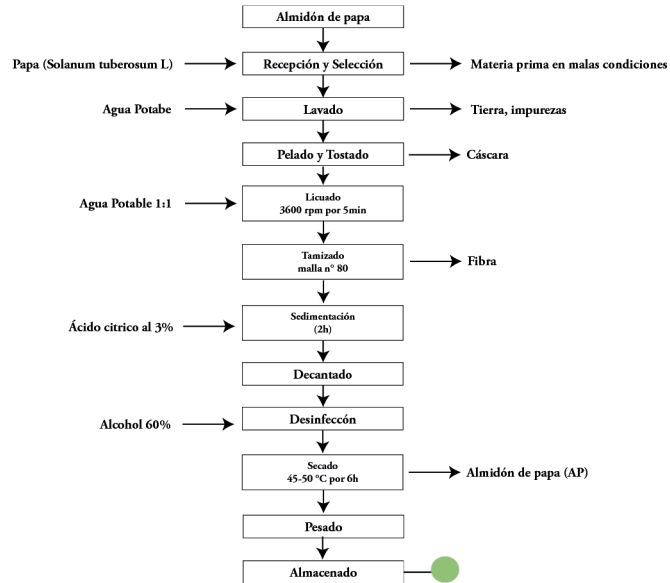
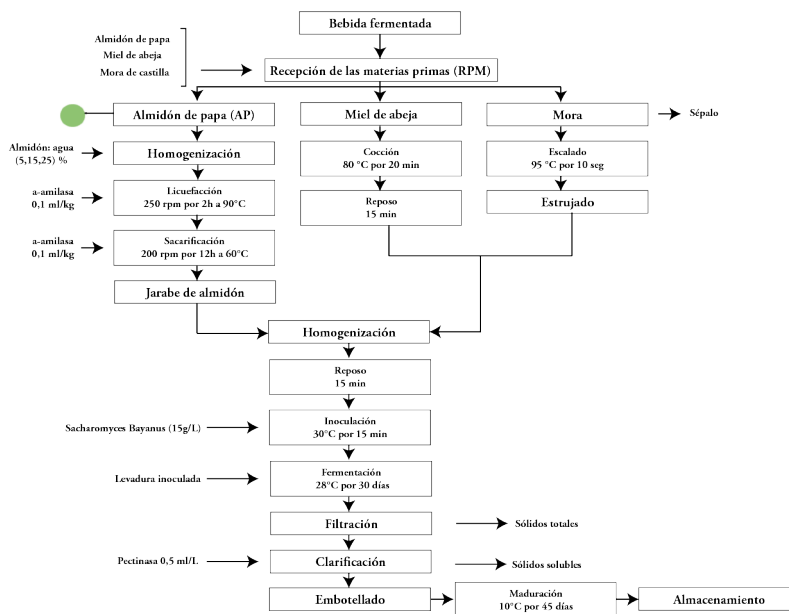


Figura 8

Proceso elaboración de la bebida



Resultados y discusión

Los resultados obtenidos al establecer los parámetros hidrolíticos, análisis fisicoquímicos y sensoriales se presentan a continuación.

Hidrólisis enzimática

- Parámetros de la hidrólisis enzimática

En el proceso hidrolítico de acuerdo con los antecedentes investigativos de (Ruiz et al., 2009), se establecieron los parámetros y equipos para los procesos de gelificación, licuefacción y sacarificación del almidón. En la tabla 14 se presentan los parámetros hidrolíticos establecidos en este estudio mediante la hidrólisis del almidón extraído de la papa.

Tabla 14

Parámetros enzima α -amilasa (g/ml) en el proceso de Licuefacción del almidón de papa

Tratamientos	Temperatura °C	Factores		Tiempo de Licuefacción (horas)	Cantidad de α -amilasa (ml/g)
		A Almidón	B Agua		
B1	90	50	950	2	0,1
B2	90	150	850	2	0,1
B3	90	250	750	2	0,1

Se utilizó la enzima α -amilasa la cual hidrolizó enlaces α -(1-4) para obtener dextrinas, maltosas y maltopentosas. La Tabla 14 muestra las variables establecidas (temperatura, tiempo y cantidad de α -amilasa) determinando los mejores factores para el estudio.

Para establecer la cantidad adecuada para obtener jarabe de almidón, se realizaron tratamientos preliminares, hidrolizando los enlaces α -(1-4) y α -(1-6) de los fragmentos de almidón obteniéndose como producto jarabe de maltosa. En la tabla 15 se presentan los parámetros de (temperatura, tiempo y cantidad de glucoamilasa) que se emplearon en la presente investigación.

Tabla 15

Parámetros de enzima glucoamilasa (g/ml) de Sacarificación para obtener jarabe de almidón

Tratamientos	Temperatura °C	Factor C Almidón gelificado	Tiempo de Sacarificación (horas)	Cantidad de glucoamilasa (ml)
B1'	60	1000	12	0,1
B2'	60	1000	12	0,1
B3'	60	1000	12	0,1

- Sólidos solubles en la hidrólisis

El proceso de licuefacción se llevó a cabo a diferentes concentraciones de almidón de papa, la Tabla 16 presenta los sólidos solubles de las concentraciones de (5 %, 15 % y 25 %) a lo largo de dos horas, a una temperatura constante de 90°C y 250 rpm.

Tabla 16

Sólidos solubles del proceso de licuefacción del almidón

Tratamientos	Temperatura °C	Factores		°Brix (min)					
		A	B						
		Almidón + Agua 0		30	60	90	120		
B1	90	50	950	0,0	0,1	0,3	0,4	0,7	
B2	90	150	850	0,0	0,2	0,5	0,8	1,1	
B3	90	250	750	0,0	0,4	0,7	0,12	1,8	

En la Tabla 17 se presenta el proceso de sacarificación del almidón y agua homogenizados en sus distintas concentraciones. El proceso se llevó a cabo bajo un monitoreo total de 720 minutos, tomando datos de los sólidos solubles cada 180 minutos, a una agitación constante de 200 rpm.

Tabla 17
Sólidos solubles del proceso de sacarificación del almidón

Tratamientos	Temperatura °C	Factores C Almidón gelificado (g)	°Brix (min)				
			0	180	360	540	720
B1’	60	1000	0,7	1,1	4,6	5,7	6,4
B2’	60	1000	1,1	3,8	8,5	15,2	17,1
B3’	60	1000	1,8	5,6	15,4	19,4	26,4

Nota: los tratamientos B1’, B2’ y B3’ son las soluciones al 5 %, 15 % y 25 % respectivamente del proceso anterior de licuefacción.

- Determinación de pH

El pH en el proceso de licuefacción en las concentraciones de (5 %, 15 %, 25 %) marcó en el potenciómetro diferentes lecturas a lo largo de dos horas del proceso una temperatura constante de 90 °C y una agitación de 200 rpm. La Tabla 18 indica el promedio de tres lecturas del potencial de hidrógeno a lo largo del proceso de licuefacción.

Tabla 18*Resultados de pH en el proceso de licuefacción del almidón*

Tratamientos	Temperatura °C	Factores		pH					
		A	B						
		Almidón + Agua		0	30	60	90	120	
B1	90	50	50	6,75	5,63	4,98	4,42	4,33	
B2	90	150	150	6,52	5,57	5,01	4,58	4,29	
B3	90	250	250	6,13	5,54	5,08	4,38	4,31	

En la Tabla 19 se presenta el proceso de sacarificación del almidón y agua en sus distintas concentraciones, se llevó a cabo bajo un monitoreo total de 720 minutos, tomando datos de los sólidos solubles cada 180 minutos, a una agitación constante de 200 rpm.

Tabla 19*pH del proceso de sacarificación del almidón*

Tratamientos	Temperatura °C	Factor C Almidón gelificado (ml)	pH					
			0	180	360	540	720	
B1'	60	1000	4,33	4,32	4,30	4,29	4,27	
B2'	60	1000	4,29	4,29	4,27	4,26	4,24	
B3'	60	1000	4,31	4,29	4,28	4,25	4,24	

Métodos utilizados para los análisis fisicoquímicas de la bebida.

- Sólidos solubles.

Los resultados del análisis fisicoquímico de sólidos solubles iniciales y finales a lo largo de 30 días fermentación para todos los tratamientos realizados, se presentan en la Tabla 20

Tabla 20

Comportamiento de los °Brix en la fermentación

Tratamientos	°Brix Iniciales	°Brix Finales
T9	20,5 ± 0,37 ^a	7,3 ± 0,14 ^a
T8	19,8 ± 0,37 ^{ab}	6,9 ± 0,14 ^{ab}
T7	18,3 ± 0,37 ^b	6,5 ± 0,14 ^b
T6	14,8 ± 0,37 ^c	6,2 ± 0,14 ^b
T5	14,9 ± 0,37 ^c	5,1 ± 0,14 ^c
T4	13,5 ± 0,37 ^{cd}	4,3 ± 0,14 ^{de}
T3	12,8 ± 0,37 ^{de}	4,9 ± 0,14 ^{cd}
T2	11,1 ± 0,37 ^e	3,9 ± 0,14 ^e
T1	8,2 ± 0,37 ^f	3,1 ± 0,14 ^f

Nota: Los valores de los °Brix iniciales y finales de cada tratamiento corresponden al promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas con un 95 % de confianza

En la Tabla 20 se presentan los valores obtenidos con los que inició la fermentación a partir de diferentes concentraciones y a una temperatura controlada de 28 °C. El contenido de sólidos solubles en los diferentes tratamientos tiene un valor máximo de 20,5 °Brix en el tratamiento T9 y un valor mínimo de 8,2

°Brix en el tratamiento T1. Se obtuvo un valor-P que es igual a 0,0001, el cual es menor a 0,05 por lo que existe una diferencia significativa estadísticamente entre tratamientos.

Los valores de los sólidos solubles obtenidos después de 30 días de fermentación se presentan en la Tabla 20. El contenido de sólidos solubles en los tratamientos alcanza un valor máximo de 7,3 °Brix en el tratamiento T9 (y un valor mínimo de 3,1 °Brix en el tratamiento T1. El valor de p es menor a 0,05 lo que indica que existe una diferencia significativa estadísticamente entre tratamientos. Sin embargo, muestras como T8, T7 y T6 presentan el mismo rango, así también las muestras T5, T3; de igual manera las muestras T4, T2 son diferentes por no tener el mismo rango y no compartir la misma letra.

pH

Los resultados del análisis fisicoquímico del pH inicial y final de todos los tratamientos se presentan en la Tabla 21. Los valores del rango de pH al inicio de la fermentación de cada tratamiento muestran que se encuentran dentro de lo establecido para la bebida; el rango máximo lo tiene el tratamiento T6 con un pH de 3,42; mientras que con un pH de 3,29 el tratamiento T4 es el valor más bajo. Se presenta un valor p de 0,0435, lo cual nos indica que existen diferencias en sus medias ya que este valor es menor a 0,05.

Tabla 21*pH al inicio y final de la fermentación*

Tratamientos	pH Inicial	pH Final
T6	3,42 ± 0,03 ^a	3,45 ± 0,03 ^a
T9	3,40 ± 0,03 ^a	3,39 ± 0,03 ^{ab}
T8	3,39 ± 0,03 ^a	3,38 ± 0,03 ^{ab}
T3	3,39 ± 0,03 ^a	3,37 ± 0,03 ^{ab}
T7	3,38 ± 0,03 ^a	3,36 ± 0,03 ^{ab}
T5	3,34 ± 0,03 ^a	3,35 ± 0,03 ^{ab}
T2	3,34 ± 0,03 ^a	3,30 ± 0,03 ^{bc}
T1	3,29 ± 0,03 ^a	3,30 ± 0,03 ^{bc}
T4	3,29 ± 0,03 ^a	3,22 ± 0,03 ^c

Nota: Los valores del pH inicial y final de cada tratamiento corresponden al promedio de tres determinaciones ± desviación estándar. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas con un 95% de confianza

La Tabla 21 refleja los valores de pH final de cada tratamiento; el rango máximo lo tiene el tratamiento T6 con un pH de 3,45 por otro lado con un pH de 3,22 el tratamiento T4 es el valor más bajo. El valor que presentan *p es* de 0,003, lo cual nos indica que existen diferencias en sus medias ya que este valor es menor a 0,05

- Acidez volátil

Tabla 22

Acidez volátil al final de la maduración

Tratamientos	Acidez total
T9	0,65 ± 0,13 ^a
T8	0,63 ± 0,13 ^a
T6	0,58 ± 0,13 ^b

Nota: Los valores de la acidez volátil corresponden al promedio de tres determinaciones de cada tratamiento ± desviación estándar. Valores correspondientes al mismo grupo (a) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$.

La acidez volátil según la Tabla 22 muestra datos de los tratamientos T9, T8 y T6 que después de utilizar un método volumétrico los valores presentados por el producto son de 0,65; 0,63 y 0,58. Se obtuvo que el valor-p es menor o igual a 0,0001 por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre T6 que pertenece a un grupo (b) y los tratamientos T9 y T8 que son estadísticamente iguales perteneciendo al grupo (a).

- Determinación de grado alcohólico

En la Tabla 23 se observan los valores obtenidos de porcentaje de alcohol a los 30 días después de ser envasada la bebida.

Tabla 23*Grado alcohólico*

Tratamientos	Grado OH
T9	7,18 ± 0,13 ^a
T8	6,90 ± 0,13 ^{ab}
T7	6,50 ± 0,13 ^{bc}
T6	6,22 ± 0,13 ^c
T5	5,18 ± 0,13 ^d
T3	4,95 ± 0,13 ^{de}
T4	4,35 ± 0,13 ^{ef}
T2	3,90 ± 0,13 ^f
T1	3,15 ± 0,13 ^g

Nota: Los valores del grado alcohólico corresponden al promedio de tres determinaciones de cada tratamiento ± desviación estándar. Valores correspondientes al mismo grupo (a, b, c, d, e, f, g) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$.

Se obtuvo un valor p que es igual a 0,001 que es menor a 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. La Tabla 23 presenta cinco agrupaciones donde el tratamiento 9 y 8 siendo 7,18 y 6,90 respectivamente son los valores más altos corresponden a la agrupación “a”, los tratamientos.

- Determinación de metanol

Se utilizó la metodología establecida por la Norma INEN 347. Para determinar el contenido de metanol en bebidas alcohólicas, se realizó 30 días después de ser envasadas las muestras de vino. El metanol contenido en la muestra es oxidado a metanal (formaldehído) por acción del permanganato de potasio en presencia de

ácido fosfórico. El metanal reacciona en un medio ácido con ácido cromotrópico, formando un compuesto de color púrpura. La absorbancia de la solución púrpura obtenida se determina a 575 nm. Los resultados de metanol fueron emitidos por la empresa LABOLAB, quien indicó valores de 4,34, 8,11 y 8,88 mg/100 ml, los cuales se encuentran en el rango establecido por la norma antes mencionada.

- Análisis sensorial de la bebida

Para el análisis sensorial, se evaluaron los siguientes parámetros sensoriales básicos: olor, color, sabor, astringencia. Con un panel de 70 jueces no entrenados al azar se prepararon muestras de 20 ml. En la evaluación sensorial los panelistas seleccionaron las muestras que indican niveles de aceptabilidad. Cada miembro del panel fue evaluado con nueve muestras de vino según un sistema de puntuación en una escala hedónica de 5 puntos como muestra la Tabla 24.

Tabla 24

Escala hedónica verbal

Valor	Aceptabilidad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta
3	No me gusta ni me disgusta
4	Me gusta
5	Me gusta mucho

- Resultado Evaluación Sensorial

Antes de realizar el análisis de varianza, se verifican los supuestos paramétricos de normalidad, homogeneidad y homocedasticidad, para así seleccionar la prueba estadística para el estudio. En la Tabla 25 se presentan nueve tratamientos, cuatro parámetros sensoriales y tres grupos diferentes: “a” calificación de cinco (me gusta mucho); “b” puntuación de cuatro (me gusta); y “c” con un valor de tres (no

me gusta ni me disgusta). Los datos se obtuvieron por medio de una evaluación sensorial de la bebida de baja graduación alcohólica.

Tabla 25

Resultados evaluación sensorial

Tratamientos	Color	Aroma	Sabor	Astringencia
T1	3,99 ^a	3,70 ^a	3,00 ^{bc}	3,19 ^{bc}
T2	4,14 ^a	3,70 ^a	2,89 ^c	3,01 ^c
T3	4,19 ^a	3,86 ^a	3,33 ^{abc}	3,26 ^{bc}
T4	4,14 ^a	3,80 ^a	3,31 ^{abc}	3,30 ^{abc}
T5	4,03 ^a	3,80 ^a	3,06 ^{bc}	3,40 ^{abc}
T6	4,10 ^a	3,74 ^a	3,51 ^{ab}	3,53 ^{abc}
T7	4,20 ^a	3,80 ^a	3,24 ^{abc}	3,40 ^{abc}
T8	4,10 ^a	3,76 ^a	3,41 ^{abc}	3,67 ^{ab}
T9	4,27 ^a	3,80 ^a	3,70 ^a	3,87 ^a

Nota: Valores correspondientes al mismo grupo (a, b, c) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$

Resultados color

La Tabla 26 indica los resultados obtenidos en cuanto al parámetro del color. El análisis estadístico presenta un valor de $p = 0,6572$ el cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medidas presentadas en la tabla. Esto ocurre porque con la vista percibimos el color, limpidez, transparencia, ausencia de turbidez y efervescencia del producto final el cual cumplió con los correctos procesos de maduración y clarificación.

Tabla 26

Resultados obtenidos de la evaluación sensorial para el parámetro del color

Tratamientos	Media	Criterio	Valor-p
T9	4,27 ± 0,10 ^a	Me gusta	< 0,6572
T7	4,20 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T3	4,19 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T4	4,14 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T2	4,14 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T6	4,10 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T8	4,10 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T5	4,03 ± 0,10 ^a	Me gusta	
T1	3,99 ± 0,10 ^a	Me gusta	

Nota: Los valores del color de cada tratamiento corresponden al promedio ± desviación estándar. Las medias que comparten una letra son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$.

- Resultados aroma

En cuanto al atributo del aroma, la Tabla 27 muestra que no hay diferencias significativas en las medias, ya que el valor p es superior a 0,05. Todas las muestras pertenecen al grupo «a», por lo que comparten la misma letra.

Tabla 27

Resultados obtenidos de la evaluación sensorial para el parámetro del aroma

Tratamientos	Media	Criterio	Valor-p
T3	3,86 ± 0,12 ^a	Me gusta	0.9916
T9	3,80 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T4	3,80 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T5	3,80 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T7	3,80 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T8	3,76 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T6	3,74 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T2	3,70 ± 0,12 ^a	Me gusta	
T1	3,70 ± 0,12 ^a	Me gusta	

Nota: Los valores del aroma corresponden al promedio de tres determinaciones de cada tratamiento ± desviación estándar. Valores correspondientes al mismo grupo (a) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$.

- Resultados sabor

En los tratamientos hay una diferencia estadísticamente significativa ya que el valor p es menor a 0,05. Con respecto al sabor la tabla 28 muestra los tres mejores tratamientos (T9, T6 y T8) los cuales se encuentran en el mismo grupo “a”; mientras tanto el tratamiento T1 fue el tratamiento con menos aceptación.

Tabla 28*Resultados obtenidos de la evaluación sensorial para el parámetro del sabor*

Tratamientos	Media	Criterio	Valor-p
T9	3,70 ± 0,14 ^a	Me gusta	0,0006
T6	3,51 ± 0,14 ^{ab}	Me gusta	
T8	3,41 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T3	3,33 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T4	3,31 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T7	3,24 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T5	3,06 ± 0,14 ^{bc}	No me gusta ni me disgusta	
T1	3,00 ± 0,14 ^{bc}	No me gusta ni me disgusta	
T2	2,89 ± 0,14 ^c	No me gusta ni me disgusta	

Nota: Los valores de la acidez volátil corresponden al promedio de tres determinaciones de cada tratamiento ± desviación estándar. Valores correspondientes al mismo grupo (a) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$.

- Resultados astringencia

Para conocer las diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey. La tabla 29 presenta los tres mejores tratamientos con medias de 3,87, 3,67 y 3,53 siendo los tratamientos T9, T8 y T6 los más aceptados por los catadores.

Tabla 29

Resultados obtenidos de la evaluación sensorial para el parámetro de astringencia

Tratamientos	Media	Criterio	Valor-p
T9	3,87 ± 0,14 ^a	Me gusta	0,0006
T8	3,67 ± 0,14 ^{ab}	Me gusta	
T6	3,53 ± 0,14 ^{abc}	Me gusta	
T7	3,40 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T5	3,40 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T4	3,30 ± 0,14 ^{abc}	No me gusta ni me disgusta	
T3	3,26 ± 0,14 ^{bc}	No me gusta ni me disgusta	
T1	3,19 ± 0,14 ^{bc}	No me gusta ni me disgusta	
T2	3,01 ± 0,14 ^c	No me gusta ni me disgusta	

Nota: Valores correspondientes al mismo grupo (a o b) son estadísticamente iguales con un valor de $p < 0,05$

Discusión

- Hidrólisis Enzimática

Los parámetros establecidos mediante el análisis de sólidos solubles y pH en la hidrólisis se llevaron a cabo en dos distintos procesos: licuefacción y sacarificación a concentraciones de (5 %, 15 % y 25 %).

En el proceso de sacarificación las diluciones de almidón de papa y agua fueron llevadas a una temperatura de 90 °C, una agitación de 200 rpm y se aplicó 0,1 ml de la enzima SPEZYME® FRED para cada concentración, los sólidos solubles iniciales de todas las diluciones iniciaron en cero, después de dos horas de homogenización las muestras presentaron valores de 0,7, 1,1, y 1,8 °Brix respectivamente. El valor de pH inició en 6,75, 6,52 y 6,13 para cada

combinación, según menciona Cueva & Pazos (2015), las mejores condiciones para el proceso de hidrólisis enzimática se dio a un pH de 6, temperatura de 100 °C, en comparación a Morales & Molina (2015) en su estudio recomienda un pH de 6,0 a 6,5 y temperatura de 93 °C a 107 °C. La enzima trabaja en un medio con un pH 5,5 a 5,8 para lo cual se reguló adicionando HCl (0,1 N) hasta alcanzar los rangos de 5,63, 5,57 y 5,54.

El proceso de sacarificación tuvo inicio con los valores de sólidos solubles y pH antes mencionados para cada una de las concentraciones, valores de 6,4, 17,1 y 26,4 °Brix respectivamente siendo el valor más alto la concentración del 25% de almidón de papa, estos valores son superiores a los obtenidos por Guerrero & Yépez, (2018), quienes registraron una hidrólisis de la yuca obteniendo un valor de 24 °Brix para la combinación 1:1 de yuca, zanahoria blanca y agua empleado las enzimas catalizadoras para obtener mayor cantidad de azúcares fermentables. Así también en comparación de Cueva & Pazos (2015), donde menciona que la dilucion de 1:05 de pulpa de camote y agua con la que se obtuvo un mosto que inició su fermentación con 13° Brix siendo un valor menor al obtenido en el presente estudio esto debido al tipo de almidón empleado en la hidrólisis. El almidón de papa según Alvis et al. Vélez, Villada, & Rada (2008), presenta una cantidad superior al almidón yuca y al de camote ya que haciendo una valoración del (%) de amilosa presentan valores de 24 %, 14 % y 19% respectivamente.

- Sólidos Solubles

La Tabla 20 indica los resultados del contenido de carbohidratos solubles iniciales antes de la fermentación, donde los tratamientos T9, T8 y T7 con (20 % miel, 20 % mora, 25 % jarabe de almidón; 20 % miel, 20 % mora, 15 % jarabe de almidón y 20 % miel, 20 % mora, 5 % jarabe de almidón) presentaron mayor contenido de azúcares fermentables expresados en °Brix: 20,5;19,8 y 18,3 mientras que los tratamientos T5, T6, T4 y T3 presentaron valores de: 14,9; 14,8; 13,5 y 12,8. Los valores de los tratamientos con menos cantidad de azúcares son el T2 y T1 con 11,1 y 8,2, valores que Strong & England (2015) certifican en su Guía de Estilos de Hidromiel donde las características de la OG de un agua miel donde previa a la fermentación el mosto debe permanecer en un rango de una densidad de 1,035 – 1,080 que expresados en °Brix: 8,7 – 19,3.

En la tabla 21 se indican los resultados de los sólidos solubles al haber transcurrido 30 días de fermentación y 45 días de maduración en frío (10°C), donde los tratamientos T9, T8, T7 y T6 presentaron un alto contenido de azúcares finales expresados en °Brix: 7,38; 6,90; 6,50 y 6,22 mientras que los tratamientos T5, T3, T4, T2 y T1 presentaron valores en °Brix de: 5,1; 4,9; 4,3; 3,9 y 3,1 respectivamente. De acuerdo con la norma INEN 372, el contenido de azúcares para el vino seco tiene un máximo de 12 g/L. Por lo tanto, los resultados están dentro de los límites que exige la norma para una bebida fermentada. Así mismo, autores como Montoya et al. Londoño, & Márquez (2005) presentaron valores de 5,49 % de grado alcohólico para un vino de mora a una concentración del 25% de pulpa en un vino de mora.

Strong & England (2015) presentan las características y descripciones para todo tipo de hidromiel donde la FG (densidad final) en un rango donde presente valores de 1,010 – 1,025 que expresados en °Brix: 2.5 – 6.32 se denomina hidromiel semi-dulce, los autores Basilio et al. Prieto, López, Mellado, & Pascual, (2020) en la elaboración de su aguamiel presentaron valores finales: 3,4; 5,8; 6,3 y 7,5 °Brix siendo similares a los obtenidos y así denominando también al producto final como vino semi-dulce.

- pH

El pH es una medida del equilibrio de la concentración del ión de hidrógeno donde la lectura inicial no debe superar de un valor de 4 ya que se elevaría el riesgo de la oxidación del sustrato, en esta investigación, los datos obtenidos representan el indicativo de acidez inicial de todos los tratamientos, se observa que los valores se encuentran en un pH entre 3,42 y 3,29 los cuales coinciden con los recomendados por Ocaña (2012), donde indica que entre 3,0 y 3,5 de pH la proliferación de bacterias ácido lácticas no se da así como también para las bacterias acéticas. Con respecto al pH final, los tratamientos no presentaron mucha variabilidad, obteniéndose a los 45 días después de haber culminado la fermentación valores de 3,45 y 3,22, los resultados obtenidos por Bravo (2011) quien en la elaboración de un hidromiel relación 1:1 (miel: agua) presentó valores de pH iniciales de 4,20 y valores de 3,20 al finalizar la fermentación.

La concentración de pH se ve afectada por la neutralización de los ácidos de la solución donde los sólidos solubles se consumen de forma continua al estar en contacto con el sustrato que está fermentando tendiendo a subir la acidez del mosto debido a los componentes alcalinos principalmente, sodio, calcio, potasio, magnesio extraído de los sólidos Ciosek et al (2020).

- Acidez

A los 45 días de haber envasado el producto se realizó la determinación de acidez a las mejores combinaciones basándose en los resultados del análisis sensorial donde los mejores tratamientos T9, T8 y T6 fueron seleccionados para ser evaluados según el parámetro establecido en la norma INEN 341 de la determinación de acidez en bebidas alcohólicas destiladas. En la Tabla 22 se identifican los resultados de la titulación al finalizar la maduración de la bebida con 0,65; 0,63 y 0,58. Según la norma INEN 372 los valores obtenidos se encuentran en el rango, ya que el valor máximo de la acidez volátil es de 1,5 g/L. los resultados son similares a los obtenidos por Basilio et al. Prieto, López, Mellado, & Pascual (2020), quienes en su producto a una concentración de 20% v/v y cuatro diferentes medios de cultivo obtuvieron valores de ácido acético de 0,8; 0,4; 0,8 y 0,9.

Así mismo Montoya et al. Londoño, & Márquez, (2005) en el vino de mora obtuvieron porcentajes de acidez de 0,65 en el mosto y 0,94 al finalizar la maduración. Por lo tanto, los valores de acidez volátil son similares y se encuentran dentro de los parámetros establecido por la normativa.

- Grado alcohólico

En el proceso fermentativo se puede observar su evolución mediante la disminución de los azúcar fermentables causado por las levaduras *Saccharomyces bayanus*, el mosto de los tratamientos inició a diferentes concentraciones de azúcares, en base a los resultados del análisis sensorial donde los mejores tratamientos T9, T8 y T6 fueron evaluados según la norma INEN 360 que establece el método para determinar el grado alcohólico en vinos por destilación. Los tratamientos con

mayor grado alcohólico fueron T9, T8, T7 y T6 con valores de 7,18 %, 6,90 %, 6,50 % y 6,22 % respectivamente, estos valores son superiores a los datos obtenidos por Montoya, Londoño, & Márquez, (2005) donde para un vino a una concentración del 25 % de mora los valores de grado alcohólico reflejaron 5,49 %. Los resultados que se obtuvieron en el grado alcohólico de este estudio son menores, por lo tanto, no todos los tratamientos cumplen con el límite mínimo que establece la norma INEN 372.

La concentración de sólidos solubles iniciales y finales previo al proceso fermentativo según la Guía de Estilos de Hidromiel elaborada por Strong & England (2015) son de suma importancia ya que partiendo de los azúcares fermentables se obtiene el grado alcohólico: aguamiel de 3,5 % – 7,5 % v/v; estándar de 7,5 %–14,0 % v/v y seca de 14,0 %–18,0 % v/v. Los resultados del grado alcohólico de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 Y T8, encajan con la descripción de un aguamiel, mientras que el T9 está cerca al grado alcohólico de un hidromiel estándar. De acuerdo con Vicuña, (2019) presenta un producto a base de capulí 30 % y miel 23,3 % con un grado alcohólico de 13,5 %. Así mismo, Basilio, Prieto, López, Mellado, & Pascual, (2020) al evaluar el proceso de fermentación de la miel al 20 % obtuvo valores de alcohol (%) de: 12,0 %, 11,0 %, 11,6 % y 11,0 %. Los resultados de los estudios que usan como materia prima la miel son mayores a los que se obtuvieron en el presente trabajo, esto se debe a la baja concentración de mora en el sustrato, así mismo los estudios que usan la mora como materia prima presentan valores similares a los obtenidos.

- Metanol

Trascurridos 45 días de haber envasado la bebida se realizó la determinación de metanol a las mejores tratamientos T9,T8 y T6 con (20 % miel, 20 % mora, 25 % jarabe de almidón; 20 % miel, 20 % mora, 15 % jarabe de almidón y 13,3 % miel, 20 % mora, 25 % jarabe de almidón) fueron evaluados según el parámetro establecido en la norma INEN 347 de la determinación de metanol de bebidas alcohólicas destiladas. Según los resultados otorgados por LABOLAB con 4,34; 8,11 y 8,88 mg/100 ml. Según la norma INEN 372 los valores obtenidos se encuentran en el rango, ya que el valor máximo de metanol es de 40,0 mg/100 ml.

- Análisis sensorial

En lo referente a la evaluación sensorial de la bebida de baja graduación alcohólica, los parámetros de color, aroma, sabor y astringencia obtuvieron una buena aceptación para determinar los mejores tratamientos que resultaron ser T9, T8 y T6

Tabla 30

Valores promedio del análisis sensorial de los mejores tratamientos

Tratamientos	Color	Aroma	Sabor	Astringencia
T9	4,27 ^a	3,80 ^a	3,70 ^a	3,87 ^a
T8	4,10 ^a	3,76 ^a	3,41 ^{abc}	3,67 ^{ab}
T6	4,10 ^a	3,74 ^a	3,51 ^{ab}	3,53 ^{abc}

En base al criterio emitido por 70 jueces no entrenados, el tratamiento con mejor puntuación en la prueba hedónica verbal de preferencia es “me gusta” el tratamiento T9 con (20 % miel + 20 % mora + 25 % jarabe de almidón) que posee valores de color (4,27), aroma (3,80), sabor (3,70) y astringencia (3,87) lo cual indica que es la combinación que tiene mayor aceptabilidad entre las muestras y además es la muestra que más se acerca a los parámetros establecidos por la INEN 372.

Por lo que se puede afirmar que el uso del almidón de papa y su integración al sustrato como un jarabe de almidón en una bebida fermentada se observa una aceptabilidad en sus atributos organolépticos y permite validar la viabilidad técnica del proceso de la hidrólisis enzimática.

Conclusiones

Los parámetros óptimos de la hidrólisis enzimática para obtener un jarabe de glucosa fueron una concentración de 25% entre almidón de papa y agua, un pH de 5,5 para el proceso de licuefacción, una concentración de 0,1 ml de enzima (α -amilasa) en condiciones de una temperatura de 90°C, una homogenización a 250 rpm durante tres horas, mientras que el proceso de sacarificación se llevó a cabo a un pH de 5, la concentración de enzima (glucoamilasa) fue de 0,1 ml, una homogenización a 200 rpm y una temperatura de 60 °C durante 12 horas. La temperatura influye sobre la eficacia de las características de los sólidos solubles, al final del proceso de sacarificación se observó que la cantidad de °Brix es proporcional a la concentración de almidón de papa siendo 26,4 °Brix el valor más alto alcanzado.

Las características fisicoquímicas del tratamiento T9 de sólidos solubles (7,3), pH en un rango de 3,22 – 2,45, acidez total con (0,65), un grado alcohólico de 7,1% y el metanol cumplen con la norma INEN 372 garantizando la calidad de la bebida. Se aceptó la hipótesis alternativa, la cual determina que las tres distintas concentraciones de jarabe de papa influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales en la elaboración de una bebida saborizada con mora de bajo graduación alcohólica.

Recomendaciones

Utilizar almidón de varias fuentes amiláceas a partir de tubérculos en el proceso de hidrólisis enzimática. Desarrollar una comparación de métodos de hidrólisis enzimática para obtener jarabe de glucosa a partir de productos amiláceos.

Desarrollar una comparación organoléptica y fisicoquímica de los diferentes tipos de miel que son obtenidos a partir de una amplia diversidad de flores y su implementación en el campo alimentario.

Realizar una comparación de medidas de color y composición fenólica global en los tratamientos realizados, para obtener una diferencia significativa entre los tratamientos en los atributos de color y aroma.

Referencias

- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada, M. (2008). *Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de viscosidad de las pastas*. Universidad de Córdoba. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642008000100004
- Anaya, Y., & Mantero, G. (2019). *obtención de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de almidones de tres variedades de papa (solanum tuberosum) por vía enzimática*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco <https://repositorio.unheval.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4cd4751f-b57e-4f20-b9b9-040bc40ae31c/content>
- Astiasarán, I., & Martines, A. (2005). *Alimentos Composición y Propiedades*. En I. Astiasarán, *Alimentos Composición y Propiedades* (pág. 370). México: McGraw-Hill. <https://fisiogenomica.com/assets/Blog/pdf/Alimentos-Composicion-y-Propiedades.pdf>
- Bacca, A., & Revelo, A. (2020). *Obtención de bioetanol mediante proceso de extracción-fermentación de alimentos hoy*, 16. <https://zaguan.unizar.es/record/97964/files/TAZ-TFG-2020-3237.pdf>
- Badui, S. (2006). *Química de lo Alimentos*. Mexico: Pearson Educación de México, S.A. de C.V. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
- Basilio, A. M., Prieto, J. E., López, V. C., Mellado, L. M., & Pascual, G. (2020). *El proceso de fermentación en la producción artesanal de hidromiel y su evaluación sensorial*. *agronomía&ambiente*, 15. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/106/106>
- Benavides, I., & Pozo, M. (2008). *Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka), a partir de tres variedades de papa (solanum tuberosum) utilizando dos tipos de enzimas*. *Universidad Técnica del Norte*, 143. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/327/1/03%20AGI%20226%20TESIS.pdf>
- Blanco, A., Cuenca, M., Alexander, T., & Palacios, A. (2014). *Influencia de la adición de hierbas aromáticas y especias sobre la fermentación alcohólica de miel*. Researchgate, 7. https://www.researchgate.net/publication/295548297_Influencia_de_la_adicion_de_hierbas_aromaticas_y_especias_sobre_la_fermentacion_alcoholica_de_miel

- Bravo, J. (2011). *Obtención de hidromiel por fermentación de la miel de abeja con una cepa nativa Saccharomyces sp y adición de polen*. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMB_0f57f0a953671adb885f69a9b011a7cf
- Cajas, J. (2019). *Efecto de tres diluciones y dos tipos de levaduras sobre los parámetros sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos en la elaboración de hidromiel*. Universidad Agraria del Ecuador, 67. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CAJAS%20TORAL%20JORGE%20AUGUSTO.pdf>
- Carbonero, P. (2014). *Bioquímica de las Fermentaciones*. En P. Carbonero, *Bioquímica de las Fermentaciones* (pág. 50). Madrid: Universidad Politécnica Madrid. <https://oa.upm.es/55235/1/FERMENTACIONES.pdf>
- Chuquin, H. (2012). *Alternativas de uso de la papa de desecho en la Provincia del Carchi y la contaminación con Plástico*. SATHIRI, 25. <https://doi.org/10.32645/13906925.206>
- Córdova, & Inés. (2010). *Comparación del comportamiento fermentativo de levadura de panificación y levaduras vínicas (Uvaferm CM, Lalvin EC 1118, Lalvin QA23) y sus efectos sobre la calidad de vinos de mora (Rubus glaucus Benth)*. Ambato : Universidad Técnica de Ambato. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9767297>
- Cueva, J., & Pazos, C. (2015). *Obtención de alcohol a partir de camote de pulpa anaranjado*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 158. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/154>
- Espitia, L. (2009). *Determinación de la concentraciones de Alfa y Beta Amilasas comerciales en la producción de etanol a partir de almidón de cebada empleando Saccharomyces cerevisiae*. Universidad Javeriana , 114. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1387>
- Ferreira, M. (2006). *Estudio del proceso biotecnológico para la elaboración de una bebida alcohólica a partir de jugo de naranjas*. Universidad Politécnica de Valencia , 268. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1933>
- Franco, G., & Bernal, J. (2020). *Tecnología para el cultivo de la mora (Rubus glaucus Benth)*. Mosquera: AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403251>
- García, M., Quintero, R., & López, A. (2017). *Alimentaria Biotecnología*. CDMX: Limusa. <https://books.google.com.ec/>

books?id=2ctdvBnTa18C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Gómez, A., & Pérez, B. (2018). *Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades*. SciELO, 5. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967
- Guerrero, I., & Yépez, C. (2018). *Elaboración de una Bebida Alcohólica Destilada a partir de Yuca (Manihot esculenta) y Zanahoria Blanca (Arracacia xanthorrhiza)*. Universidad San Francisco de Quito USFQ, 55. <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/7471/1/138951.pdf>
- INEN, N. (1992). *Bebidas Alcohólicas. Norma Técnica Ecuatoriana*, 11. <https://docs.bvsalud.org/leisref/2018/03/291/alcohol-inen-338.pdf>
- Layens, G. (2008). *Curso completo de apicultura*. Pranava Books, 395. <https://books.google.com.ec/books?id=-gvupZfE3NYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Llamuca, J. C. (2016). *Sector Agroalimenticio, Cadena de la papa del circuito destinada a la Industria*. Superintendencia de Control del Poder de Mercado. <https://www.sce.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/VERSION-PUBLICA-PAPA-20112017-1-1.pdf>
- Londoño, J., Montoya, Á., & Márquez, C. (2005). *Licor de Mora de Castilla (Rubus glaucus Benth) con diferentes porcentajes de pulpa*. Universidad Nacional de Colombia, 11. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472005000200011
- Montalvo, A. (2010). *Evaluación de la calidad poscosecha de las accesiones seleccionadas de mora (rubus Bent) provenientes de las provincias de Tungurahua y Bolívar*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2653/1/CD-3336.pdf>
- Montoya, Á., Londoño, J., & Márquez, J. (2005). *Licor de mora de catilla (Rubus glaucus Benth) con diferentes porcentajes de pulpa*. SciELO, 11. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472005000200011
- Morales, B., & Molina, M. (2015). *Evaluación de factores que pueden influir en el proceso de sacarificación-fermentación simultáneas para la producción de etanol a partir de materiales amiláceos*. Universidad de Costa Rica, 16. <https://doi.org/10.15517/ri.v25i1.14665>

- Ocaña, I. (2012). *“Estudio del vino de mora de castilla (rubus glaucus benth) elaborado a tres proporciones distintas de fruta:agua y tres niveles de dulzor* . Universidad Técnica de Ambato , 310. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/0ba9df1d-d1de-4085-9b29-3586501284a3>
- Peña, E. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de llave(puno)*. Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2655>
- Pozo, F., Lechón, B., & Anchundia, M. (2022). *Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de papa superchola y su utilización en la formulación de salchicha tipo frankfurt*. Tulcán: SATHIRÍ. <https://doi.org/10.32645/13906925.1137>
- Prada, R. (2012). *Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa*. SciELO, 7. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100012
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador* . Quito: INIAP-CIP. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Rosillo, W., Vivanco, I., Reyes, E., & Rodriguez, D. (2020). *Análisis de las falencias del sector apicultor en la provincia del Guayas (Ecuador)*. Espacios, 30. DOI: 10.48082/espacios-a20v41n50p09
- Ruiz, I., Molina, D., Torres, G., & Sanchez, I. (2009). *Determinación de los parámetros hidrolíticos para la producción de jarabes de glucosa a partir de almidon de yuca*. SCieLo, 10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612015000400005
- Strong, G., & England, K. (2015). *Guía de Estilos de Hidromiel* . Copyright © 2015, BJCP, Inc. https://thebeertimes.com/wp-content/uploads/2016/11/2015_Guidelines_Mead_Espanol.pdf
- Telegrafo, E. (2018). *En Ecuador hay 1.400 productores de miel*. El Telegrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/205/ecuador-productores-miel-apicultura>
- Téllez, P., Peraza, L., Feria, A., & Andrade, A. (2012). *Optimización del proceso* Scielo, 4.<https://url-shortener.me/3Q82>

AVANCES EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: ESTUDIOS Y APLICACIONES

Camila Stefania Chingal Ortiz

camila.chingal@upec.edu.ec

Carlos Arturo Paredes Pita

carlos.paredes@upec.edu.ec

Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Carrera de Alimentos

Influencia de la sustitución parcial de malta de cebada (*Hordeum vulgare*) por malta de maíz morado (*Zea mays* L.) en una cerveza artesanal tipo *Irish red ale*

Resumen

La presente investigación evaluó la influencia de la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado (*Zea mays* L.) en la elaboración de una cerveza artesanal tipo Irish Red Ale. El estudio se desarrolló en dos etapas: en la primera, el maíz morado fue transformado en malta mediante dos métodos, malteado natural del grano e hidrólisis enzimática para obtener un jarabe glucosado rico en azúcares fermentables; en la segunda, se formularon seis tratamientos sustituyendo parcialmente la malta base por malta de maíz morado o jarabe glucosado durante la maceración. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxB, donde A correspondió al método de adición (jarabe glucosado y malta de maíz morado) y B al porcentaje de sustitución (1:9, 2:8 y 3:7 malta de maíz–malta base). Los azúcares reductores se cuantificaron mediante el método 3,5-dinitrosalicílico durante maceración y fermentación. El tratamiento T6 3:7 (malta de maíz morado–malta base) obtenido por malteado natural presentó el mayor contenido de azúcares reductores (1333 g/L) y una densidad de 1018 g/cm³, evidenciando mejor desempeño tecnológico. La evaluación sensorial incluyó una prueba hedónica de cinco puntos con 70 jueces no entrenados, determinándose que el tratamiento T6 (3:7) alcanzó la mayor aceptabilidad (calificación 4: “me gusta”) en color, olor, sabor y aceptación general. El perfil sensorial fue confirmado por un juez experto bajo normativa BJCP. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, realizados conforme a la NTE INEN 2262, indicaron que la cerveza cumple con el perfil de una Irish Red Ale. Se concluye que la sustitución parcial de malta de cebada por malta de maíz morado influye significativamente en las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final.

Palabras clave: Malta de cebada, Malta maíz morado, cerveza artesanal tipo Irish red ale.

Introducción

La cerveza es una bebida alcohólica obtenida mediante un proceso de fermentación llevado a cabo por levaduras específicas, a partir de un mosto elaborado con cebada malteada. En la actualidad, la industria cervecera y cervecería artesanal enfrentan un desafío creciente debido a la disponibilidad de materias primas importadas y los costos que representan en el producto terminado (Donadini & Porretta, 2017). La industria cervecera en la actualidad busca aplicar materias primas no convencionales con identidad de una zona geográfica y apoyada en los avances de la biotecnología, permiten el desarrollo de productos innovadores que ofrecen perfiles sensoriales más complejos, una mayor diversidad en los grados de alcohol y una mejora en la estructura y cuerpo de la bebida (Leonardo, 2013). En este contexto, se ha intensificado la exploración de ingredientes alternativos, especialmente aquellos con alto contenido de azúcares, que permitan mantener la capacidad hidrolítica necesaria antes del proceso de germinación, con el propósito de optimizar atributos organolépticos como el aroma, el sabor y el color. Así, la cervecería artesanal se orienta hacia la creación de mezclas que buscan ofrecer productos únicos y de alta calidad, capaces de equilibrar y complementar el carácter del lúpulo, generando compuestos aromáticos novedosos y atractivos para los consumidores (Kalil Filho et al., 2021).

Los estilos de cerveza se determinan a partir de alta y baja fermentación (*ale* y *lager*). Según el Programa de Certificación de Juez de Cerveza (BJCP) el estilo Red Ale de fermentación alta, la cerveza puede ser una irlandesa, norteamericana o con aspecto ámbar hasta rojizo oscuro, y las particularidades de la malta deben cumplir con las especificaciones dadas (Donadini et al., 2014 ; Strong & England, 2015).

Por otro lado, el malteado de los cereales corresponde a una etapa importante, ya que de ellos depende el contenido de azúcares y compuestos aromáticos. Cuanto más fuerte sea el tostado, más oscura será la cerveza; y cuanto más lento sea, mayor será la formación de aromas, debido a caramelización de azúcares (Yubero, 2015). Dependerá también de los cereales utilizados como materia prima, se evaluó la influencia de la sustitución parcial de malta de cebada

por malta de maíz morado (*Zea mays L*) en una cerveza artesanal tipo *Irish red ale*, con la finalidad de aprovechar el potencial antioxidante del maíz morado y generar nuevos estilos de cerveza.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, empleando como materia prima maíz morado para su transformación en malta cervecera por medio de un malteado natural del grano y una hidrólisis enzimática para luego ser utilizada como sustituto parcial en la formulación de una cerveza tipo *Irish Red Ale*; donde se aplicó el método 3,5 – dinitrosalicílico (DNS) para la cuantificación de azúcares reductores en la etapa de maceración y fermentación con el fin de verificar el comportamiento de la malta sustituta en el producto final.

Materiales

- Espectrofotómetro
- Pipeta 1 ml
- Micropipeta
- Matraz Erlenmeyer
- Estufa
- Incubadora con agitación orbital
- Termómetro

La investigación se desarrolló en dos fases, en la primera se estudió el proceso de malteado, y en la segunda la elaboración de la cerveza.

En la elaboración de cerveza se define una primera etapa que consiste en la elaboración de malta de maíz morado a partir de dos variables independientes

correspondientes a un método de hidrólisis enzimática inducida por medio de una enzima que permite la transformación de almidón del grano en un jarabe glucosado y el malteado natural que corresponde a la germinación del grano para desdoblar azúcares y con ello verificar cómo influyen los dos procesos en las variables dependientes que se observan la Tabla 31:

Tabla 31
Primera fase: Proceso de malteado de maíz morado

Variables independientes	Variables dependientes
- Hidrólisis enzimática - Malteado natural	Densidad Rendimiento de almidón Azúcares reductores

Para la segunda fase o etapa se realizó la sustitución parcial en el T1, T2 y T3 con jarabe glucosado y el T4, T5 y T6 con malta de maíz morado en la etapa de maceración de la elaboración de cerveza, como se observa en la Tabla 32:

Tabla 32

Segunda fase: Elaboración de la cerveza con la sustitución parcial de malta de maíz morado

Variable independiente	Variable dependiente
• Porcentaje de malta de maíz hidrolizado • T1: 10 % maltas maíz hidrolizado+90 %malta base • T2: 20 % maltas maíz hidrolizado+80 %malta base • T3: 30 % maltas maíz hidrolizado+70 %malta base • Porcentaje de malta de maíz malteado • T4: 10 % malta maíz malteado+90 %malta base • T5: 20 % malta maíz malteado +80 %malta base • T6: 30 % malta maíz malteado +70 %malta base	• Calidad sensorial (aroma, apariencia, sabor, sensación en la boca e impresión general) • Calidad fisicoquímica (contenido de alcohol, acidez total, pH, carbonatación) • Calidad microbiológica (anaerobios, mohos y levaduras).

Métodos

Diseño experimental

Los análisis sensoriales y fisicoquímicos realizados en la cerveza artesanal tipo *Irish Red Ale*, elaborada con una sustitución parcial de malta base por malta de maíz morado, fueron sometidos a un tratamiento estadístico utilizando el software InfoStat/Libre 2020I. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con el propósito de evaluar la influencia de la sustitución de malta base sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza. Previamente, se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para asegurar la validez de las pruebas estadísticas. Los resultados obtenidos permitieron identificar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, considerando un nivel de significancia del 5 % ($p < 0,05$).

Hidrólisis enzimática

- Etapa de licuefacción: Se utilizó la enzima α -amilasa la cual hidrolizó enlaces glucosídicos α -(1-4). El almidón hidrolizado con la actividad enzimática de la SPEZYME FRED se manifiesta en forma de dextrinas generadas por el efecto de la temperatura, la cual tiene una actividad mayor a pH bajo.
- Etapa de sacarificación.- EPara realiza la sacarificación se agrega la enzima α -amilasa en relación a 0,01%, teniendo en cuenta el peso del almidón y se aumenta rápidamente la temperatura a 60°C para su acción en la suspensión durante 60 minutos (Estrada, 2017). Además, se reguló el pH de 4,0 a 4,4 como rango óptimo; como resultado del proceso se obtuvo un jarabe rico en maltosa.

Malteado

Para obtener la malta de maíz morado se empleó los siguientes parámetros: remojo de 38 horas a temperatura ambiente, germinado de 5 días a $\pm 19^\circ\text{C}$, secado de 24

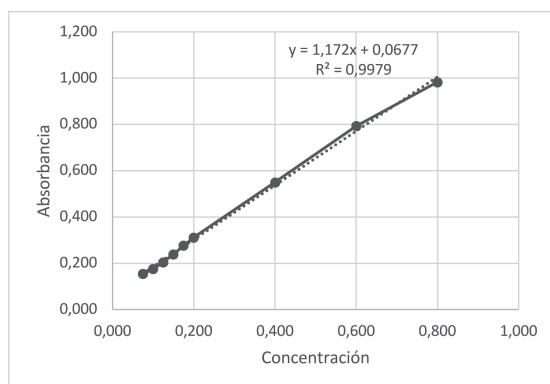
horas a 50 °C hasta una humedad de 4 %. En la Tabla 28 se presentan algunos parámetros fisicoquímicos de la malta.

Curva de glucosa

Para obtener la cuantificación de azúcares reductores se aplicó el método DNS se construyó una curva patrón con glucosa grado analítico 99,9 % de pureza. El procedimiento se realizó a partir de 0,3 g hasta 0,8 g de glucosal, del cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,9979 (Figura 9). Posteriormente, se despejó la variable x que permitió encontrar la concentración de azúcares reductores (AR).

Figura 9

Curva patrón de glucosa



$$y = 1,172x + 0,0677$$

Despejando la concentración se obtiene la siguiente ecuación:

$$x = \frac{y - 0,0677}{1,172}$$

Se comprueba la cantidad de azúcares en el jarabe de maíz morado mediante una hidrólisis enzimática correspondiente a los tratamientos T1, T2 y T3. También, se realiza la cuantificación en el proceso de malteado del maíz morado correspondiente a los tratamientos T4, T5 y T6; tomando muestras representativas en la etapa inicial y final de fermentación para determinar la concentración de azúcares reductores (AR).

Formulación

Para la formulación de la cerveza artesanal se tomó como referencia una de las recetas de la cervecería Centinela Norteña, esta se presenta en la Tabla 33:

Tabla 33

Formulación de cerveza Irish red ale

Ingredientes	Cantidad	Proporción (%)
Malta pale	2 kg	10,77
Malta cara aroma	0,50 kg	2,69
Malta Red x	0,50 kg	2,69
Levadura M42 (Mangrove jacks)	10 g	0,05
Lupulo Fuggle	25 g	0,13
Lupulo challenger	10 g	0,05
Clarificante biofine	30 mL	0,16
Nutriente de levadura	0,25 g	0,001
Agua	15,5 L.	83,44
Total	18,58 kg	100

Características fisicoquímicas

Densidad

Para la medición de este parámetro se utiliza un densímetro específico para cerveza, se inicia con la toma de una muestra de 250 mL, estos son vertidos en una probeta y se regula la temperatura hasta 20 °C posterior a ello se introduce el densímetro dejándolo flotar en la muestra para medir su densidad.

Contenido de alcohol

Se lleva a cabo de acuerdo con lo establecido en la norma INEN 340, se utiliza una muestra representativa a una temperatura de 15 °C, que permite la medición mediante el alcoholímetro de Gay Lussac (NTE INEN, 340:2017).

Acidez total

Se efectúa en base a lo establecido en la norma INEN 2323, por el método de titulación con fenolftaleína, el gasto de ácido láctico determinará una tonalidad hasta rosa tenue, el resultado se compara con datos de la normativa para verificar si cumple con los requisitos establecidos en la misma (NTE INEN, 2323:2002).

pH

Para determinar el pH se determina la concentración de iones de hidrógeno con la ayuda de un potenciómetro digital ajustado a 4,0-7,0 para cerveza, según lo establecido en la norma INEN 2325. Los resultados se comparan con la normativa para evidenciar si están dentro del rango establecido después de introducir los electrodos que han sido previamente enjuagados, y así finalmente, leer el pH (INEN, 2002).

Carbonatación

Se basa en el establecimiento de un equilibrio entre gases disueltos y de espacio libre a una temperatura dada. Esto se logra con agitación de la cerveza antes de la lectura de presión, dicho valor se corrige con por la presión parcial de los gases en la botella a una temperatura dada por la Ley de Henry y Dalton (INEN, 2323:2002).

Perfil sensorial

La evaluación de perfil sensorial mediante el uso de pruebas descriptivas convencionales de Beer Judge Certification Program. El grupo de catadores se integra de 7 jueces expertos con su respectivo título BJCP. Los parámetros evaluados son: aroma, apariencia, sabor, sensación en la boca e impresión general.

Manosalva (2018) Para la evaluación de del perfil sensorial se debe evaluar lo siguiente:

Aroma: hace referencia al aroma el cual es percibido por el sentido del olfato, se puede apreciar el aroma a malta, lúpulo y otros compuestos aromáticos. Los aromas pueden ser:

- Aroma a malta: bajo, medio, alto y puede ser dulce, tostado, ahumado, caramelo.
- Aroma a lúpulo: bajo, medio, alto y puede ser herbal, floral, frutal, cítrico.
- Aroma a ésteres: bajo, medio, alto y puede ser frutal, flora.
- Aroma a alcohol: no percibido, ligero, intenso.
- Otros aromas: a fermentación, contaminación.

Apariencia: está relacionada con el aspecto exterior de la cerveza, su claridad, vivacidad, consistencia, textura y color de la espuma.

- Claridad: Está relacionada con el sentido de transparencia, la valoración puede ser, filtrada, clara, opaca, turbia, translúcida.
- Vivacidad: Directamente relacionada con la presencia de CO₂, proteína y resinas de lúpulo de la cerveza. La valoración puede ser: baja, media, alta y enorme, también se puede valorar la textura y consistencia de la espuma que puede ser ligera, densa, espesa, compacta, cremosa y rocosa.
- Color de la espuma: Se relaciona con los ingredientes que se ha utilizado en la elaboración, por ello el color puede ser valorado como: blanca, blanquecina, marfil, canela, marrón. También se puede valor como translúcida, brillante y opaca.

Sensación en la boca: hace relación a la sensación física al contacto del paladar donde se puede percibir el cuerpo (sensación de plenitud por las dextrinas y proteínas de la malta) que le proporciona peso, puede medirse como aguado, ligero, medio, pleno, así como su textura que puede ser sedosa, cremosa, masticable, untuosa. También se puede percibir la carbonatación valorado como bajo, medio, alto. La astringencia es la sensación de contracción áspera en la lengua y el paladar debido a la cebada tostada y lúpulos, puede valorarse como ausente, baja, media y alta.

Resultados y discusión

Parámetros de producción de fécula de maíz morado

En la determinación de pH el almidón obtuvo un resultado de 6,5 similar al resultado obtenido por Guaminga (2020) en almidón de maíz negro, el cual arroja un pH de 6,62, esto evidencia que el resultado se encuentra en una escala de medición ligeramente ácida. En el contenido de humedad se tuvo un resultado de 6,48 %, según Manobanda (2017), el cual realizó una caracterización de almidón de maíz blanco reportando una humedad de 10,34 %, la diferencia entre resultados radica en la temperatura y tiempo empleado en la etapa de secado del almidón. Para la determinación de ceniza se obtuvo un resultado de

0,38 %, de acuerdo con Yugsi (2017), en su análisis de almidón de maíz blanco reportó un promedio de 0,1 % de ceniza, la diferencia de resultados se debe al contenido de sales orgánicas y minerales del cultivo. En el análisis de acidez se tuvo un resultado de 0,021%, promedio menor al reportado por Oliva (2018), quien obtuvo una acidez de 0,054 % siendo el resultado superior a lo obtenido, la diferencia radica en el uso de almidón de quinua en este estudio.

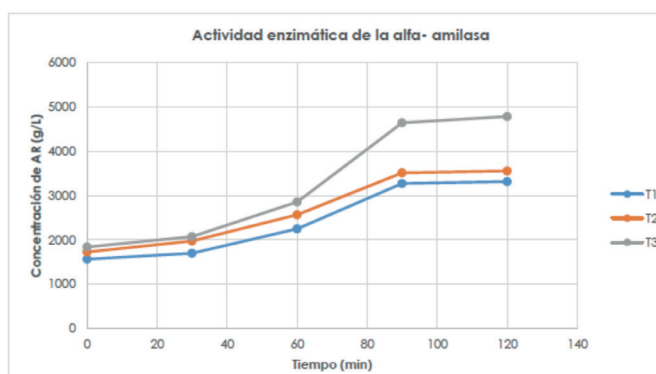
Acción enzimática de la alfa-amilasa en el almidón de maíz morado

El análisis de cuantificación azúcares reductores (AR) en la actividad enzimática de la alfa-amilasa se llevó a cabo a una temperatura de 60°C para los tratamientos T1, T2 y T3.

En la Figura 10, se observa el comportamiento de la enzima a diferentes concentraciones de almidón de maíz morado y se determina que la reacción es eficiente durante las dos horas para obtener una concentración azúcares reductores máxima.

Figura 10

Actividad enzimática de la alfa-amilasa



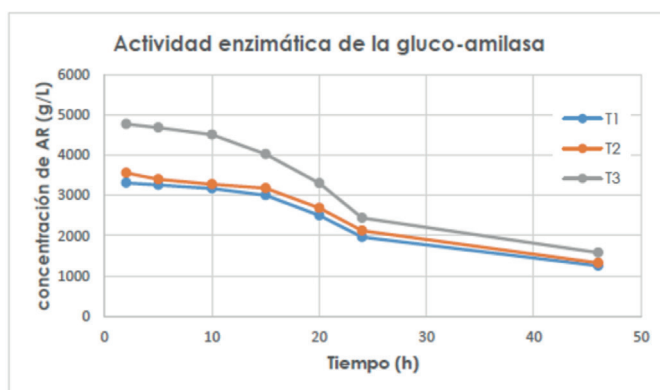
Acción enzimática de la gluco-amilasa en el almidón de maíz morado

La acción de la gluco-amilasa se muestra en la Figura 11, donde se observa que a partir de las 46 horas de actividad, la enzima comienza la fase de latencia o muerte.

Según Nieblas et. al (2017), indica que el cambio de dextrinas a glucosa no aumenta con respecto al tiempo a partir de las 46 horas en la etapa de sacarificación, mostrando un comportamiento constante de los azúcares reductores (AR). Tal es el caso de la actividad de la gluco-amilasa para la obtención del jarabe de maíz morado que limitó el aumento de la concentración de azúcares reductores por haber transformado la totalidad de estos a otros menos complejos.

Figura 11

Actividad enzimática de la glucosa-amilasa



Parámetros de malteado de maíz morado

En la tabla 34 se presentan los parámetros fisicoquímicos de la malta de maíz morado, en esta se observa valores de humedad que van de 4 a 5 % y ceniza 0,9 a 1 %, resultados similares a los presentados por Santos y Cayas (2019), en los que se presenta valores que fluctúan entre estos rangos. Los resultados del

estudio se encuentran dentro de los parámetros de la NTE INEN 2051 (1995) en la que se estipula una humedad máxima de 13 % y ceniza 2 %, estando los valores del estudio dentro de los parámetros de la normativa legal vigente, en cuanto a azúcares reductores se tuvo resultados de 0,05 a 1,52 mg/g, similares a los resultados de Santos y Cayas (2019), que van desde 0,46 a 1,58 mg/g.

Tabla 34

Características fisicoquímicas de la malta de maíz morado

Tratamientos	Parámetros		
	Humedad (%)	Ceniza (%)	AR (mg/g)
T4	4,03 ± 0,05b	0,98 ± 0,15b	0,29 ± 0,00c
T5	5,12 ± 0,25 ^a	1,16 ± 0,17b	0,05 ± 0,01b
T6	4,08 ± 0,88b	1,05 ± 0,15b	1,52 ± 0,02 ^a

Cuantificación de azúcares reductores en la cerveza artesanal *Irish Red Ale*

Se puede observar los datos correspondientes a la fermentación inicial donde la media de azúcares reductores (glucosa) presenta diferencias significativas entre cada tratamiento, siendo T6 (1,40 kg malta pale + 0,60 kg maíz malteado) el que tiene mayor cantidad 1333,07 g/L y el tratamiento con menor cantidad fue T1 (1,80 kg malta pale + 0,20 kg maíz hidrolizado) con 365,14 g/L.

Según Binod et al. (2019), la eficiencia de la hidrólisis enzimática está relacionada directamente con el sustrato (biomasa que se utiliza), enzimas y reactor que se utiliza para la hidrólisis (pp. 454–455). Otro aspecto relacionado a las enzimas es que tienen diferentes rangos o intervalos de operación (temperatura, pH y dosis) esto se debe a que los granos malteados o no malteados poseen almidón contenido en una especie de empaque el cual está compuesto por carbohidratos y proteínas evitando que las enzimas tengan acceso, sin embargo, cuando los granos se hidratan y empiezan a gelatinizarse a una temperatura,

pH y enzima específicos, las cadenas largas de almidón empiezan a quebrarse en cadenas pequeñas que con la acción de enzimas como beta- amilasa o alfa-glucosidasa empiezan a convertirse en azúcares.

Para la fermentación final se puede observar que la media de azúcares reductores al finalizar la fermentación (5 días) presenta diferencias significativas entre cada tratamiento, siendo T6 (1,40 kg malta pale + 0,60 kg maíz malteado) el que tiene menor cantidad de azúcares reductores con un valor de 22,15 g/L mientras que el tratamiento con mayor cantidad fue T4 (1,80 kg malta pale +0,20 kg maíz malteado) con 29,25 g/L. Así mismo, al terminar la fermentación (5 días), Melo (2017) obtuvo 12,75 g/L de azúcares reductores a partir de la hidrólisis enzimática de maíz pretratado con ácido sulfúrico y 11,6 g/L de pericarpio de maíz sin pretratar. Por el contrario, Apaza & Atencio (2017) después de 7 días de fermentación obtuvieron una concentración de azúcares de 1,39 g/L en maíz morado malteado.

Tabla 35
Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del tratamiento 6 con 30% de maíz morado malteado

Parámetros	Método de ensayo	Rango mínimo	Rango máximo	Resultado obtenido
Contenido alcohólico a 20°C (% v/v)	NTE INEN 2322	1,0	10,0	4,46
Acidez total expresado como ácido láctico (% m/m)	NTE INEN 2323	-	0,3	0,3
Carbonatación (volúmenes de CO2)	NTE INEN 2324	2,2	3,5	3,4
pH	NTE INEN 2325	3,5	4,8	4,2
Contenido de hierro (mg/dm3)	NTE INEN 2326	-	0,2	0,02
Contenido de cobre (mg/dm3)	NTE INEN 2327	-	1,0	0,17
Contenido de zinc (mg/dm3)	NTE INEN 2328	-	1,0	0,04
Contenido de arsénico (mg/dm3)	NTE INEN 2329	-	0,1	0,12
Contenido de plomo (mg/dm3)	NTE INEN 2330	-	0,1	0,05
Microorganismos Anaerobios (ufc/cm3)	NTE INEN 1529-17	-	10	38x10-3
Mohos y levaduras (up/cm3)	NTE INEN 1529-10	-	10	8,6

En relación con los parámetros del contenido alcohólico, acidez, pH, hierro, cobre, plomo, zinc y recuento microbiano, presentan valores dentro de los rangos permitidos en la norma INEN 2262. Por otro lado, el contenido de arsénico sí presentó un contenido superior 0,12 con respecto al rango máximo 0,1 establecido normativa. La presencia de este metal en cantidades altas se debe a la contaminación por pesticidas en el maíz durante su agricultura (Espinoza-Montero et al., 2021). El parámetro de carbonatación presentó un resultado dentro de los rangos de la normativa vigente 3,4, pero no cumple con el contenido de CO₂ acorde al estilo que va de 2,2 a 2,7 (Aldaz, 2018).

Perfil sensorial de la cerveza

La caracterización sensorial fue ejecutada por un grupo de 7 jueces expertos con su respectivo título BJCP, el cual concluyo que el tratamiento 6 fue el que atributos característicos de la cerveza *Irish Red Ale*, similares resultados presentaron Arévalo y Domínguez (2020), en la que se describió ésteres frutales, color ámbar claro, baja espuma, matoso, dulzor en la cerveza, entre otras. Estas características en su mayoría conferidas por el uso del maíz morado.

La cerveza artesanal *Irish Red Ale* con sustitución de malta de maíz morado presentó aroma a grano, dulce, ésteres frutales y terrosos, caramelo, medio a malta, mantequilla, jerez y frutos rojos, con un color rojizo, cobrizo y ámbar en su mayoría con una ligera retención de espuma, con aromas matosos, lúpulo, grano, ésteres frutales, ligeras notas a pan, sin amargor, toffee, caramelo, mantequilla y mora; con una sensación ligera carbonatación, poca astringencia, cuerpo ligero-medio y ligeramente cremosa. En cuanto a impresión general se tuvo comentarios de buena elaboración, pero no tan acorde al estilo, final seco, falta de carbonatación al momento de acondicionar la botella, revisión de receta en cuanto adición de lúpulos. En general se tuvo una cerveza dulce respecto al estilo, esto debido a los métodos de desdoblamiento de azúcares empleados durante la elaboración, las fallas de carbonatación se presentan por la inexperiencia en este tipo de carbonatación forzada.

Conclusiones

En el proceso de malteado de maíz morado las mejores condiciones fueron, remojo de 38 horas a temperatura ambiente, germinado durante 5 días a 19 °C, secado y tostado de 24 horas a 50 °C debido a que presentó valores de ceniza y humedad dentro de lo establecido en la normativa legal vigente NTE INEN 2051.

En la hidrólisis enzimática el proceso tuvo una máxima estabilidad durante 2 horas a un pH 5,20 a 90° C en la etapa de licuefacción y de sacarificación el tiempo óptimo fue de 46 horas con un pH de 4,46 y una temperatura de 60°C.

Dentro de los dos métodos utilizados para la elaboración de cerveza, el malteado de maíz morado obtuvo mayor contenido de azúcares reductores con un valor de 1333 g/L en el tratamiento 6. Por el contrario, en la hidrólisis enzimática se obtuvo 857 g/L en cantidad de azúcares reductores para el tratamiento 3.

Se determina que el tratamiento 6 presentó un perfil sensorial con las siguientes características: color rubí, aroma que denota cierta inclinación a notas dulces, frutales y caramelo, en el flavor se puede apreciar matices caramelo, pan, toffee, mora y mantequilla, retención ligera de espuma, cuerpo ligero con muy buen balance; esto acorde con lo establecido en la Guía de estilos BJCP.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados en el tratamiento 6 de la cerveza se ajustan a lo que establece la normativa legal vigente NTE INEN 2262, a excepción del contenido de arsénico el cual excedió el rango máximo 0,1.

Recomendaciones

En cuanto al proceso de remojo del grano en la obtención de almidón se debe agregar un conservante que evite la fermentación del maíz morado.

Realizar un modelo matemático que permita conocer la velocidad de reacción en la hidrólisis del almidón de maíz morado, con las enzimas comerciales.

En el proceso de hidrólisis enzimática aplicar diferentes complejos enzimáticos que permitan la máxima eficiencia para disminuir las condiciones isotérmicas específicas que requieren un costo alto.

Referencias

- Aguirre Lituma, J. S. (2019). *Obtención de cerveza artesanal a partir de una malta de maíz morado (Zea Mays L.)* [Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e71428a1-9e6f-411a-890a-4161755f9e94/content>
- Andrade, X., Pisco, I., Quinde, L. y Coronel, C. (2020). *El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador*. Revista Industrias. <https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/> .
- Alcocer Villacís, I. R. (2018). *Determinación del contenido de azúcares reductores, totales, almidón y de los elementos minerales Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) en harinas de Amaranto variedad Alegría, Chía, Papa Puca-shungo y Zanahoria Blanca*. pág. 105. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28389/1/AL%20683.pdf>.
- Camila, M., Quintanilla, D., Carolina, A., Abril, G., Codirector, W., Fernando, H., & Bucheli. (2021). *Caracterización de α -amilasa por medio del método lugol 1 Estandarización del método de Lugol-carbohidrato para la evaluación de la actividad enzimática de α -amilasa de Zea mays L.* <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/341ad33f-ceb8-4faa-8de5-8cc3f037fcf3/content>.
- Chacua, K., Grosso, C., Cabrera, J., León, C., Arellano, J., Rodríguez, C., & Prettel, O. (2017). *Extracción de azúcares reductores totales ART por métodos físicos y químicos de planta de Zea mays (Poaceae) “maíz amarillo duro.”* 24(1). <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24112>.
- Calvo, M. (2000). *Bioquímica de los alimentos*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Casafranca, J. (2023). *Evaluación de las características fisicoquímicas y aceptabilidad de cerveza artesanal tipo ale, elaborada con sustitución parcial de malta de maíz morado (Zea mays L.) como adjunto cervecero*. Repositorio Institucional–UNAMBA. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1284>.
- Castro, P., Luz, E., & Moreira, G. (2021). *Dataset for Hop varieties classification*. Data in Brief, 38, 107312. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107312>.

- Correa, J., Muñoz, I. D. J. A., Núñez, J. V. B., Melgar, C. E. B., & Herrera, Y. K. M. (2020). *Implementación de pulpa de mango en la elaboración de una cerveza artesanal*. Revista de Iniciación Científica, 6. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.0.3136>.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Bebidas alcohólicas. Determinación del contenido de alcohol etílico. Método del alcoholímetro de vidrio* (NTE INEN 340). <https://www.normalizacion.gob.ec/normas-oficializadas/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Bebidas alcohólicas. Cerveza. Determinación de la acidez total* (NTE INEN 2323). Registro Oficial No. 731. <https://www.normalizacion.gob.ec/normas-oficializadas/>

AVANCES EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: ESTUDIOS Y APLICACIONES

1*María Eugenia García Pazmiño

me.garcia@uta.edu.ec

2 Edwin Álvaro Solórzano Saltos

ea.solozano@uta.edu.ec

3 Juan Roberto García Pazmiño

juanr.garcia@uleam.edu.ec

4 Oscar Mateo Aguaguíña Paguay

1 Universidad Técnica de Ambato

Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

Red ecuatoriana para la investigación en el
aprovechamiento de la biomasa, con fines
energéticos y obtención de bioproductos
(ECUMASA)

2 Universidad Técnica de Ambato

Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

3 Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura

Regresión lineal múltiple para el modelamiento matemático de la biomasa residual del aguacate (*Persea americana* Mill).

Resumen

La poda en las especies frutales constituye una actividad primordial para renovar la producción, misma que dependiendo de las características de la especie y el periodo en que necesita ser desarrollada, genera residuos con gran potencial energético que pueden ser aprovechados para la generación de fuentes de energía verde para el uso de las mismas familias productoras. La investigación tuvo por objetivo usar la técnica multivariante de regresión lineal múltiple por el método de mínimos cuadrados ordinarios para obtener un modelo matemático para la cuantificación y predicción de la biomasa residual por efecto de poda de las plantaciones de aguacate (*Persea americana*) ubicadas en el cantón Patate de la provincia de Tungurahua, la cual es una de las principales productoras a nivel nacional; para la modelación se inició con la toma de datos de campo a partir de las medidas dendrométricas de los árboles, que constituyen las variables independientes altura total de la planta (HT), altura de copa (HC), altura del fuste (HF), diámetro de fuste (DF), diámetro de copa (DC), de 70 árboles de aguacate (*Persea americana*), las cuales se reportaron en metros (m), mientras que el peso de los residuos de la poda (biomasa residual húmeda) se reportó en kg., las cuales se tabularon para ser procesadas, se realizaron combinaciones lineales y cuadráticas para garantizar la robustez del modelo obtenido, se pesó la biomasa residual obtenida que representa la variable dependiente; posterior se verificaron los supuestos estadísticos tanto en la data como en el modelo matemático obtenido; se estudiaron los supuestos de independencia de residuos, la normalidad, FIV, homocedasticidad, R cuadrado y significancia del modelo. Así mismo, se utilizó la técnica de cross-validation para la validación del modelo, haciendo uso de estadística inferencial con un contraste de hipótesis para probar la igualdad de medias entre la biomasa residual calculada y la biomasa residual real.

Palabras clave: Regresión lineal múltiple, modelo matemático, validación del modelo

Introducción

Se considera biomasa a toda materia orgánica que puede ser utilizada como una fuente de energía limpia, pues es procedente de residuos agrícolas, textiles, e incluso alimentario, entre otras actividades. (Herguedas et al., 2012)

Los combustibles que usamos comúnmente no son sostenibles y generan gran cantidad de contaminación, por esta razón se están desarrollando investigaciones que permitan identificar el potencial energético de los cultivos vegetales para desarrollar tecnologías que permitan el aprovechamiento del mismo y de esa manera lograr reducir los índices de contaminación propios de las fuentes convencionales de energía (Martí, 2018).

Borja (2018) hace hincapié en el potencial bio-másico que presentan los residuos de las actividades agrícolas, el cual puede llegar a ser industrializado y cubrir las necesidades de biocarburantes, las operaciones como la poda pueden ser estudiadas y destinadas a la producción de energía limpia, y de esta manera lograr obtener réditos adicionales. (Fernández-Puratich & Oliver-Villanueva, 2014; Callejo López et al., 2008).

(Morales, 2019) describe el uso de métodos destructivos, donde se derriba el árbol para obtener las medidas dendrométricas para la estimación del modelo matemático, se pueden encontrar las investigaciones de Cruz & Ramírez (2020), Guangyi *et al.* (2017), Saha et al. (2021), Morales (2019), y en cuanto a modelos no invasivos a partir de métodos matemáticos, estudia (Velázquez-Martí et al., 2012).

Martí (2018) en su investigación, muestra el modelamiento matemático a partir de variables significativas de matrices vegetales lechosas, para la cuantificación de estos restos vegetales para potenciales usos como fuente de energía sustentable.

En Ecuador existe un amplio potencial para el aprovechamiento biomásico por efecto de la agricultura, son pocas investigaciones que hasta el momento abordan la caracterización y cuantificación de residuos agrícolas y agroindustriales de algunas especies, presentando como una alternativa para la obtención de fuentes

de energía limpia; Velázquez-Martí et al. (2016) aborda el tipo de poda, Vargas-Moreno et al. (2012) estudia las condiciones de cultivo, Fernández-Puratich & Oliver-Villanueva, (2014) aborda los parámetros morfológicos y (Patiño, 2014) las tecnologías de transformación. En la investigación de Pérez-Arévalo et al. (2015), se caracteriza usando el análisis de componentes elementales (carbono, hidrogeno, nitrógeno), mediante el cual se estiman la capacidad calorífica de especies locales: aguacate, algarrobo, mango, neem y banano, llegando a reportar algunos modelos matemáticos.

El aguacate constituye una especie vegetal que se cultiva en Ecuador con fines frutícolas pues presenta un alto consumo, por lo que existen varias plantaciones Freire (2020), el ciclo de recolección es cercano a los 4 meses, después del cual es necesario podar los árboles, esta actividad genera material orgánico como son las ramas y hojas, a las cuales no se brinda una correcta disposición final (Velázquez, 2018), pues muchas veces se abandonan en los huertos o son quemados en estado verde generando contaminación por la generación de gases que contribuyen al efecto invernadero del planeta (Intagri, 2017). En la actividad de poda se busca controlar el crecimiento de los árboles frutales mediante el recorte de las ramas con la finalidad de obtener una estructura homogénea y ayudar a la producción de la planta, lo cual genera residuos de los restos de hojas y madera (Borja 2018), mismos que pueden ser aprovechados para fines bioenergético.

Revelo & Sisalema (2016) mencionan que, si bien el aguacate se produce en todo el país, las provincias con mayor producción son Azuay, Carchi, Imbabura y Tungurahua, de la cual el cantón Patate destaca en su producción, razón por la cual, se convierte en un cultivo que genera una cantidad considerable de material biomásico que puede ser aprovechado para gestiones agrícolas sustentables. (Porras, 2019)

Por medio de la técnica multivariante de regresión lineal múltiple por el método de mínimos cuadrados ordinarios se puede realizar el modelamiento matemático para estudiar cómo varía la variable dependiente en función de las variables independientes, así permite predecir la biomasa residual a partir de variables que pueden ser accesibles a medir (Quiñonez-Barraza et al., 2019) Eker et al. (2017).

Materiales y métodos

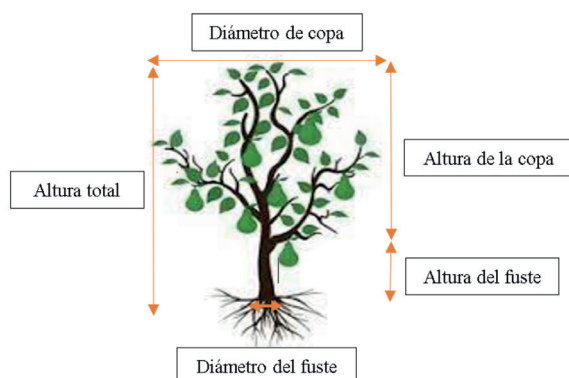
En la presente investigación se realizó un modelamiento matemático con el objetivo de cuantificar y predecir la obtención de biomasa residual como efecto de la poda de los árboles de aguacate *Persea americana*, trabajo que se desarrolló en el cantón Patate perteneciente a la provincia de Tungurahua.

Toma y recolección de muestras

Se determinaron las medidas dendrométricas de cada árbol de aguacate, según se ilustra en la Figura 12.

Figura 12

Variables dendrométricas



Posteriormente se recolectaron y pesaron los residuos de la poda (García, Solórzano, & Macas, 2022).

Análisis estadístico de datos

Con la finalidad de garantizar la linealidad de los datos, se realizó un análisis estadístico, estudiando el rango de curtosis y sesgo estandarizados. (Aguilar et al., 2022)

Se realizó la correlación de Pearson, la cual se aplica a cada par de variables cuantitativas, se analiza cada variable independiente (variables dendrométricas: Altura total de la planta (HT), altura de copa (HC), altura del fuste (HF), diámetro de fuste (DF), diámetro de copa (DC)) con la variable dependiente (material de poda) (Hernández Lalinde 2018 et al. Molina, Ochoa, & Ortega, 2021)

Con la finalidad de obtener un modelo matemático más robusto, se procede como Velázquez-Martí et al., (2012), para lo cual se usan de forma lineal, se elevan esas variables al cuadrado y se combinan las variables lineales.

Modelamiento matemático

Usando la técnica multivariante de regresión lineal múltiple y los softwares estadísticos de SPSS y STATGRAHIPS.

Se aplicó la técnica de Backward Stepwise Regression, con el criterio de eliminación manual, descartando las variables que tengan un valor de p mayor a 0,05. (Delgado, 2022)

Supuestos estadísticos para estudiar en el modelo

Una vez establecido el modelo matemático se aplicaron los siguientes criterios estadísticos para poder aceptarlo: significancia del modelo, factor de inflación de varianza FIV, independencia de residuos, R cuadrado, homocedasticidad, normalidad e independencia de residuos. (García et al. Solórzano, & Macas, 2022 ; (Vera, 2017).

Método para la validación

Se aplicó la técnica denominada Cross- Validation, a razón de 80-20 donde el 80% sirvió para definir el modelo matemático y el 20 % para su validación. Para considerar a un modelo matemático como validado, se requiere estudiar el ajuste de los datos reales a los estimados por medio del modelo matemático,

para lo cual se usó estadística inferencial para contrastar los datos reales versus los predichos y estudiar su variabilidad al 95 % de confianza. (Pérez-Planells et al., 2015) (Trautenmüller et al., 2021) which are needed to implement forest management strategies to maintain desirable and sustainable carbon stocks. The aim of this study was: 1.

Materiales

Los materiales que se utilizaron en la investigación se dividieron de la siguiente manera:

Para la toma de datos: cinta métrica, balanza comercial, tijeras de poda y machete.

Para el modelamiento matemático: computadora, softwares estadísticos STATGRAPHICS 19 y SPSS.

Resultados y discusión

Toma y recolección de muestras

Se midieron las variables dendrométricas: altura total de la planta (HT), altura de copa (HC), altura del fuste (HF), diámetro de fuste (DF), diámetro de copa (DC), de 70 árboles de aguacate (*Persea americana*), las cuales se reportaron en metros (m), mientras que el peso de los residuos de la poda (biomasa residual húmeda) se reportó en kg.

Análisis estadístico de datos

Para estudiar la normalidad de los datos se realizó un análisis estadístico, donde se comprobó que los coeficientes de curtosis y asimetría se encuentren dentro del rango (+2, -2), se contrastó también con un análisis gráfico a partir de un histograma de frecuencias. Posterior se organizó de tal manera que se obtuvieron combinaciones de las 4 variables independientes lineales originales (HC*DC, HT*DC, HT*DF, HT*HC, FC*DF, HC*DF) y además se elevaron al cuadrado cada una (HT², HC², DC², DF²), dando un total de 14 variables a ingresar para el modelamiento.

Para medir el grado de correlación existente entre las variables independientes y la variable dependiente, se realizó el análisis de correlación de Pearson, obteniendo sobre el 0,5 de valores positivos, lo que refuerza la correlación existente (Franklin et al, 2018). Pues como indica Fernández et al. & Pértiga Díaz, (1997) se estudia por medio del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (1-3 que una correlación positiva donde las variables independientes tienden a aumentar conforme incrementa la variable dependiente

Obtención del modelo matemático de predicción

Una vez eliminados los datos atípicos, se trabajaron con 60 datos, para los cuales el 80 % se utilizó para el modelamiento mediante la técnica multivariante de la regresión lineal múltiple por el criterio de Mínimos cuadrados Ordinarios, eliminando manualmente del modelo las variables presentaron un valor p mayor al 0,05 a un nivel de confianza del 95 %, dado que no presentan una relevancia significativa para el modelo; al final, se realiza nuevamente el análisis para comprobar el ajuste paso a paso.

Tabla 36

Resumen Estadístico del modelo por la técnica de Backward Stepwise Regression

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	Valor-p	VIF
CONSTANTE	2,07151	0,245362	8,44268	0,0000	-
HT*HC	0,952937	0,188846	5,04611	0,0000	487,434
HT*DF	-3,57271	0,805417	-4,43586	0,0001	630,814
HC*DC	-1,53553	0,336685	-4,56072	0,0001	395,640
DC*DF	6,82752	1,47046	4,64312	0,0000	535,833

Se puede observar en la tabla 36 el resultado del análisis estadístico para el modelo matemático obtenido a partir de la selección manual con el paso hacia atrás, esta técnica consiste en introducir todas las variables, posterior se van eliminando de manera manual una a una en base al criterio de aquellas que presenten el valor $P < 0,05$, pues no contribuyen a aumentar el coeficiente de determinación reforzado en la investigación de Parra (2016). Como resultado, al final el modelo presenta 5 variables con valores-P menores a 0,05; siendo significativos para el modelo, mismo que se verifican varios criterios para poder dar como aceptado (Olive, 2017)

$$\text{Biomasa (kg)} = 2,07151 - 0,701522(\text{HC}) + 0,952937(\text{HT} * \text{HC}) - 3,57271(\text{HT} * \text{DF}) - 1,53553(\text{HC} * \text{DC}) + 6,82752(\text{DC} * \text{DF})$$

Supuestos estadísticos para estudiar en el modelo

Para aceptar el modelo matemático se estudia el cumplimiento de los criterios, donde cada variable que entró en la ecuación presentó un valor p menor a 0,05, lo cual influye en R cuadrado y demás parámetros calculados. (Tafur et al., Paúl et al., 2019).

Tabla 37

Resultados de la regresión lineal múltiple para el modelo matemático de predicción de biomasa residual.

Estadístico	Valor
R cuadrada	62,689%
Error estándar del est.	0,0929534
Error absoluto medio	0,0694918
Estadístico Durbin-Watson	2,33851
FIV	4

En la Tabla 37 se puede apreciar que el modelo presenta un R cuadrado de 62,689 %, lo cual explica el porcentaje en el cual las variables independientes presentes en el modelo predicen y se aproximan al valor real de la variable dependiente. Montero (2016) en su investigación, toma para la aceptación del modelo el valor R cuadrado que oscila cerca del 75 % e indica como un ajuste satisfactorio, otra medida de ajuste fue error cuadrático medio (ECM). Sajdak et al. Velázquez, & López (2014) modelan la biomasa de la especie *Phoenix canariensis* con un R cuadrado del 65 %, así mismo para la especie *Platanus dactilifera* un R cuadrado 53 %. Y 60 % de R cuadrado para la especie *Sophora japonica* (Sajdak & Velázquez, 2012)

Mientras que el error estándar del estimado muestra una desviación estándar de los residuos de 0,0929534, este permite medir la variabilidad que no se explica por la recta de la regresión, mismo que permite delimitar los valores para futuras observaciones (Vera, 2017).

El error absoluto medio muestra un valor de 0,06949189, y el estadístico Durbin-Watson tiene un valor de 2,33851, este se encuentra dentro del rango 1,5-2,5 y permite determinar el caso de presentar alguna correlación significativa entre los residuos, en el modelo se garantiza la independencia de los residuos (Navarro, 2018).

En el estudio de predicción del volumen fustal realizado por (Antonio et al., 2018) Michoacan. The sample analyzed was 128 trees, in which it was measured the stump diameter, normal diameter and diameters to different sections, from stump height to total height. Six stem volume models were adjusted using the SAS 9.2® statistical package Model procedure. The selection of the model was made from the total square error (SCE, se seleccionó el modelo matemático tomando en cuenta la suma de cuadrados del error, el coeficiente de determinación ajustado y su grado de significancia. Además, se analizaron los supuestos de homocedasticidad e independencia de residuos

Tabla 38
Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	G.l.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,551656	5	0,110331	12,77	0,0000
Residuo	0,328333	38	0,0086403		
Total	0,879989	43			

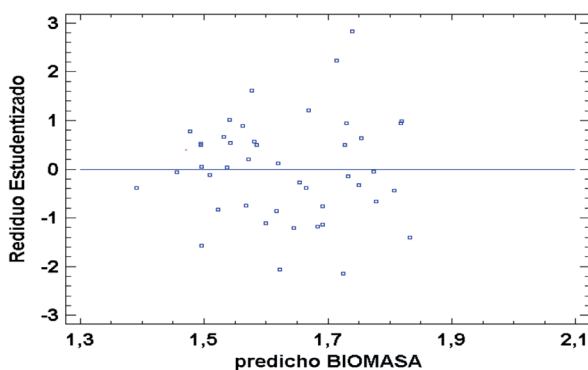
El análisis de varianza reportado en la tabla 38 se puede observar que el valor -P del modelo es menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95 %, lo que permite concluir que la relación lineal es altamente significativa entre la variable independiente y las 5 variables independientes predictoras, de manera adicional se analiza un contraste de hipótesis basándose en el valor de F reportado por el análisis 12,77 versus al valor de F reportado en las tablas de 2,466 lo que brinda evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula e indica que la pendiente de

la recta de la regresión no es 0, corroborando de esa manera que las variables están linealmente relacionadas, es decir que el modelo puede ayudar a predecir y se fundamenta por el valor obtenido.

Para evaluar la homocedasticidad recomienda Zhang (2016) que se debe estudiar la gráfica de los residuos.

Figura 13

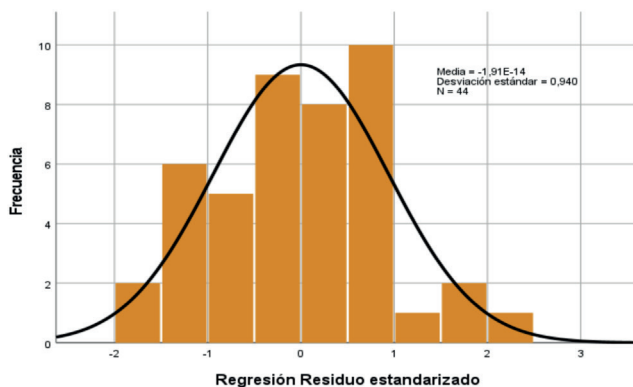
Gráfico de Residuos del modelo matemático.



La Figura 13 muestra el diagrama de dispersión donde, se evidencia que la nube de puntos no presenta ningún patrón de comportamiento, concluyendo que presenta homocedasticidad, pudiendo concluir que se acepta el modelo matemático, después de estudiar y analizar los supuestos estadísticos (Paladino, 2017).

Figura 14

Histograma de frecuencias del Residuo Estandarizado del modelo.



El histograma de frecuencias es una herramienta gráfica donde se puede estudiar y verificar la normalidad del modelo, en la figura 14 se observa que la distribución es campaniforme, con una media cercana a 0 y desviación estándar próxima a 1, la gráfica se asemeja a la campana de Gauss lo que indica un comportamiento normal. (Rivera, 2019)

Validación del modelo matemático obtenido

Aplicando la técnica de cross-validation, se hizo uso de los 11 datos reservados para este fin y se evaluaron en la ecuación obtenida del modelo matemático, planteando de manera previa la hipótesis para el estudio de la normalidad de los datos (tanto de los datos tomados en el campo y los datos calculados con el modelo matemático) a un nivel de confianza del 95 %, usando la prueba de Shapiro-Wilk, pues estamos trabajando con muestras no paramétricas (Romero Saldaña, 2016).

El resultado del análisis, arrojó un valor-P de 0,725 para los datos obtenidos en el campo y un valor-P de 0,108, los cuales son mayores al 0,05, con lo que se puede concluir que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la

hipótesis nula de normalidad, es decir los datos provienen de una distribución normal.

Posterior, se aplicó un contraste de hipótesis con una comparación de las medias de muestras pareadas con la prueba estadística T-student, relacionando los datos obtenidos de manera experimental en el campo y los valores estimados a partir del modelo matemático obtenido, dando un resultado del 0,130 que es mayor al 0,05, por tanto no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de normalidad, es decir que no existe diferencia de medias, con lo cual se puede dar por validado el modelo matemático, pues cumple con la función de predecir.

Conclusiones

Se obtuvo un modelo matemático por medio de regresión lineal múltiple por el método de mínimos cuadrados para la cuantificación y predicción de la poda, propio para la especie vegetal de aguacate (*Persea americana*) cultivada en el cantón Patate de la provincia de Tungurahua, a partir de variables dendrométricas fácilmente medibles en el campo. Se estudiaron los supuestos estadísticos antes y después del modelamiento para poder obtener un modelo robusto. Se validó el modelo por medio de un contraste de hipótesis aplicando la prueba T-student, para determinar si la media de las muestras entre la biomasa real versus la biomasa calculada usando el modelo matemático es igual a 0, concluyendo que el modelo predice pues la biomasa calculada se ajusta a la real; esta prueba permitió aceptar la hipótesis nula concluyendo que el modelo es válido y permite predecir, lo cual convierte al mismo en útil y aporta a la cuantificación de biomasa residual. Así mismo, deja un precedente para el posterior estudio del modelamiento para diversas matrices vegetales que tengan potencial biomásico, o también probar el modelo para plantaciones en otra localidad.

Referencias

- Aguilar, J., Chariguamán, N., Moscoso, M., & Calderón, S. (2022). *La Estadística como una Herramienta en la Metodología Científica*. Riobamba: La Caracola Editores. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-130629-L2022-005.pdf>
- Antonio, R. T., Cárdenas, M. G., Rodríguez, E. A., Calderón, O. A. A., & Pérez, J. J. (2018). *Selection and adjustment of mathematical models to predict the stem volume of Tectona Grandis L. F. in Nuevo Urecho, Michoacan, Mexico*. Madera Bosques, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431544>
- Borja, M. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético* (Reverte, S.). https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/ebd1e307-f7da-4d77-9118-93dbf3783c82/TOC_0609_63_02.pdf?guest=true
- Callejo López, J. A., León Cívico, F. de S. M., Montilla León, V. M., Sanz Pagés, A., Parra Heras, T., & Cáceres Clavero, F. (2008). *Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en Andalucía*. July, 98. <http://www.cap.junta-andalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Estudios-e-informes/historico/metodologia-y-documentos-de-apoyo/biomasa.pdf>
- Cruz, J. C. C., & Ramírez, M. A. (2020). *Additive equations for estimating aboveground biomass of Pinus cembroides Zucc.* Madera y Bosques, 26(1). <https://doi.org/10.21829/MYB.2020.2611821>
- Delgado Paz, E. (2022). *Integración de herramientas estadísticas con Python*. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingeniería Informática de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/57251>
- Eker, M., Poudel, K. P., & Özçelik, R. (2017). *Aboveground biomass equations for small trees of brutian pine in Turkey to facilitate harvesting and management*. Forests, 8(12), 477–477. <https://doi.org/10.3390/f8120477>
- Fernández S., P., & Pérttega Díaz, S. (1997). *Investigación: relación entre variables cuantitativas*. Cad Atención Primaria., 4, 141–144. http://desarrollo.fisterra.com/mbe/investiga/var_cuantitativas/var_cuantitativas2.pdf
- Fernández-Puratich, H., & Oliver-Villanueva, J. V. (2014). *Cuantificación de biomasa y valor energético de renovales de Quercus ilex en condiciones*

- mediterráneas*. Bosque, 35(1), 65–74. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000100007>
- Franklin, J., Castro, E., Rodríguez, J. E., Karina, M., Torrado, A., Milena, S., & Sierra, C. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 37(5), 587–595. <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>
- Freire, J. (2020). *Estudio Del Aguacate (Hass) Producido En El Cantón Patate, Provincia De Tungurahua Y Su Manufacturación Con Valor Agregado*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/12125>
- García, M., Solórzano, E., & Macas, L. (2022). *Modelado matemático para la predicción de biomasa residual del café*. Revista de Investigación Talentos, 33-44. <https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.159>
- Guangyi, M., Yujun, S., & Saeed, S. (2017). *Models for Predicting the Biomass of Cunninghamialanceolata Trees and Stands in Southeastern China*. PLoS ONE, 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169747>
- Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., & Paniagua, P. (2012). *Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad*. Transbioma, 13(2), 105–109. https://www.researchgate.net/publication/260383181_Biomasa_biocombustibles_y_sostenibilidad
- Hernández Lalinde, J. D., Espinosa Castro, F., Rodríguez, J. E., Chacón Rangel, J. G., Toloza Sierra, C. A., Arenas Torrado, M. K., Bermúdez Pirela, V. J. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 587-601. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/16165
- Intagri. (2017). *La Poda en el Cultivo de Aguacate*. Artículos Técnicos de INTAGRI, Serie Frutales Núm.28, pág. 3-4. Obtenido el 27 de septiembre del 2021 de: <https://www.intagri.com/articulos/frutales/la-poda-en-el-cultivo-de-aguacate>
- Martí, B. V. (2018). *Caracterización completa de los residuos de poda del árbol del lechero como materia prima para biocombustible*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/handle/10251/115479>

- Molina, M., Ochoa, C., & Ortega, E. (2021). *Correlación. Modelos de regresión. Evidencias en pediatría*, 1-6. <https://evidenciasenpediatria.es/articulo/7827/correlacion-modelos-de-regresion>
- Montero, R. (2016). *Modelos de regresión lineal múltiple. Documentos de Trabajo En Economía Aplicada*, 60. https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf
- Morales Vallejo, P. (2012). *Correlación y regresión, simple y múltiple. Apuntes de Facultad de Ciencias Humanas y Sociales*. UP Comillas, 24. <https://url-shortener.me/2QDK>
- Morales, A. (2019). *Generación de un modelo matemático para la estimación de biomasa y cuantificación de carbono en plantaciones de san juan (Vochysia guatemalensis Donnell-Smithii)*. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9). <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisortiz/2017/06/22/Morales-Gerson.pdf>
- Navarro, A. (2018). *Modelo para la estimación de la capacidad*. 2–5. <https://www.redalyc.org/journal/3497/349770248007/349770248007.pdf>
- Olive, D. J. (2017). *Linear regression*. In *Linear Regression*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55252-1>
- Paladino, M. (2017). *Modelos lineales con R*. https://www.institutomora.edu.mx/testU/SitePages/martinpaladino/modelos_lineales_con_R.html
- Parra, F. (2016). *Documentos Técnicos. Curso de Estadística con R*. 137. <https://www.icane.es/documents/32482389/33131571/Curso+estad%C3%ADstica+R+2+2016.pdf/59bf6e18-47b8-51b1-acb6-3bd50a7bc5bc?t=1684853287377>
- Patiño, P. (2014). *Biomasa: estudio de factibilidad para implementar un sistema de generación de energía a partir de residuos vegetales*. Universidad de Santander-Bucaramanga. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/2882>
- Pérez-Arévalo, J. J., Callejón-Ferre, A. J., Velázquez-Martí, B., & Suárez-Medina, M. D. (2015). *Prediction models based on higher heating value from the elemental analysis of neem, mango, avocado, banana, and carob trees in Guayas (Ecuador)*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 7(5). <https://doi.org/10.1063/1.4934593>
- Pérez-Planells, L., Delegido, J., Rivera-Caicedo, J. P., & Verrelst, J. (2015). *Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de*

parámetros biofísicos. Revista de Teledetección, 2015(44), 55–65. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.4153>

- Quiñonez-Barraza, G., Zhao, D., de los Santos-Posadas, H. M., Santiago-García, W., Tamarit-Urias, J. C., & Nájera-Luna, J. A. (2019). *Sistema compatible de abusamiento, volumen, peso verde, biomasa y concentración de carbono para Quercus sideroxylla Bonpl.* Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente ,25(1), 49-69. <https://url-shortener.me/2QCB>
- Revelo, C & Sisalema, L. (2016). *Facultad de ingeniería y ciencias agropecuarias determinación de los periodos fenológicos de dos variedades de aguacate Porras*, <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5145>
- J. (2019). *Plan de negocios para la creación de una empresa exportadora de aguacate variedad Hass hacia el mercado holandés. (Tesis de grado)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/15266>
- Rivera, S. L. (2019). *Universidad Nacional Autónoma De México*. 4–6. http://www.novapdf.com/%0Ahttp://www.geocities.com/alaro2001/espanyol/historia_cast.htm.4www.epec.com.ar/PaginaOficial2/docs/.../fichaguerra_ctes.pd%0Ahttp://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1439/1/tesis.pdf
- Romero Saldaña, M. (2016). *Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal*. *Enfermería Del Trabajo*, 6(3), 105–114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Saha, C., Mahmood, H., Nayan, S. N. S., Siddique, M. R. H., Abdullah, S. M. R., Islam, S. M. Z., Iqbal, M. Z., & Akhter, M. (2021). *Allometric biomass models for the most abundant fruit tree species of Bangladesh: A Non-destructive approach*. *Environmental Challenges*, 3(December 2020), 100047. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100047>
- Sajdak, M., & Velázquez, B. (2012). *Estimation of pruned biomass through the adaptation of classic dendrometry on urban forest: case study of Sophora japonica*. *Renewable energy*, 47: 188-193. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.04.002>
- Sajdak, M., & Velázquez, B. L. (2014). *Quantitative and qualitative characteristics of biomass derived from pruning Phoenix canariensis hort. ex Chabaud and Phoenix dactilifera L.* *Renewable Energy*, 71: 545-552. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.004>

- Tafur-Escanta, P., Villavicencio, A., Gutierrez, E., & Soria, A. (2019). *Mathematical Modeling of Energetic Performance Parameters for Downdraft Gasifiers through Regression Techniques*. Científica Instituto Científico Nacional México, 69-81. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265008/>
- Trautenmüller, J. W., Péllico Netto, S., Balbinot, R., Watzlawick, L. F., Dalla Corte, A. P., Sanquetta, C. R., & Behling, A. (2021). *Regression estimators for aboveground biomass and its constituent parts of trees in native southern Brazilian forests*. Ecological Indicators, 130 (October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108025>
- Vargas-Moreno, J. M., Callejón-Ferre, A. J., Pérez-Alonso, J., & Velázquez-Martí, B. (2012). *A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5).: 3065-83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.054>
- Velázquez-Martí B., Armengot-Carbó B., Gaibor Chávez J., Pérez Pacheco S. **2016a**. *Estudio de viabilidad de la utilización de residuos agrícolas para uso energético en San Simón y San Lorenzo de la provincia de Bolívar (Ecuador)*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. 455 pp <https://bvelazquez.blogs.upv.es/files/2019/01/1.-HISTORIAL-ACAD%C3%89MICO-Borja-Vel%C3%A1zquez-Mart%C3%AD.pdf>
- Velázquez-Martí, B., Estornell, J., López-Cortés, I., & Martí-Gavilá, J. (2012). *Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry*. Biosystems Engineering, 112(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011>
- Velázquez-Martí, B., Estornell, J., López-Cortés, I., & Martí-Gavilá, J. (2012). *Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry*. Biosystems Engineering, 112(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.04.011>
- Vera, G. (2017). *Pruebas de bondad de ajuste*. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, x, 13 pp. https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/Sahagun/industrial/2017/Pruebas_de_bondad_de_ajuste.pdf
- Zhang, D. (2016). *Accepted Manuscript a Coefficient of Determination for Generalized Linear Models*. 1–20. 10.1080/00031305.2016.1256839

AVANCES EN LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS: ESTUDIOS Y APLICACIONES

Gualberto Gerardo León Revelo

gualberto.leon@upec.edu.ec

Claudia Verónica Játiva Ruano

claudia.jativa@upec.edu.ec

Genny Paola Narváez Rodríguez

genny.narvaez@upec.edu.ec

Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Carrera de Alimentos

Evaluación de la producción de panela en los trapiches de Pindical y Chical
ubicados en las parroquias de Maldonado y Chical.

Resumen

La realización de este estudio se justifica por la gran popularidad de la panela en Ecuador como producto alimenticio, así como por su significativa contribución a los ingresos de los agricultores locales. Además, la implementación de mejores prácticas en su producción no solo beneficia la calidad y seguridad del producto, sino que también funciona como una medida preventiva para evitar posibles sanciones y garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad alimentaria. Por lo cual en la investigación se planteó como objetivo realizar un diagnóstico de la situación actual del uso de prácticas correctas de higiene en los trapiches, fundamentada en la resolución de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA 057-20). Mediante Pareto se identificaron los principales problemas que tenían cada uno de los trapiches. Siendo el trapiche Chical el que presentó problemas que deben ser resueltos de manera urgente, mientras que Pindical mostró un número menor de problemas en referencia a Chical, siendo las problemáticas recurrentes en los dos trapiches: salud ocupacional, educación y capacitación, aseguramiento y control de la calidad, limpieza y desinfección, control de plagas y practicas higiénicas y medidas de protección.

Palabras clave: Trapiche, ARCSA, Pareto y panela.

Introducción

El cultivo de caña de azúcar está localizado principalmente en la Región Costera del Ecuador siendo la provincia del Guayas una de las principales productoras ya que representa el 75,14 % de la superficie total cosechada, en segundo y tercer orden de superficie se encuentran Cañar e Imbabura con el 20,48 % y 1,89 %, respectivamente (Rodríguez et al. García, Roa, & Santacoloma, 2004).

La panela es un producto natural obtenido de la extracción y evaporación de los jugos de la caña de azúcar, elaborado en los establecimientos denominados trapiches paneleros o en las centrales de acopio de mieles vírgenes, en cualquiera de sus formas y presentaciones. (Acurio, 2010)

La panela está compuesta por carbohidratos, minerales, proteínas, vitaminas, grasas, los cuales se detallan en la Tabla 39:

Tabla 39

Componentes de la panela

Componente	Cantidad
Sacarosa(g)	72 a 78
Fructosa (g)	1.5 a 7
Glucosa (g)	1.5 a 7
Minerales (g)	
Calcio	0.01 a 0.013
Magnesio	0.04 a 0.1
Fósforo	0.07 a 0.09
Sodio	0.02 a 0.09
Hierro	0.019 a 0.03
Manganeso	0.01 a 0.013
Zinc	0.002 a 0.005
Flúor	0.002 a 0.004
Cobre	0.0053 a 0.006
Vitaminas (g)	
Provitamina A	0.002
Vitamina A	0.0038
Vitamina B1	0.01
Vitamina B2	0.06
Vitamina B5	0.01
Vitamina B6	0.01
Vitamina C	0.007
Vitamina D	0.0065
Vitamina E	0.1113
Vitaminas PP (B3 o niacina)	0.007
Proteínas	0.28
Agua (g)	1.5 a 7
Energía (cal)	312

Fuente: (Quezada W., 2007)

La panela puede estar expuesta a diversas fuentes de contaminación durante su

proceso de producción y manipulación. La falta de controles rigurosos podría resultar en la presencia de microorganismos patógenos y contaminantes químicos en la panela, siendo una potencial amenaza para la salud de los consumidores. (Martínez & Díaz, 2018)

Factores como las prácticas agrícolas, la manipulación durante la producción y el almacenamiento pueden influir en la presencia de contaminantes y la calidad nutricional de la panela (Vélez, 2021; Çakmakçı, 2023).

En el Ecuador el ente de control en la producción de alimentos es la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), la cual define las reglas y requisitos de salud y seguridad que deben cumplir los métodos de producción, procesamiento, preparación, envasado, transporte y venta de alimentos para consumo humano en Ecuador, así como los requisitos para la obtención de una declaración sanitaria, alimentos procesados, nacionales y extranjeros de acuerdo con el perfil de riesgo, con el fin de proteger la salud pública, para asegurar el abastecimiento de productos sanos e inocuos (ARCSA, 2015). El cumplimiento cabal de las normativas en una industria asegura un control riguroso de la calidad e inocuidad de los alimentos a lo largo de la cadena de producción, distribución y comercialización.

Esta norma nacional indica que a través de los alimentos se pueden transmitir múltiples enfermedades, pudiendo constituir un problema de salud pública. Según ARCSA los alimentos pueden transmitir enfermedades debido a:

- Contaminaciones físicas: pueden contaminar el alimento partículas de metal desprendidas por utensilios o equipos, pedazos de vidrio por rotura de lámparas, pedazos de madera procedentes de empaques o de tarimas, anillos, lapiceros, pulseras u otros, todos los cuales pueden caer en el alimento y contaminarlo.
- Contaminaciones químicas: pueden darse de manera accidental durante etapas como el transporte, el almacenamiento o elaboración propiamente dicha, al permitirse el contacto de alimentos con sustancias tóxicas como plaguicidas, combustibles, lubricantes, pinturas, detergentes, desinfectantes

u otros.

- Contaminaciones biológicas: pueden llegar al alimento por medio de las manos del hombre, por contacto con alimentos contaminados o con superficies como mesas, recipientes, utensilios o equipos contaminados. También pueden llegar a través de plagas que posan sus patas sobre el alimento o tienen contacto con él, como es el caso de las moscas, hormigas, cucarachas, ratas o también animales domésticos.
- Infecciones: Es la propia presencia de microorganismos en el alimento que resulta nociva para la salud una vez ingerido.
- Intoxicaciones: Causadas por el consumo de alimentos que contienen sustancias tóxicas, como restos de pesticidas en vegetales o productos tóxicos formados por la descomposición del propio alimento. Algunos microorganismos también producen toxinas.
- Toxiinfecciones alimentarias: Originadas por la presencia en los alimentos de gérmenes patógenos que al reproducirse, producen toxinas.

El desarrollo de la investigación se lleva a cabo, puesto que la panela es un producto alimenticio muy popular en Ecuador, y su producción es una fuente importante de ingresos para los agricultores locales. Además, la mejora de las prácticas de producción no solo tiene implicaciones positivas para la calidad e inocuidad del producto, sino que también actúa como un mecanismo preventivo para evitar sanciones y asegurar el cumplimiento de los estándares de seguridad alimentaria.

Materiales y métodos

El enfoque de esta investigación es cualitativo considerando las normativas que deben cumplir los productores de panela de las parroquias de Maldonado – Chical para obtener una panela inocua y de calidad, determinando la situación actual de los trapiches, e identificando que los procesos estén acordes a las prácticas correctas de higiene y manipulación de alimentos a través de la aplicación y análisis de

los instrumentos de recolección de información, mediante la observación y la inspección. Para el desarrollo de la investigación se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Crear una lista de verificación basada en las regulaciones del ARCSA: Se aplicó una lista de verificación a los trapiches para determinar el porcentaje de cumplimiento que poseen con respecto a las prácticas correctas de higiene (PCH), basándonos en la resolución 057 – 2015 del ARCSA, “Norma técnica sanitaria sobre prácticas correctas de higiene”, la cual establece requisitos y parámetros que debe cumplir una planta productora de alimentos a nivel artesanal.
- Levantar información, con visitas a los trapiches e identificar la situación en la que se elaboró la panela: con la finalidad de conocer las instalaciones y la tecnología utilizada para la elaboración de panela, para así percibir cómo se llevaron a cabo los procesos desde la recepción de la materia prima hasta su transformación y comercialización.
- Determinar el cumplimiento presentado por los trapiches en cuanto a la normativa: Se aplicó una lista de verificación a los trapiches para determinar el porcentaje de cumplimiento que poseen con respecto a las prácticas correctas de higiene (PCH), basado en la resolución 057 – 2015 del ARCSA, “Norma técnica sanitaria sobre prácticas correctas de higiene”, la cual establece requisitos y parámetros que debe cumplir una planta productora de alimentos a nivel artesanal.

A continuación, se presenta el procedimiento de evaluación de la lista de verificación aplicada: Se procedió a marcar con un SÍ y NO los casilleros de cumplimiento e incumplimiento. Luego de haber llenado la lista de verificación de manera correcta, se procedió a realizar un análisis para medir el porcentaje de cumplimiento.

La calificación para cada ítem de los requisitos de la lista se dio en base a las condiciones de cumplimiento, y se describe su escala en la Tabla 40:

Tabla 40*Escalas usadas para la calificación en los ítems de la lista de verificación de PCH*

Escala valorada	Escala del cumplimiento	Criterio
0	No cumple	El ítem tiene un 0 % de cumplimiento del requisito establecido por el reglamento.
1	Cumple parcialmente	El ítem tiene de 1 % a 50 % de cumplimiento del requisito establecido por el reglamento.
2	Cumple satisfactorio	El ítem tiene de 51 % a 99 % de cumplimiento del requisito establecido por el reglamento.

Los datos fueron expresados en porcentaje de cumplimiento de las secciones evaluadas y del total del cumplimiento.

Resultados y discusión

Los trapiches paneleros objeto de estudio son Pindical y Chical, ubicados en las parroquias de Maldonado y Chical. El análisis se realizó con la finalidad de determinar el grado de cumplimiento de cada uno de los requisitos, para mejorar la calidad e inocuidad de la panela producida en estos trapiches.

Se utilizó una lista de verificación basada en la normativa ARCSA 057-2015, que consta de 15 factores de verificación. Cada factor se evaluó en una escala de porcentaje, si el valor alcanzado era mayor o igual al 50 % se cumple con el factor, por el contrario, si el porcentaje resultaba menor al 50 % no se cumple con el factor. Los factores de verificación abarcaron diversas etapas del proceso de producción de panela, desde la recepción de materias primas hasta la gestión de residuos y el control de plagas.

Una vez aplicada la lista de verificación se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41

Lista de verificación de instalaciones físicas

N°	1. Instalaciones Físicas	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
1.1	El trapiche está ubicado en un lugar alejado de focos de insalubridad o contaminación	Sí	2	Sí	2
1.2	La construcción de la planta es resistente al medio ambiente y a prueba de roedores, presenta aislamiento y protección contra el libre acceso de animales	Sí	2	No	0
1.3	Las áreas de la fábrica están totalmente separadas de cualquier tipo de vivienda.	Sí	2	No	0
1.4	Los accesos, alrededores de la planta se encuentran limpias y en buen estado de mantenimiento.	No	0	No	0
1.5	Las puertas, ventanas y claraboyas están protegidas para evitar entrada de polvo, lluvia e ingreso de plagas.	Sí	2	No	0
1.6	Los trapiches cuentan con la delimitación física entre las áreas.	Sí	2	No	0
1.7	Se encuentran claramente señalizadas las diferentes áreas y secciones cuanto, a acceso y circulación de personas, servicios, seguridad, salidas de emergencia, etc.	No	0	No	0
Puntaje Obtenido			10		2
Puntaje Máximo			14		14
Cumplimiento			71 %		14 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presentó un cumplimiento del 71 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño bueno al superar el 50 %, en comparación con los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical mostró un cumplimiento bajo del 14% al no alcanzar el 50 %, indicando que no cumple satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

Tabla 42

Lista de verificación de instalaciones sanitarias.

N°	2. Instalaciones Sanitarias	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
2.1	La planta cuenta con servicios, sanitarios bien ubicados en cantidades suficientes, separados por sexo y en perfecto estado y funcionamiento (lavamanos, duchas, inodoros)	Sí	2	No	0
2.2	Los servicios sanitarios están conectados a un sistema de disposición de residuos	Sí	2	Sí	2
2.3	Los servicios sanitarios están dotados con los elementos para la higiene personal (jabón líquido, toallas desechables, papel higiénico) etc.	No	0	No	0
2.4	Existe lugar de almacenamiento para ubicar indumentaria ajena al proceso.	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		4		2
	Puntaje Máximo		8		8
	Cumplimiento		50 %		25 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presenta un cumplimiento del 50 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño bueno en comparación con los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical muestra un cumplimiento muy bajo del 25 % al no superar el 50 %, indicando que no cumple satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

En la Figura 16 se puede observar la instalación sanitaria del trapiche Pindical.

Figura 15

Instalación sanitaria Pindical



Tabla 43*Lista de verificación de prácticas higiénicas y medidas de protección*

N°	3. Prácticas Higiénicas Y Medidas De Protección	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
3.1	Los operarios tienen uniformes limpios y en buen estado	No	0	No	0
3.2	Se lavan las manos con agua y jabón cuando se requiere y mantienen uñas cortas, limpias y sin esmalte.	Sí	2	Sí	2
3.3	usan joyas, comen, fuman, o beben en las áreas de proceso.	No	0	No	0
3.4	Los visitantes cumplen con todas las normas de higiene y protección	No	0	No	0
3.5	Las personas que realizan actividades de manipulación de la panela tienen capacitación en prácticas higiénicas de manipulación de alimentos.	No	0	No	0
3.6	El personal manipulador de alimentos cuenta y utiliza las medidas de protección	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		2		2
	Puntaje Máximo		12		12
	Cumplimiento		17 %		17 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical no alcanza el 50 % presentando un cumplimiento del 17 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño bajo en comparación con los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical tampoco alcanzó el 50 %, mostrando un cumplimiento bajo del 17 %, indicando que no cumple satisfactoriamente los requisitos de la normativa.

Tabla 44

Lista de verificación de educación y capacitación

N°	4. Educación y Capacitación	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
4.1	Cuentan con un plan de capacitación dirigido a operarios, para llevar a cabo las tareas que se les asignan, con el fin de que sepan adoptar las precauciones necesarias para evitar la contaminación de los alimentos	No	0	No	0
4.2	Existen un programa de capacitación en educación sanitaria	No	0	No	0
4.3	Para reforzar el cumplimiento de las prácticas higiénicas se han de colocar sitios estratégicos avisos alusivos a la obligatoriedad y necesidad de su observancia durante la manipulación de alimentos.	No	0	No	0

Puntaje Obtenido	0	0
Puntaje Máximo	6	6
Cumplimiento	0 %	0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical no alcanza el 50 % presentando un cumplimiento del 0 % de los requisitos, lo cual indica que no cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

Tabla 45

Lista de verificación de abastecimiento de agua.

N°	5. Abastecimiento de Agua	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
5.1	El agua utilizada en la planta es potable o fácil de higienizar	No	0	No	0
5.2	Cuenta con registro de laboratorio que verifican la calidad del agua	No	0	No	0
5.3	El agua no potable producto de las actividades realizadas tiene depósito final exclusivo.	Sí	2	Sí	2
5.4	El tanque de almacenamiento de agua está protegido, es de capacidad suficiente y es de fácil limpieza y desinfección	Sí	2	Sí	2

Puntaje Obtenido	4	4
Puntaje Máximo	8	8
Cumplimiento	50 %	50 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical presentan un cumplimiento del 50 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño satisfactorio con respecto a los requisitos de la normativa.

Tabla 46

Lista de verificación de disposición de residuos sólidos

N°	6. Disposición de Residuos Sólidos	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
6.1	Los residuos sólidos son removidos frecuentemente para evitar la generación de malos olores, molestias sanitarias y la contaminación tanto del producto como de las superficies locativas.	Sí	2	Sí	2
6.2	El establecimiento cuenta con recipientes para recolección y almacenamiento de los residuos solidos	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		2		2
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		50 %		50 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical presenta un cumplimiento del 50 % de los requisitos, lo cual indica que cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

Tabla 47

Lista de verificación de control de plagas

N°	7. Control de Plagas	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
7.1	Cuenta con un programa escrito de procedimientos para el control integral de plagas y roedores, etc.	No	0	No	0
7.2	Los productos utilizados para el control de plagas, roedores están claramente rotulados y almacenados fuera del trapiche	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		0		0
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		0 %		0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical presentan un cumplimiento del 0 % de los requisitos, lo cual indica que no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa.

Tabla 48*Lista de verificación de limpieza y desinfección*

N°	8. Limpieza y Desinfección	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
8.1	Existen documentos del proceso de limpieza y desinfección de las diferentes áreas, equipos y utensilios	No	0	No	0
8.2	Cuentan con registros que evidencian la inspección de limpieza y desinfección periódicamente.	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		0		0
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		0 %		0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical presentan un cumplimiento del 0% de los requisitos, lo cual indica que no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa.

Tabla 49*Lista de verificación del proceso de fabricación*

N°	9. Proceso de Fabricación	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
9.1	El material diseño, acabado e instalación de los equipos y utensilios deben permitir la fácil limpieza, desinfección y mantenimiento higiénico de los mismos y de las áreas adyacentes	Sí	2	Sí	2
9.2	La distribución de la planta tiene un flujo secuencial del proceso de elaboración para prevenir la contaminación cruzada.	Sí	2	No	0
9.3	El trapiche debe contar con los equipos recipientes y utensilios que garanticen las buenas condiciones sanitarias en la elaboración de la panela incluyendo los molinos.	Sí	2	No	0
9.4	El molino y sus partes se encuentra en buen estado para evitar la contaminación del producto	Sí	2	Sí	2
9.5	Cuenta con un procedimiento periódico para el mantenimiento de los equipos para prevenir fallas en medio de la operación y evitar la presencia de agentes contaminantes	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		8		4

Puntaje Máximo	10	10
Cumplimiento	80 %	40 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presenta un cumplimiento del 80 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño alto de los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical muestra un cumplimiento bajo del 40 %, indicando que no cumple satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

Tabla 50

Lista de verificación de la sala de proceso

N°	10. Sala de Proceso	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
10.1	Las paredes permanecen limpias y en buen estado	Sí	2	No	0
10.2	Los pisos de la sala de producción son lavables, de fácil limpieza y desinfección, no porosos, no absorbentes, sin grietas o perforaciones	Sí	2	No	0
10.3	Los sifones tienen rejillas adecuadas	Sí	2	No	0
10.4	El techo debe estar en buen estado y su material de fácil limpieza	No	0	No	0
10.5	Cuenta el trapiche con las diferentes áreas requeridas para el proceso. (recepción, producción, almacenamiento y servicios sanitarios)	Sí	2	No	0
10.6	Las áreas deben tener iluminación y ventilación adecuada	Sí	2	Sí	2
10.7	Existe delimitación entre las áreas existentes	Sí	2	No	0
10.8	Existe lavamanos no accionados manualmente, dotados con jabón líquido y solución desinfectante y ubicados en las áreas de proceso o cercanas a esta.	Sí	2	No	0

10.9	Las lámparas y accesorios de seguridad están en la sala de proceso y son de uso exclusivo del mismo.	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		14		2
	Puntaje Máximo		18		18
	Cumplimiento		78 %		11 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presenta un cumplimiento del 78 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño alto de los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical muestra un cumplimiento bajo del 11 %, indicando que no cumple satisfactoriamente con los requisitos de la normativa.

Figura 16

Sala de proceso de Pindical



Tabla 51*Lista de verificación de materias primas e insumos*

N°	11. Materias Primas e Insumos	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
11.1	Las materias primas e insumos se almacenan en condiciones sanitarias adecuadas en áreas independientes, marcadas e identificadas.	Si	2	Si	2
11.2	Se llevan registros escritos de las condiciones de conservación de las materias primas.	No	0	No	0
11.3	Se verifica si las materias primas empleadas se encuentran dentro de su vida útil.	No	0	No	0
11.4	Se llevan fichas técnicas de las materias primas: procedencia, volumen, rotación, condiciones de conservación, etc.	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		2		2
	Puntaje Máximo		8		8
	Cumplimiento		25 %		25 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical no alcanzan el 50 % presentando un cumplimiento del 25 % de los requisitos, lo cual indica que no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa.

Figura 17

Almacenamiento de materias primas



Tabla 52

Lista de verificación de envases y embalaje

No	12. Envase y Embalaje	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
12.1	El envasado se realiza en buenas condiciones higiénico- sanitarias para evitar la contaminación de la panela.	Sí	2	No	0

12.2	Los materiales de envase y empaque deben estar limpios, en perfectas condiciones y que no hayan sido utilizados previamente para otro fin. El embalaje de panelas debe ser diferente a materiales como costales o material no sanitario	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		2		0
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		50 %		0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presenta un cumplimiento del 50 % de los requisitos, lo cual indica un desempeño bueno con los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical muestra un cumplimiento bajo del 0 %, indicando que no cumple con los requisitos establecidos por la normativa.

Figura 18

Envases de panela (Pindical)



Tabla 53

Lista de verificación de almacenamiento de producto terminado

N°	13. Almacenamiento Producto Terminado	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
13.1	Se hace ordenadamente en pilas o sobre estibas, con adecuada separación entre las paredes y el piso.	Sí	2	No	0
13.2	Se lleva un control de primeras entradas y salidas con el fin de garantizar la rotación de los productos	Sí	2	No	0
	Puntaje Obtenido		4		0
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		100 %		0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, el trapiche de Pindical presenta un cumplimiento del 100 % de los requisitos, lo cual indica que cumple con los estándares establecidos. Por otro lado, el trapiche de Chical muestra un cumplimiento bajo del 0 %, indicando que no cumple con los requisitos de la normativa.

Tabla 54

Lista de verificación de salud ocupacional

N°	14. Salud Ocupacional	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
14.1	El establecimiento dispone de un botiquín de primeros auxilios con la dotación adecuada. (Gasa, alcohol, curas, etc.)	No	0	No	0
14.2	El personal dispone de implementos de dotación personal que cumplan con la reglamentación de seguridad industrial: botas industriales, gorro, delantal, guantes, tapa bocas.	No	0	No	0
14.3	Existen equipos e implementos de seguridad en funcionamiento y bien ubicados (extintores, campanas extractoras de aire, barandas, etc.)	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		0		0
	Puntaje Máximo		6		6
	Cumplimiento		0 %		0 %

Según la lista de verificación basada en la norma ARCSA 057-2015, los trapiches de Pindical y Chical presenta un cumplimiento del 0 % de los requisitos, lo cual indica que no cumplen con los requisitos establecidos por la normativa.

Tabla 55*Lista de verificación de aseguramiento y control de calidad*

N°	15. Aseguramiento Y Control De Calidad	Trapiche			
		Pindical	Valor	Chical	Valor
15.1	Posee fichas técnicas de productos terminados en donde se incluyan criterios de aceptación, liberación o rechazo	No	0	No	0
15.2	Los procesos de producción y control de calidad están bajo responsabilidad de profesionales o técnicos capacitados	No	0	No	0
	Puntaje Obtenido		0		0
	Puntaje Máximo		4		4
	Cumplimiento		0 %		0 %

A continuación, se presenta una tabla resumen de los 15 factores analizados en los trapiches de Pindical y Chical.

Tabla 56*Porcentaje de cumplimiento de los factores*

N°	Factores	Pindical		Chical	
		%	CUMPLE	%	CUMPLE

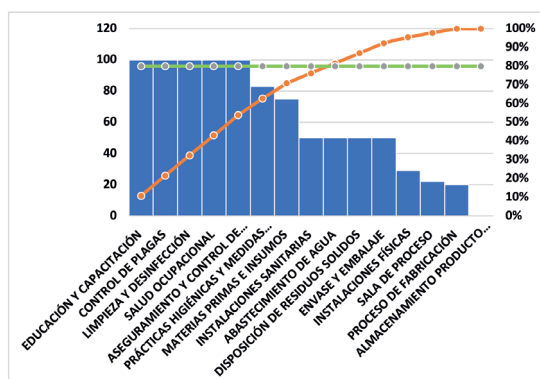
1	Instalaciones físicas	71	Sí	14	No
2	Instalaciones sanitarias	50	Sí	25	No
3	Prácticas higiénicas y medidas de protección	17	No	17	No
4	Educación y capacitación	0	No	0	No
5	Abastecimiento de agua	50	Sí	50	Sí
6	Disposición de residuos sólidos	50	Sí	50	Sí
7	Control de plagas	0	No	0	No
8	Limpieza y desinfección	0	No	0	No
9	Proceso de fabricación	80	No	40	No
10	Sala de proceso	78	Sí	11	No
11	Materias primas e insumos	25	No	25	No
12	Envase y embalaje	50	Sí	0	No
13	Almacenamiento producto terminado	100	Sí	0	No
14	Salud ocupacional	0	No	0	No

15	Aseguramiento y control de calidad	0	No	0	No
----	---------------------------------------	---	----	---	----

Como se puede observar en la Tabla 56, el trapiche Pindical cumple con 7 factores de los 15, mientras que el trapiche Chical cumple con solo dos factores de los 15, por lo cual cabe recalcar que Pindical estaría cumpliendo un 46,67 % de la norma establecida por el ARCSA mientras que Chical tan solo cumple un 13,33 % de la norma establecida en el Ecuador. Para los dos trapiches se aplicó un diagrama de Pareto para determinar las causas principales.

Figura 19

Diagrama de Pareto trapiche Pindical

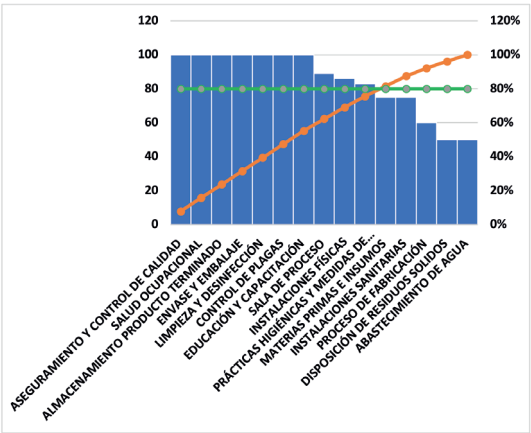


En la Figura 26 se aprecia que los principales problemas que deberían ser resueltos de forma prioritaria son cinco, la educación y capacitación de los trabajadores, el control de plagas, la limpieza y desinfección de los materiales, la salud ocupacional y el aseguramiento y control de calidad, los otros cuatros que son urgentes y deben ser mejorados son las prácticas higiénicas y medidas de protección, las materias primas e insumos, las instalaciones sanitarias y el abastecimiento de agua, por

lo tanto, centrándose primero en lo prioritario para luego pasar a lo urgente los problemas que presenta el trapiche Pindical se reducirían en un 80 %.

Figura 20

Diagrama de Pareto trapiche Chical



En la Figura 27 se aprecia que los principales problemas que deben mejorar de forma prioritaria son siete, el aseguramiento de calidad, salud ocupacional, almacenamiento de producto terminado, envase y embalajes, limpieza y desinfección, control de plagas, educación y capacitación, los otros cuatro que son de carácter urgente, sala de proceso, instalaciones físicas, prácticas higiénicas y medidas de protección y materias primas e insumos , por lo tanto, centrándose primero en lo prioritario para luego pasar a lo urgente los problemas que presenta el trapiche Chical se reducirían en un 80%.

Tabla 57

Comparación de resultados de Pareto para los dos trapiches

Mejorar el factor	Factores Pindical	Mejorar el factor	Factores Chical
Prioritario	Educación y capacitación	Prioritario	Aseguramiento y control de calidad
Prioritario	Control de plagas	Prioritario	Salud ocupacional
Prioritario	Limpieza y desinfección	Prioritario	Almacenamiento producto terminado
Prioritario	Salud ocupacional	Prioritario	Envases y embalajes
Prioritario	Aseguramiento y control de calidad	Prioritario	Limpieza y desinfección
Urgente	Prácticas higiénicas y medidas de protección	Prioritario	Control de plagas
Urgente	Materias primas e insumos	Prioritario	Educación y capacitación
Urgente	Instalaciones sanitarias	Urgente	Sala de procesos
Urgente	Abastecimiento de agua	Urgente	Instalaciones físicas
Importante	Disposición de residuos sólidos	Urgente	Prácticas higiénicas y medidas de protección
Importante	Envases y embalajes	Urgente	Materias primas e insumos
Importante	Instalaciones físicas	Importante	Instalaciones sanitarias
Importante	Sala de procesos	Importante	Proceso de fabricación
Importante	Proceso de fabricación	Importante	Disposición de residuos sólidos
Importante	Almacenamiento producto terminado	Importante	Abastecimiento de agua

En la Tabla 57 se puede observar que dentro de los factores prioritarios cinco son semejantes en los dos trapiches tales como: educación y capacitación, control de plagas, limpieza y desinfección, salud ocupacional y aseguramiento y control de la calidad, aumentando dos factores para el trapiche de Chical, esto se debe a que en este trapiche las condiciones de procesamiento son menos adecuadas que las

del trapiche de Pindical, por lo cual para aumentar la calidad del producto, ambos trapiches deben trabajar en estos factores teniendo en cuenta que, un aumento de la calidad es directamente proporcional a la aceptabilidad del producto en el mercado.

Conclusiones

Los dos trapiches Pindical y Chical de forma prioritaria deben resolver los principales problemas que muestra cada Pareto realizado, y garantizar la entrega de un producto de calidad e inocuo, para de esta manera evitar posibles sanciones del ente de control y el posible cierre de la industria.

Recomendaciones

Es de suma importancia implementar en cada uno de los trapiches un plan de mejora para dar solución a la problemática presente en cada uno de ellos y de esta manera cumplir con la norma establecida por ARCSA y brindar al consumidor un producto de calidad e inocuo.

Referencias

- Acurio, L. (2010). *Determinación de los principales indicadores en el tiempo de vida de anaquel de panela granulada de las unidades productivas INGAPI y el paraíso con fines de exportación al mercado*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/910/1/AL433.pdf>
- Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. (2015). *Ministerio de Salud Pública*. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/agencia-nacional-de-regulacion-control-y-vigilancia-sanitaria-arcsa/#:~:text=Garantizar%20la%20salud%20de%20la,en%20su%20%C3%A1mbito%20de%20acci%C3%B3n>.
- Çakmakçı, S.; Çakmakçı, R. *Quality and Nutritional Parameters of Food in Agri-Food Production Systems*. *Foods* 2023, 12, 351. <https://doi.org/10.3390/foods1202035>
- Dirección Nacional de Vigilancia Epidemiológica. (2023). *Enfermedades transmitidas por agua o alimentos*. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/ETAS-SE-9.pdf>
- Martínez, L., & Díaz, C. (2018). *Desafíos y oportunidades para la exportación de productos agrícolas: el caso de la panela en América Latina*. *Revista de Economía Agrícola*, 15(3), 78-92. <https://doi.org/10.18050/RevUCVHACER.v7n3a3>
- Normativa sobre Manipulación de Alimentos. (2023). *Normativa sobre Manipulación de Alimentos*. Obtenido de <https://carnet-de-manipulador-de-alimentos.com/normativa/>
- Quezada, W. (2007). *Guía técnica de agroindustria panelera*. págs. 18-30. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/934/1/Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20de%20Agroindustria%20Panelera.pdf>
- Rodríguez, G., García, H., Roa, Z., & Santacoloma, P. (2004). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina*. FAO. Roma. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf
- Vélez Mejía, A., Carmona Taborda, D. M., & Hoyos Ramírez, V. (2021). *Aspectos ambientales asociados al proceso de producción de la industria panelera y acciones encaminadas a la producción más limpia e impactos sobre*

la salud humana en el sector: una revisión de la literatura en México, Brasil y Colombia entre los años 2000 a 2020 [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia]. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/998e7d34-0097-4ba8-bbdd-ef1f142bdf11/content>



La tecnología alimentaria avanza a un ritmo que transforma no sólo lo que comemos, sino también la manera en que entendemos el mundo que nos alimenta. Este libro celebra esa evolución, mostrando cómo la creatividad científica abre puertas a alimentos más nobles, seguros y llenos de propósito.

Cada estudio aquí reunido revela una mirada innovadora sobre ingredientes, procesos y soluciones que buscan armonizar tradición y modernidad. Son exploraciones que invitan a descubrir nuevas formas de producir, aprovechar y valorar los alimentos que sostienen nuestra vida.

Más que una compilación técnica, esta obra es una llamada a la inspiración. Un recordatorio de que el conocimiento aplicado puede cambiar comunidades, enriquecer culturas y despertar nuevas posibilidades en la industria alimentaria.

Avances en tecnología alimentaria: estudios y aplicaciones es un viaje para quienes sueñan con un futuro alimentario más humano, sostenible y creativo. Un libro que enciende preguntas, despierta curiosidad y anima a mirar la ciencia con esperanza renovada. El cambio está en cada página.

Ph.D. Francisco Domínguez Rodríguez

ISBN: 978-9942-625-59-5



9789942625595