

# Bibliographic study for the obtaining process of a vodka-type distilled alcoholic beverage based on yam (*Dioscorea spp.*)

Laura Acosta<sup>1</sup>, Martha Cuenca<sup>1</sup>, & Marco Mason<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Cartagena, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), Cartagena, Colombia.



**How to cite this article:** L. Acosta, M. Cuenca, M. Mason, "Estudio bibliográfico para el proceso de obtención de bebida alcohólica destilada tipo vodka a base de ñame (*Dioscorea spp.*)", *Ing-Nova*, vol. 3, no. 1, pp. 11-33, ene. 2024.

<https://doi.org/10.32997/rin-2024-4675>

**Received:** 23 de junio de 2023

**Reviewed:** 14 de agosto de 2023

**Accepted:** 18 de septiembre de 2023

**Corresponding author:**

Laura Acosta

[lacostag@unicartagena.edu.co](mailto:lacostag@unicartagena.edu.co)

**Editor:** Miguel Ángel Mueses. Universidad de Cartagena-Colombia.

**Copyright:** © 2024 L. Acosta, M. Cuenca, M. Mason. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> la cual permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre y cuando que el original, el autor y la fuente sean acreditados.



## ABSTRACT

This article was prepared with the objective of carrying out a bibliometric review, focused on the stages and parameters used in the preparation of a vodka-type alcoholic beverage from yam pulp (*Dioscorea spp.*). This was done to enhance the production of an alcoholic beverage and, by taking advantage of the demand for liquor, help the farmer to cover the investment in the crop and generate a profit margin in periods of overproduction. To this end, a literature review was conducted in five databases (Google Scholar, Google Books, ScienceDirect, Scopus and SciELO) to create a study covering the conditions and processes involved. A total of 10.501 papers focused on alcoholic beverages whose main component is tubers and/or roots were collected, where 14 of these met the evaluation criteria. The process conditions and the physicochemical and sensory characteristics were studied; then, through an analysis, the operations were identified, such as: size reduction, washing with water and sodium hypochlorite, cooking, enzymatic hydrolysis, fermentation, filtration and distillation, where it was identified that choosing an adequate fermentation-saccharification system improves the yield in enzymatic hydrolysis. This work could not establish the efficiency and physicochemical characteristics of yam vodka since the published information used other foods, among them: cassava (*Manihot esculenta*), potato (*Solanum tuberosum*), chinese potato (*Colacasia esculenta*), oca (*Oxalis tuberosa*) and white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*).

**Keywords:** Alcoholic beverage, Databases, *Dioscorea spp.*, Vodka, Yam.

## Estudio bibliográfico para el proceso de obtención de bebida alcohólica destilada tipo vodka a base de ñame (*Dioscorea spp.*)

## RESUMEN

Este artículo fue elaborado con el objetivo de efectuar una revisión bibliométrica, enfocada en las etapas y parámetros usados en la preparación de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de la pulpa de ñame (*Dioscorea spp.*). Lo anterior, se realiza para potenciar la obtención de una bebida alcohólica y, al aprovechar la demanda de licores, ayude al agricultor a cubrir la inversión en el cultivo y generar un margen de utilidad en los periodos de sobreproducción. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica en cinco bases de datos (Google Scholar, Google Books, ScienceDirect, Scopus y SciELO) para crear un estudio que abarque las condiciones y procesos involucrados. Se recopilan 10.501 documentos enfocados en las bebidas

alcohólicas cuyo componente principal son los tubérculos y/o raíces, donde 14 de estos cumplen con los criterios de evaluación. Se estudiaron las condiciones de proceso y las características fisicoquímicas y sensoriales; luego, a través de un análisis se identificaron las operaciones, tales como: reducción de tamaño, lavado con agua e hipoclorito de sodio, cocción, hidrólisis enzimática, fermentación, filtración y destilación, donde se identificó que escoger un sistema de fermentación – sacarificación adecuada mejora el rendimiento en la hidrólisis enzimática. Este trabajo no pudo establecer la eficiencia y las características fisicoquímicas del vodka de ñame dado que la información publicada empleó otros alimentos, entre ellos: yuca (*Manihot esculenta*), papa (*Solanum tuberosum*), papa china (*Colacasia esculenta*), oca (*Oxalis tuberosa*) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*).

**Palabras clave:** Bases de datos, Bebida alcohólica, Dioscorea spp., Ñame, Vodka.

## 1. Introducción

Las bebidas alcohólicas son soluciones aromatizadas que contienen etanol proveniente de granos, frutas, semillas, tallos y hojas [1]. Las características de este tipo de bebidas están determinadas por los tipos de materias primas, las variaciones en el procesamiento y los procesos de fermentación, destilación, maduración y mezcla. Por esto, se clasifican en dos grandes grupos: el primero, donde se encuentran las bebidas fermentadas como son la cerveza y el vino, caracterizadas por poseer un grado alcohólico entre 5 y 15% (v/v); en el segundo grupo se encuentran las bebidas destiladas, las cuales son obtenidas a partir de un producto de fermentación como el whisky, vodka, ron y brandy, caracterizados por tener un grado alcohólico superior a los cuarenta grados alcohólicos [2].

El proceso de elaborar bebidas alcohólicas fermentadas a base de frutas, granos y tubérculos ha sido una actividad de tradición en varias culturas al pasar de los años y que hasta principios del siglo XX ha sido modificada gracias a la aparición de la industria agrícola [3]. Los tubérculos se han convertido en alimentos básicos en la dieta de la población de África, América Latina y Asia Oriental. En el mundo, la producción de este tipo de alimentos se ubica en cinco especies, equivalente a un 99%, donde se encuentra la batata (*Ipomoea batatas*), el ñame (*Dioscorea spp.*), la papa (*Solanum tuberosum*), el tiquizque (*Xanthosoma spp.*) y la yuca (*Manihot esculenta*) [4].

El ñame, es uno de los cuatro cultivos de raíces y tubérculos más eficientes e importantes de la agricultura, se considera un cultivo de gran relevancia para la seguridad alimentaria en países del trópico [5]. A nivel mundial, este tubérculo está dirigido a la exportación, aumentando la demanda por los mercados internacionales, además de servir como alimento, es utilizado por empresas farmacéuticas como fuente de saponinas, diterpenoides y alcaloides para la fabricación de anticonceptivos orales, hormonas y corticoides. Del mismo modo, la extracción de almidón se ha implementado como materia prima para la producción de cosméticos, alimentos procesados, bioplásticos y biocombustibles [5], [6].

Entidades académicas como la Universidad de Sucre y Córdoba han señalado el potencial significativo que posee el ñame al ser considerado como sustituto en la nutrición animal y de otros tubérculos como la papa y yuca, además de contar con trabajos de investigación que han demostrado su transformación a fin de obtener harinas, almidones y biopolímeros. Hoy día, se busca que, a partir de sus procesos de obtención, se conozcan nuevos usos aplicados a diferentes sectores económicos [7].

Actualmente, aunque existen algunos aportes en esta área, y se han desarrollado algunos productos

transformados, como los chips de ñame empacados (Ñamichips) [8], no se cuenta con un soporte estratégico capaz de gestionar el desarrollo de procesos de valor agregado y de transformación establecidos o patentados; previo a ello, se analiza como el cultivo de ñame no está bien estructurado; el ñame es un producto de consumo local, lo cual retiene su explotación a nivel industrial, donde problemas de desarrollo tecnológico y sanitarios, actúan como factores de riesgo para su adecuado nivel de producción, de forma general, la siembra del ñame se encuentra ligada a la siembra de otros alimentos, es decir, su cultivo no tiene exclusividad y normalmente se realizan combinaciones con arroz, maíz, batata y yuca, además, los problemas de tipo agrícola afectadas por el clima de la región, uso inadecuado de la tierra y el conflicto armado, generan inestabilidad entre la oferta y la demanda del producto [9].

El consumo de bebidas alcohólicas destiladas en Colombia ha venido presentando crecimiento en los últimos años, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la oferta de bebidas alcohólicas estuvo compuesta por 4.979 productos para el año 2019, sin embargo, el portafolio de tequila, vodka, whisky y cremas de licor, es actualmente más amplio que el de aguardiente y ron [10].

El aguardiente, es considerado la bebida nacional presento una reducción, según la Asociación Colombiana de Industrias Licoreras entre 2002 y 2018, su consumo en el país pasó de casi un litro al año por persona (lo que significa alrededor de 952 cm<sup>3</sup>) a medio litro al año por persona (421 cm<sup>3</sup>) [11]. Esta reducción se entiende cuando se ve el aumento en la variedad de licores que hay en el país muchos de ellos importados como lo es el vodka.

En Colombia, la producción de ñame y bebidas alcohólicas abarcan el 90% y 97,5% de la economía local [12]. Su economía ha alcanzado los 28 millones de dólares para el ñame (un aproximado de ventas de 21.000 toneladas) y 9.375 millones de euros en términos de valor para las bebidas alcohólicas (2.876 millones de litros en términos de volumen) [12], [13]. Así mismo, al analizar los datos del período 2014 – 2019, se evidencia un crecimiento del 55,6% y una tasa de crecimiento anual compuesto de 39,5 % en términos de valor.

Para el año 2020, la llegada de la COVID-19 frenó el crecimiento del mercado de estos productos, estimando una caída en ventas del -16,3%. Se espera que para el año 2022 se recupere el nivel de mercado manejado en el 2019, se destaca la tasa de crecimiento exponencial de la población mundial, que asume los desafíos destinados en la conservación de los recursos de mantenimiento de la supervivencia. En la actualidad, las necesidades energéticas y la mayor parte de la demanda de recursos físicos se encuentran a cargo de las reservas de origen fósil que, emiten gases de efecto invernadero y el gasto actual con base en el consumo de combustibles fósiles, las reservas disponibles pueden agotarse pronto, por lo tanto, es fundamental el requerimiento de recursos alternativos para satisfacer nuestras necesidades energéticas y materiales y, que estas sean renovables y sostenibles [14], [15]

En las últimas décadas, la producción de fuentes alternas de consumo se ha convertido en una necesidad en busca de mitigar el cambio climático, frenar el agotamiento de los recursos fósiles y de alimentos [16]. El ñame (*Dioscorea spp.*) y otros tubérculos han sido considerados materias primas promisorias para la producción de etanol, ya que tiene un mayor rendimiento de almidón por unidad de tierra cultivada que los granos [17].

De lo anterior, el planteamiento de este artículo de revisión es sintetizar la formulación de una bebida alcohólica destilada que emplee las características de los procesos aplicados y sean usados para potenciar la

economía de los agricultores. En el estudio bibliométrico se tuvo en cuenta los criterios de evaluación para determinar los documentos de mayor interés en este tema. Se usa literatura en inglés y español, donde se evidencia que los países de habla inglesa cuentan con investigaciones en el uso de ciertos tubérculos, como el ñame y la papa, para evaluar sus propiedades y obtener biocombustibles, por lo que la línea de investigación de fermentación etanólica no es aplicada por esta población; en caso contrario, en países de América del Sur, se adelantan estudios aplicables a este campo enfocados en tubérculos como: yuca (*Manihot esculenta*), papa (*Solanum tuberosum*), papa china (*Colacasia esculenta*), oca (*Oxalis tuberosa*) y zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y que abran campo a realizar estudios experimentales empleando ñame (*Dioscorea spp.*).

## 2. Metodología

Fueron extraídos documentos de bases de datos disponibles en la Universidad de Cartagena, Colombia, donde se realizó la búsqueda de la información usando ScienceDirect, SCOPUS, SciELO y Google Books, además de emplear el buscador de Google especializado en documentos académicos, Google Scholar.

Al tener seleccionado los metabuscadores, la agrupación de la información permitió resaltar los conceptos de búsqueda que fueron más relevantes, por tanto, se establecieron criterios para delimitar la información. Finalmente, se empleó la búsqueda de información de las siguientes bases de datos: Springer Link, SAGE journals, OXFORD academic: Journals y EBSCOhost, con el fin de realizar un análisis comparativo con la información recopilada de las fuentes de uso primario en este documento.

### 2.1 Google Scholar

Google Scholar (conocido como Google Académico), es una herramienta que permite buscar contenido y bibliografía de documentos de carácter académico, a través del uso de filtros que permiten jerarquizar los resultados [18]; por lo tanto, se establecieron las siguientes consideraciones:

- Emplear palabras claves o frases cortas en inglés y español como sigue: "ñame y alcohol", "*Dioscorea spp.*", "ñame y vodka", "alcoholic beverage and yam", "alcoholic beverage and *Dioscorea spp.*".
- Emplear filtro de fecha entre los años 2012 a 2022.
- Identificar la frecuencia de citas de los documentos encontrados como muestra de ser información caracterizada por ser de mayor relevancia.
- Incluir citas y patentes dada las entradas anteriores.
- Identificar su fuente principal, es decir, delimitar páginas o metabuscadores de donde se realizó la publicación principal.

### 2.2 Google Books

En el año 2005, Google lanzó como proyecto, Google Books, el cual es un servicio que permite a los usuarios navegar entre millones de libros y documentos [19]; por ello, se establecieron los siguientes ítems:

- Emplear palabras claves o frases cortas en inglés y español como sigue: "ñame y alcohol", "*Dioscorea spp.*", "ñame y vodka", "alcoholic beverage and yam", "alcoholic beverage and *Dioscorea spp.*".
- Realizar búsqueda en la Web y a cualquier vista.
- Emplear dos tipos de documentos: libros y revistas.
- Emplear filtro de fecha entre los años 2012 a 2022, a través de un intervalo personalizado.

### 2.3 ScienceDirect

ScienceDirect es una plataforma de Elsevier que, admite de manera única un flujo de trabajo ininterrumpido para que los investigadores se muevan sin problemas entre libros y revistas, y entre temas y disciplinas, ayuda a los investigadores de la academia, el gobierno y las organizaciones corporativas a tomar decisiones más inteligentes y rápidas [20]; por lo anterior, se realizará lo siguiente:

- Emplear palabras claves o frases cortas únicamente en inglés: "*Dioscorea spp.*", "alcoholic beverage and yam", "alcoholic beverage and *Dioscorea spp.*" y "*Dioscorea spp.* and vodka".
- Emplear filtro de fecha entre los años 2012 a 2022.
- Para la clasificación de tipo de artículo se escogerán los artículos de revisión y artículos de investigación.
- Delimitar los documentos que sean de acceso abierto.
- La clasificación de área y título de publicación se dejarán de formar abierta.

### 2.4 SCOPUS

Scopus es la base de datos más grande de citas y resúmenes de literatura revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de conferencias, incluidas herramientas inteligentes para rastrear, analizar y visualizar investigaciones, proporcionando resúmenes de investigaciones de todo el mundo. En campos como: ciencia, tecnología y medicina [21]; por ello, se utilizará de la siguiente forma:

- Emplear palabras claves o frases cortas únicamente en inglés: "*Dioscorea spp.*", "alcoholic beverage" AND "yam", "alcoholic beverage" AND "*Dioscorea spp.*", "*Dioscorea spp.*" AND "vodka", "yam" AND "ethanol" OR "vodka" OR "beverage"
- Emplear filtro de fecha entre los años 2012 a 2022.
- Para la clasificación de tipo de artículo se escogerán los artículos de revisión y artículos de investigación.
- Delimitar los documentos de tipo Journal.
- La clasificación área, etapa de publicación y afiliación se dejarán de formar abierta.
- Delimitar los documentos que sean de acceso abierto.

### 2.5 SciELO

SciELO (Scientific Electronic Library Online) es un modelo para la publicación de revistas científicas en Internet. Su objetivo principal es aumentar la difusión y visibilidad de la ciencia generada en Latinoamérica, el Caribe, España y Portugal [22]; en este metabuscador se investigará a partir de lo siguiente:

- Emplear palabras claves o frases cortas únicamente en inglés: "*Dioscorea spp.*", "alcoholic beverage and yam", "alcoholic beverage and *Dioscorea spp.*" y "*Dioscorea spp.* and vodka".
- Emplear filtro de fecha entre los años 2012 a 2022.
- Se escogieron colecciones de países de Latinoamérica como: Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.
- En las áreas temáticas se dio prioridad a las ciencias agrarias.

### 2.6 Evaluación y selección de la bibliografía

A partir de los artículos recopilados, estos fueron clasificados de acuerdo con el criterio de los autores como se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Criterios de evaluación bibliográficos

Bibliografía recopilada				Criterios de evaluación				
Documento	Tipo de documento	Año	Entidad	1.	2.	3.	4.	5.

Los criterios establecen lo siguiente:

**Criterio 1:** Estudios realizados en Latinoamérica, específicamente Colombia.

**Criterio 2:** Realiza citas bibliográficas basadas en legislaciones o métricas de entidades de la región de origen del documento.

**Criterio 3:** Establece parámetros para la fermentación alcohólica de tubérculos.

**Criterio 4:** Describe de forma clara y concisa los procesos empleados.

**Criterio 5:** Realiza análisis de resultados comparando información de otros estudios.

## 2.7 Extracción de datos

Se clasificó la información de acuerdo con la Tabla 1. Se excluyeron las investigaciones no relacionadas directamente con los objetivos de este trabajo y se eliminaron los artículos científicos duplicados.

En la Tabla 2, se muestra el número de consultas realizadas en cada base de datos y la cantidad de documentos evaluados al depurar su contenido con los criterios planteados. Se consultaron 10.501 fuentes principales de información y finalmente se seleccionaron un total de 14 documentos relacionados directamente con los objetivos de este estudio.

**Tabla 2.** Segregación implementada en el estudio bibliométrico

EXTRACCIÓN DE DATOS						
Base de datos/Criterios	Google Books	Google Scholar	ScienceDirect	SCOPUS	SciELO	Total
Documentos recopilados	26	9.190	875	270	140	10.501 <sup>1</sup>
Revisión del título	6	15	37	22	5	85
Revisión del resumen	6	7	27	3	3	46
Revisión del país de publicación	1 <sup>2</sup>	6	0	1	3	10
Revisión de los procesos y reglamentación empleada	4	4	9	3	1	21
Comparación con otros tubérculos	2	2	8	1	1	14
Documentos viables en el estudio	2	5 <sup>3</sup>	9	1	2	14

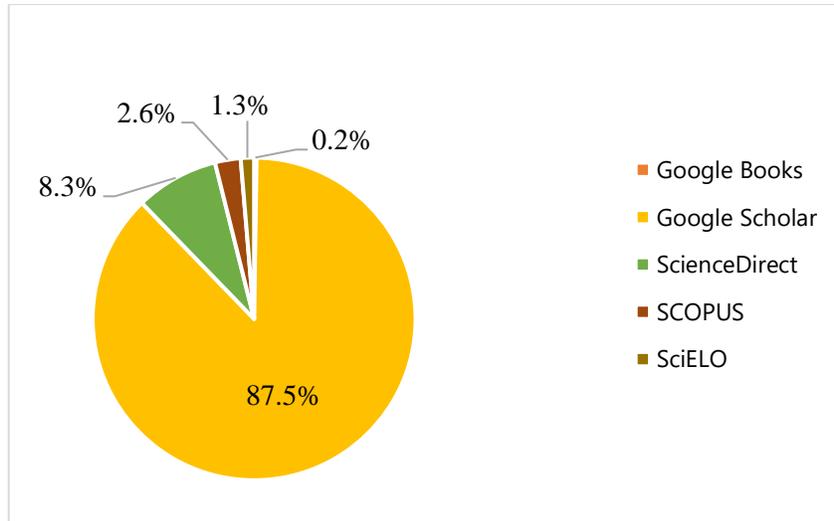
Con respecto a los resultados obtenidos de la Tabla 2, se elaboró la Figura 1 que presenta el porcentaje total de documentos obtenidos a partir de los filtros propuestos para cada metabuscador. Luego, se realizó un análisis de la información obtenida considerando los procesos y la inclusión de estudios comparativos con otras raíces y tubérculo, para cumplir con los objetivos planteados en este estudio. A partir de la Figura 2, se destacan los resultados obtenidos en ScienceDirect con un 47,4% y en menor proporción la información

<sup>1</sup> Correspondiente al total de documentos extraídos de los metabuscadores empleando las palabras claves propuestas.

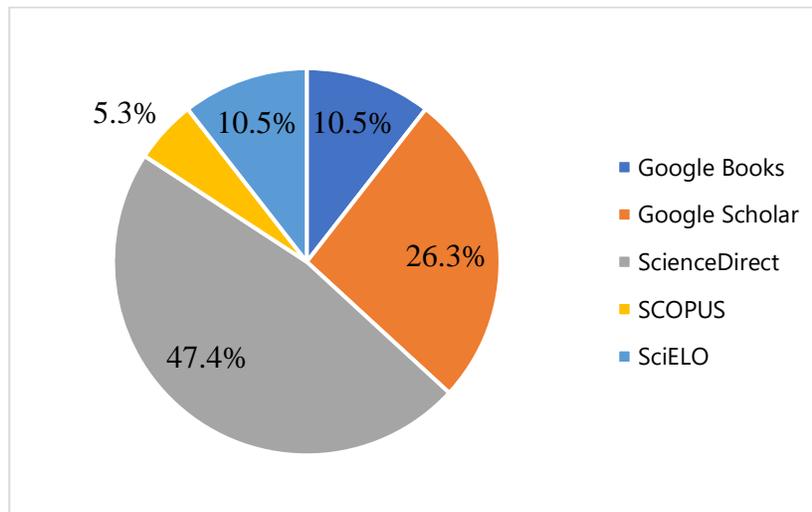
<sup>2</sup> Para el documento seleccionado, el país de publicación no es aceptado, sin embargo, la información es de interés en el estudio.

<sup>3</sup> Los documentos seleccionados destacan por el desglose conciso de los procesos de fermentación.

extraída de SCOPUS con 5,3%, debido que al ser una base de datos que muestra de forma limitada la información, no es posible plantear conclusiones globales de los artículos científicos.

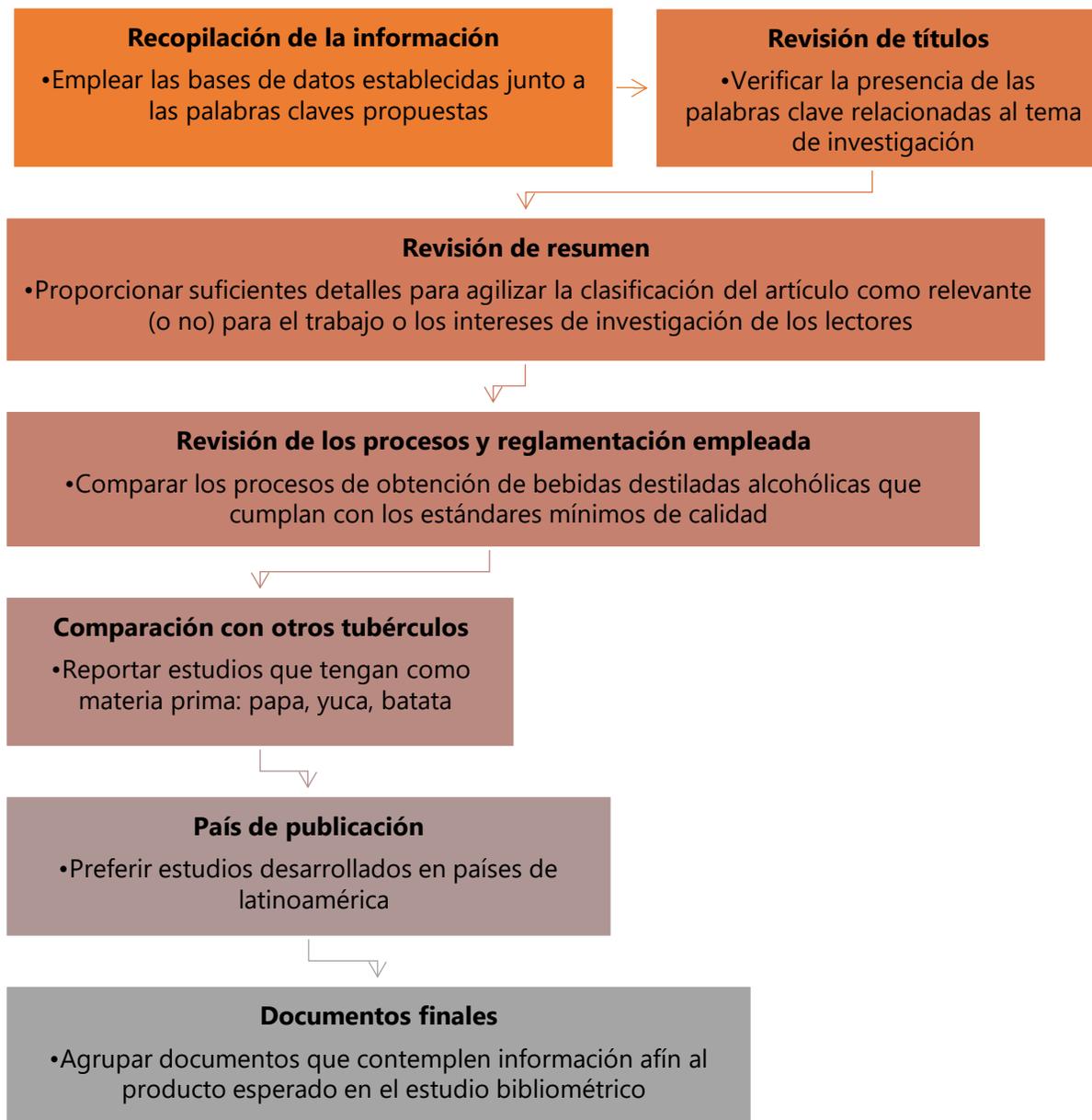


**Figura 1.** Porcentaje total de documentos según criterios.



**Figura 2.** Porcentaje de documentos aceptados según el metabuscador.

Adicionalmente, cumpliendo con los criterios de clasificación de la información, se estableció un flujograma (Figura 3) que comprende los pasos más significativos para la selección de la información, empleando figuras que ayuden a reportar de forma clara los resultados más significativos y finalmente obtener un estudio con datos relevantes para el lector.



**Figura 3.** Flujograma de segregación de la bibliografía.

### 3. Proceso de obtención de bebidas destiladas

El ñame puede considerarse una alternativa en la preparación de bebidas vegetales dado su alto contenido de carbohidratos, potasio y fósforo, además, de su sabor y olor neutros, sin embargo, este es una fuente pobre de proteínas [23]. Sin embargo, cuando se desea elaborar una bebida fermentada es fundamental evaluar si el nuevo sustrato afectará negativamente al proceso de fermentación iniciado por las bacterias lácticas o las levaduras.

### 3.1 Materia prima



**Figura 4.** Ñame. Imagen libre de derechos de autor.

El ñame, como se muestra en la figura 4, es una planta tropical de origen africano y asiático [23], es monocotiledónea, pertenece a la familia *Dioscoreaceae* y tiene un órgano de reserva que es un tubérculo; cuenta con seis géneros, incluyendo *Dioscorea*, que es el más importante con 600 especies identificadas, aunque sólo 12 especies son comestibles y cambian según la variedad. Dentro de los cultivos de tubérculos, el sistema productivo de ñame se puede considerar de importancia por su contribución a la seguridad alimentaria, presenta alto potencial de diversificación para la producción de almidón, alcoholes, productos farmacéuticos relacionados con la extracción y uso de los derivados de la diosgenina: biopolímeros y biocombustibles amiláceos [24].

### 3.2 Recepción y almacenamiento de materia prima

La materia prima como componente principal, se clasificará dependiendo de su estado físico, es decir, se deben descartar para el estudio aquellos que no se encuentren en condiciones idóneas para su consumo, por ello, si este tubérculo presenta: color amarillo intenso, sabor amargo, olores fuertes y pulpa lechosa, deberá descartarse inmediatamente. Posteriormente, con el uso de una balanza analítica se pesa la materia prima apta para el procesamiento.



**Figura 5.** Ñame inadecuado (izquierda) y ñame adecuado (derecha). Imagen libre de derechos de autor.

### 3.3 Pelado y reducción de tamaño

Dado que la materia prima cuenta con una cáscara gruesa, se requerirá el uso de un cuchillo para remover su cáscara y disminuir su tamaño. De acuerdo a los autores, De León y Tapia [25], el tamaño de troceado

favorable para la manipulación de este tubérculo se ubica entre cinco a seis centímetros. Para conservar la vida de anaquel del ñame, es decir, mantener sus propiedades para asegurar el consumo seguro de un producto previo a la degradación, se deberá almacenar nuestra materia prima en un refrigerador entre 7 a 10°C.

Cabe resaltar que los autores de estudio no realizaron énfasis entre las diferencias que pudiesen generar el tamaño de la materia prima, lo anterior mientras las dimensiones del mismo favorezcan a que puedan someterse al proceso de cocción.

### 3.4 Lavado con agua e hipoclorito de sodio

Para garantizar el riesgo de contaminación ante peligros biológicos (bacterias, virus y parásitos) en las diferentes fases de producción (cosecha y postcosecha) y en fases posteriores (transporte, empaque, venta al por menor, preparación en establecimientos de expendio de comida o en hogares) [26]), se recomienda realizar un primer lavado con agua potable para quitar la materia orgánica extraña, con el segundo lavado se realizará la desinfección usando Hipoclorito de Sodio (NaClO) que contiene entre 50 a 200 ppm de cloro residual, con una exposición de entre tres a cinco minutos para conseguir una desinfección adecuada, donde se apliquen lavados secuenciales [27].

Ante los motivos por los cuales se debe hacer el lavado, usualmente, los espacios donde se realiza el troceado es el mismo lugar donde se lleva a cabo la higienización, por ello, es pertinente tener presente no reutilizar el agua destinada a la desinfección, debido a que la constante adición y manipulación de materia orgánica, esto incrementa la presencia de fluidos vegetales [27].

Además de desinfectar las superficies que entran en contacto con los alimentos, las soluciones que contengan cloro pueden ser usados en frutas y verduras crudas durante el proceso de lavado o pelado. De acuerdo a la normativa: 21 CFR Parte 173 propuesta por la FAO, especifica dos condiciones para el uso permitido de soluciones de hipoclorito en el lavado de productos [28]: La concentración de desinfectante en el agua de lavado no debe superar las 2000 ppm de hipoclorito y los productos deben enjuagarse con agua potable después del tratamiento con cloro [29].

La mayoría de las operaciones, a menos que el producto esté muy sucio, no necesitarán una concentración de desinfectante superior a 200 ppm para conseguir el efecto desinfectante deseado, donde los tiempos de contacto de un minuto o más suelen ser suficientes para lograr una eliminación completa. Los autores resaltan que el lavado con hipoclorito de sodio y agua quedan a libertad de quien manipule el producto, se prefiere iniciar con el uso del hipoclorito a 5 ppm para garantizar la eliminación de suciedad, no obstante, al emplearse únicamente la pulpa de este tubérculo, la concentración del reactivo será baja, y se emplea un segundo lavado con agua para remover el cloro residual que quede remanente en la materia prima [30], [31]. La normativa no especifica un nivel residual admisible de cloro. Presumiblemente, el aclarado con agua dulce elimina cualquier problema potencial con el cloro residual. En la práctica, el cloro residual en la mayoría de los alimentos produciría sabores y olores muy desagradables antes de convertirse en un peligro para la seguridad.

Como se muestra en la Tabla 3, aproximadamente una cucharada (1/2 onza líquida, 1 ml) de hipoclorito por galón de agua es el máximo que debe utilizarse para desinfectar superficies en contacto con alimentos. Si se utilizan concentraciones más altas, la superficie debe enjuagarse con agua potable después de la

desinfección. Los tiempos de contacto son de uno a cinco minutos sobre la superficie para conseguir una eliminación completa, dependiendo de la concentración de cloro y la carga orgánica.

**Tabla 3.** Cantidad de hipoclorito por galón de agua para una concentración de hipoclorito determinada<sup>1</sup>. Adaptado de [29].

Cantidad de hipoclorito por galón de agua	Concentración aproximada de hipoclorito total <sup>2</sup> (ppm) <sup>3</sup>
1 cuchara de té	65
1 cuchara de mesa	200
1 onza de fluido	400
1/4 de taza	800
1/2 de taza	1600
2/3 de taza	2200
3/4 de taza	2400
1 taza	3200

### 3.5 Cocción

Los microorganismos son beneficiosos en varios tipos de industrias, especialmente las bacterias y los hongos que poseen una gran variedad de aplicaciones. Los microorganismos deben cultivarse a gran escala durante el proceso de fermentación industrial para extraer los productos necesarios resultantes del metabolismo microbiano.

Las enzimas tipo  $\alpha$ -amilasas son de gran importancia porque producen una reacción de hidrólisis para digerir el almidón o el glucógeno y permitir la formación de azúcares simples [32]. La producción de las enzimas  $\alpha$ -amilasas se lleva a cabo mediante procesos de fermentación líquida sumergida (FLS) y fermentación en fase sólida (FFS), donde la primera se destaca por su control en factores como la temperatura y pH, sin embargo, el proceso FFS es un método que está ganando campo por los metabolitos que se concentran y a nivel global resulta ser un proceso económico [33], [34]. Estos procesos son relevantes dado que las  $\alpha$ -amilasas requiere propiedades únicas respecto a especificidad, estabilidad, temperatura y dependencia del pH [6], y la búsqueda de enzimas que presentan propiedades diferentes a las conocidas, se mantienen como un tema de interés en investigación [35]. Cada método tiene ventajas y desventajas, las cuales se presentan en la Tabla 4.

El tratamiento térmico de la materia prima es uno de los procesos más relevantes del producto ya que permite gelatinizar los almidones para que las enzimas puedan actuar sobre estos y liberar glucosa [36].

Para la cocción se pueden utilizar ollas y una estufa o plancha de calentamiento, con una relación entre materia prima y agua de 1:2. En este proceso se lleva a cabo una etapa de precalentamiento durante 20 a 30 minutos con temperaturas entre 55 a 60°C, para que el tubérculo desarrolle una firmeza persistente en una cocción final prolongada.

**Tabla 4.** Diferencias entre la fermentación en estado sólido y la fermentación sumergida. Adaptado de [35].

	Fermentación en fase sólida (FFS)	Fermentación líquida sumergida (FLS)
Definición	Es un tipo de fermentación que ocurre por el crecimiento de microorganismos en un sustrato sólido	Es un tipo de fermentación realizada por microorganismos que crecen en un medio líquido
Cultivo de microorganismos	En sustrato sólido	En medio líquido
Células microbianas	Crece adherido a la superficie sólida	Las células microbianas se distribuyen uniformemente por el medio
Medio de cultivo	No fluye libremente	Siempre fluye libremente
Contenido de agua del medio	40 - 80%	Más del 95%

Se expone como en esta operación, las condiciones de temperatura varían entre el rango señalado en el párrafo anterior; los valores de pH se espera que se ubique en 4,5 al desarrollarse la etapa de sacarificación. [37]. A diferencia de los otros estudios, Castaño y Mejía, destacan de forma específica que al alcanzarse el valor de pH descrito y ajustar la temperatura a 30°C favorecerá al momento de adicionar el inóculo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el alto valor de conversión del producto de licuefacción logre ser superior al 80% y que al agregar la enzima Spirizyme fuel en el proceso SSF se obtiene un rendimiento del 80,7% y cantidad de 61,0 ± 5,6 gramos por litro de alcohol.

### 3.6 Trituración

Luego de la cocción del ñame, este pasa ser triturado con el uso de un molino o licuadora, con el fin de lograr una pasta homogénea. Dicho proceso debe llevarse durante un tiempo aproximado de cinco minutos o emplear el tiempo que permita obtener la consistencia deseada.

### 3.7 Hidrólisis enzimática

La sacarificación se conoce como el proceso donde ocurre la liberación de azúcares simples que provienen del material lignocelulósico degradado por enzimas específicas para este propósito. Las enzimas involucradas en este proceso son principalmente las endoglucanasas, exoglucanasas y  $\beta$ -glucosidasas cuya función es actuar para que ocurra la liberación de glucosa [38].

Las materias primas provenientes de fuentes vegetales se componen de un 15% de barbas y glumas, un 45% de sémola y un 15% de harina y, para fines de tratamiento del mosto, estas son sometidas a un proceso de maceración. La maceración es un proceso empleado para obtener una alta calidad de mosto, garantizando la degradación enzimática de almidón, proteínas y otros compuestos y la extracción con agua de los productos resultantes. El procedimiento de maceración difiere de acuerdo con el tipo de materia prima y bebida alcohólica deseada, generalmente, se emplean procedimientos de cocción y de infusión, los cuales presentan múltiples diferencias [39].

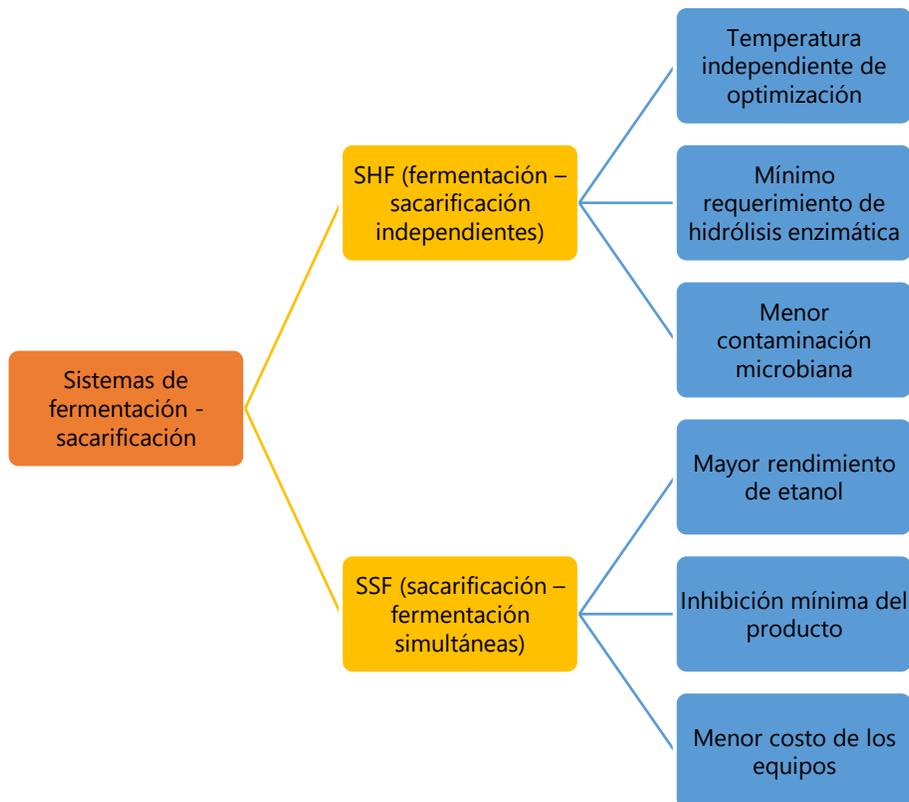
La temperatura se eleva desde 25°C hasta 50°C, donde es importante resaltar que trabajar con temperaturas bajas asegura un mosto con mayor capacidad fermentativa y una bebida más seca con el contenido de alcohol más elevado, mientras que emplear altas temperaturas, conlleva a obtener bebidas alcohólicas con

dulzor residual, compuestos complejos de sabor derivados de estos azúcares, pero con menor graduación alcohólica.

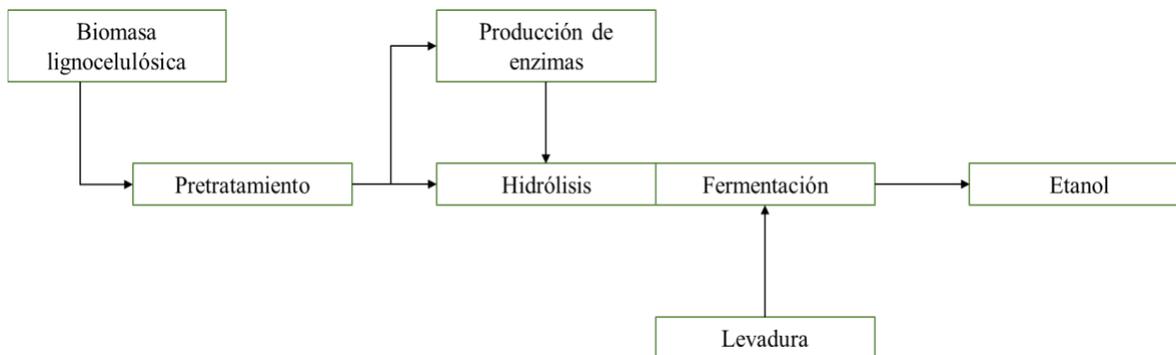
Al emplear grandes cantidades de materia prima, se adicionan preparados enzimáticos que a 52°C degradan los glucanos de la cebada, los cuales dificultan los procesos de clarificación y filtración. Después de mantener estas temperaturas durante 20 a 30 minutos, se calienta hasta alcanzar una temperatura de 60°C a 65°C. A esta nueva temperatura actúa la  $\beta$  – amilasa que degrada el almidón a maltosas sin que apenas se produzcan dextrinas. Al aumentar la temperatura del mosto hasta 70°C se consigue la temperatura óptima para la acción de la enzima  $\alpha$  – amilasa, la cual reduce el almidón a dextrinas sin producir maltosa. Al incrementar o reducir los tiempos se controla la composición del mosto en relación a los azúcares fermentables por las levaduras, como glucosa, sacarosa, levulosa, maltosa y maltotriosa, respecto de las dextrinas no fermentables. Dicha relación, temperatura – tiempo, es la que determina el grado final de fermentación [39].

La literatura reporta múltiples métodos para la obtención de etanol a partir de fuentes amiláceas, donde se encuentran: la sacarificación – fermentación simultánea, la sacarificación enzimática – fermentación independientes, etapa fermentativa mediada por microorganismos y la fermentación alcohólica utilizando microorganismos con capacidad amilolítica [40], [41], [42], [43], [44].

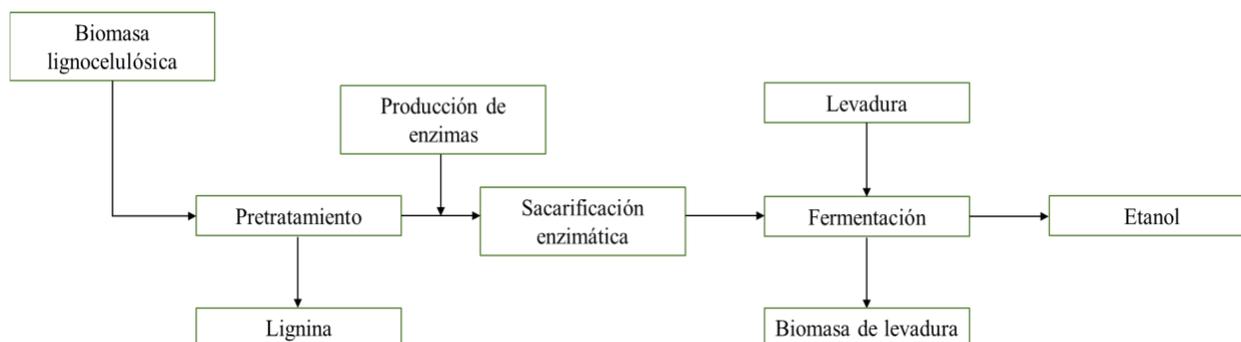
De forma aclaratoria se emplean las Figuras 6 - 8 para resumir las características y los procesos desarrollados en los sistemas de fermentación – sacarificación [45], [46], [47].



**Figura 6.** Características de los sistemas SHF y SSF. Adaptado de [45].



**Figura 7.** Proceso esquemático de la sacarificación y fermentación simultáneas (SSF). Adaptado de [46].



**Figura 8.** Proceso esquemático de la sacarificación y fermentación simultáneas (SSF). Adaptado [47].

El control de los procesos de SSF, se realizan las etapas en forma independiente (SHF), con las siguientes condiciones de operación: Licuefacción (empleando una temperatura de 83°C, pH de 5,5; dosis de enzima de 0,5 ml/l de Liquozyme ( $\alpha$  – amilasa) y agitación a 400 rpm); Sacarificación (empleando una temperatura de 60°C, pH de 4,5; dosis de enzima a 1,5 ml/l de Spirizyme fuel (glucoamilasa) y agitación a 400 rpm) y Fermentación alcohólica (empleando una temperatura de 30°C, pH de 4,5; inóculo a 8 g/l en peso seco y agitación a 400 rpm) [37].

La estrategia de proceso de SSF se realiza bajo las siguientes condiciones de operación: inicialmente, la etapa previa de la licuefacción se realiza en las mismas condiciones de operación descritas previamente para el proceso de SHF; considerando una temperatura 30°C, pH de 4,5; dosis de enzima Spirizyme fuel según lo descrito, inóculo a 8,0 g/l peso seco de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y agitación a 400 rpm [37].

### 3.8 Fermentación

Una vez completa la sacarificación de los almidones de la mezcla, se debe reducir la temperatura hasta 20°C para incluir las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). El mosto se debe dejar en recipientes cerrados a la temperatura estimada por un periodo de 5 – 30 días. Para facilitar la salida de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se puede cubrir la boca de los recipientes de almacenamiento con tela tipo filtro [30], con un globo que debe cambiarse cada cierto tiempo [48] o crear un sistema independiente de fermentación [49].

Como relación a esta etapa, se analizó la investigación realizada por Kitson – Hytey et al. [50] donde introducen los filtrados en distintos conjuntos de frascos cónicos etiquetados, tapados con un corcho y luego

se esterilizan en autoclave a 121°C durante 15 minutos antes de dejarlos enfriar. Esto se hace para detener la actividad del hongo *Aspergillus niger*. Se introducen cuatro discos de 12 mm de *Saccharomyces cerevisiae* en dos frascos cónicos que contienen filtrados de cáscara de ñame y plátano, respectivamente, y se tapan con algodón estéril. Para el control, se dejaron sin inocular dos frascos cónicos que contienen simplemente los filtrados de ñame y plátano. Los frascos se incuban durante 7 días a temperatura ambiente. Los frascos se agitan con regularidad para garantizar que los microbios se distribuyen uniformemente, lo que produce una solución homogénea.

### 3.9 Filtración del mosto

Pasados los días de fermentación, el mosto fermentado es filtrado para retirar cualquier partícula de gran tamaño que haya quedado del ñame. Para este paso se puede utilizar papel filtro, una tela delgada y limpia o un colador.

### 3.10 Destilación del mosto

A nivel industrial esta operación se realiza en columnas de destilación donde el líquido cae por gravedad a la etapa inferior mientras el vapor asciende a la etapa superior, y se incluyen algunos elementos o técnicas para maximizar la eficiencia de la operación con la inclusión de campanas de burbujeo, platos perforados, reflujo, precalentamiento de la alimentación y la adaptación del proceso de destilación a un proceso continuo.

Según Guerrero y Yépez [31], posterior al proceso de filtrado del mosto se lleva a cabo el proceso de destilación. Se usa el Rotavapor Buchi (destilación con vacío) [51], un equipo que permite destilaciones de una sola etapa. Este método permite la evaporación y condensación de disolventes utilizando un matraz de evaporación rotativo bajo vacío para incrementar el rendimiento del producto [52].

El modelo de destilación [53], se realizó a 300 mm Hg por aproximadamente 45 minutos a 85°C. El mosto se destila en un equipo de vidrio con columnas de rectificación a una temperatura de 78°C, obteniendo etanol con grado alcohólico elevado el mismo que se hizo la dilución correspondiente hasta obtener un grado alcohólico de 40°GL.

En el estudio de Kitson – Hytey et al. [50] el proceso de destilación fue realizado luego de que las soluciones son flanqueadas después de la fermentación y los filtrados sido esterilizados en autoclave a 121°C durante 15 minutos para que cese la acción de las bacterias. Se calientan en frascos de fondo redondo con un manto calefactor. Los frascos tienen un fondo esférico y están unidos a una columna de destilación que está sumergida en agua corriente del grifo. La destilación se lleva a cabo a una temperatura de 78°C, donde los destilados se recogieron en frascos separados al final de la columna de destilación. (esto se hace con todos los caldos fermentados). Se utiliza un alcoholímetro para medir el rendimiento de la concentración de etanol de los destilados a 78°C. Los filtrados se colocan en frascos de prueba y se miden con un alcoholímetro. Después de que los fluidos se sedimentan y el medidor dejara de oscilar, los valores se recogen en porcentaje v/v.

En la industria licorera se emplean los alambiques, estos son equipos que al igual que los instrumentos de destilación convencional, destilan una mezcla líquida mediante evaporación por calentamiento y posterior condensación por enfriamiento. Un alambique está constituido por una caldera donde se calienta la mezcla.

Los vapores emitidos salen por la parte superior y se enfrían en un serpentín situado en un recipiente refrigerado por agua y el líquido resultante se recoge en el depósito final.

El proceso consiste en que evaporan primero los fluidos con menor temperatura de cambio de estado, por lo que, tras la condensación, se encuentran en el medio final más concentrados. De este modo se concentran aromas o alcoholes. Cuando se destilan líquidos procedentes de la fermentación alcohólica de frutas, como el alcohol hierve a una temperatura (80°C), inferior a la del agua, estos vapores se forman primero, aunque mezclados con una pequeña proporción de agua, y se consigue destilar una sustancia con mayor grado alcohólico que la original [54].

El uso de los alambiques de cobre, por ejemplo, aún se encuentra vigente e incluso es utilizado en la producción de las bebidas más reconocidas como el coñac, whisky escocés o el Bourbon, sin embargo, algunas industrias lo han sustituido por equipos de acero inoxidable al ceder a las presiones del mercado y, aunque estos últimos equipos son más eficientes, se ven afectadas las características organolépticas del destilado.

### **3.11 Envasado**

Al finalizar el proceso de destilación, se procede a envasar el producto obtenido, este es almacenado en botellas termoselladas, ya sean de vidrio o plástico de capacidades entre 750 a 900 ml (presentación convencional en el mercado). Los materiales mencionados son útiles para evitar que existan migraciones de olores y sabores extraños del medio ambiente hacia el producto y viceversa, además, en este tipo de envases se conservan de mejor manera los aromas característicos que contiene el producto [55].

## **4. Análisis de Resultados**

La revisión bibliográfica del proceso de obtención de bebidas alcohólicas destiladas a base de tubérculos y/o raíces permitió compilar documentos que empleaban metodologías similares, usando materia prima conocida por la mayoría de la población y que en gran medida muchos de estos son parte de la región caribe colombiana.

Como se reporta en la Tabla 5, se realizó un resumen que señala los puntos más relevantes de tres diferentes estudios, destacando la materia prima usada, condiciones de operación y el rendimiento del producto final. Se muestra como la investigación que utiliza como ingrediente la batata en la bebida alcohólica obtuvo mayor rendimiento, este resultado se atribuye al uso de pectinasa como enzima complementaria a las amilasas en el proceso de hidrolisacarificación proporciona mejores rendimientos al proceso, señalando que la alta viscosidad del medio y la desintegración incompleta de los trozos de boniato, causada por la ausencia de pectinasa en el proceso de producción de la bebida, perjudican el progreso del proceso de fermentación, provocando una disminución del rendimiento de la fermentación alcohólica.

**Tabla 5.** Condiciones de operación de los autores de estudio.

Autores	Materia prima	Consideraciones	Condiciones de operación	Rendimiento
Trevisar, Ferreira y Otávio	Batata	Previamente se realiza el proceso SHF en diferentes escenarios No se adiciona pectina en el proceso de destilación, lo cual reduce el rendimiento del destilado	Temperaturas < 30°C Contenido de azúcar de 26,93 %v/v Contenido de humedad de 68,16 %v/v	73,65%
Ordóñez	Papa china	La destilación es desarrollada en alambiques de cobre	Temperaturas entre 78°C - 85°C Tiempo de operación: 8 días Cantidad de enzima remanente: 0,54 g pH: 5,4 Mejor percepción sensorial	18,44%
	Oca	170 ml/ton de alfa amilasa y 550 ml/ton de glucoamilasa	Temperaturas entre 78°C - 85°C Tiempo de operación: 7 días Cantidad de enzima remanente: 0,33 g pH: 6,1	24,36%
Guerrero y Yépez	Yuca y Zanahoria Blanca	La destilación es desarrollada en un Rotavapor Buchi  Para alcanzar el 100% de contenido, al porcentaje de yuca le será añadida zanahoria blanca	Periodo de operación entre 30 a 40 minutos Temperatura < 85°C Porcentaje de yuca a 14,6% presenta °Brix de 13 y 13 °GL Porcentaje de yuca a 50% presenta °Brix de 16 y 16 °G Porcentaje de yuca a 85,35% presenta °Brix de 9 y 14 °GL	50%

De acuerdo al autor Ordoñez, los rendimientos obtenidos para la papa china y oca resultaron ser superiores a diferencia de estudios anteriores desarrollados, titulados: "Extracción y uso de almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados" [56] y "Obtención de almidón y glucosa a partir de Oca (*Oxalis tuberosa*) por hidrólisis ácida y su cinética de extracción" [57], donde es empleado los valores del peso del almidón y el peso de la materia prima para obtener el valor de interés. Los porcentajes obtenidos de la Tabla 5 se obtuvieron de la siguiente forma: para la papa china, se ingresaron 105,15 kg en el proceso y se obtuvo 19,39 kg de almidón de papa china; 114,15 kg de oca fueron ingresados en el proceso y se obtuvo 27,81 kg de almidón del mismo. Estos valores de rendimiento de alcohol son bajos, sin embargo, el licor obtenido presentó una buena evaluación de las características organolépticas, justificado en la presencia de hidratos de carbono diferentes a los presentes en la papa china y oca.

Los autores Guerrero y Yépez expresan que el valor obtenido en el rendimiento se da por la adición de enzimas alfa-amilasas, amiloglucosidasas y pectinasas, donde destacan que el procesamiento de la yuca debe ser aplicado de forma metódica por la presencia de compuestos cianogénicos como son la linamarina y lotaustralina, cuyo metabolismo produce cianuro, caracterizado por ser tóxico para animales y seres humanos, por ello, el correcto seguir de los procesos de cocción, fermentación de la pulpa, destilación y/o procesos adicionales, favorecen el eliminar este compuesto. Para estos autores, el rendimiento del producto incrementa con el proceso de destilación, este fue realizado en un rotavapor, el cual evapora y condensa los

disolventes empleando un matraz de evaporación rotativo bajo vacío a condiciones de 300 mmHg a 85°C por 45 minutos.

## **5. Conclusiones**

La revisión de los documentos relacionados con la elaboración de una bebida destilada a partir del estudio de diferentes raíces y/o tubérculos, plantea diferentes modos de abordar el desarrollo de brebajes alcohólicos, comparando los procesos involucrados y los factores que intervienen, para así proponer que procesos son óptimos para formular vodka que emplee pulpa de ñame.

La producción de esta bebida se caracteriza porque se obtiene mediante la fermentación etanólica de cualquier fuente de carbohidratos, cereales y/o tubérculos, característicos por ser materias primas necesarias para los productores de este tipo de alcohol. Se logra identificar las operaciones que son utilizadas en la producción de una bebida tipo vodka, como son: troceado, lavado con agua e hipoclorito de sodio, cocción, hidrólisis enzimática, fermentación, filtración y destilación.

El inicio de este proceso implica escoger el producto correcto y manipularlo de forma fácil, por lo que se recomendó determinar de forma sensorial su estado, observando el color y olor, además de reducirlo hasta seis centímetros. La eliminación de material particulado puede hacerse con agua e hipoclorito de sodio, la diferencia radica en que el primero es empleado de forma secundaria para eliminar el cloro residual que deja el segundo compuesto, el cual favorece a reducir en mayor medida la suciedad presente en el tubérculo, esto dado en concentraciones de hasta 5 ppm por dos minutos.

Se evidencia que la hidrólisis enzimática es la etapa más rigurosa en comparación a la destilación y fermentación, donde las condiciones de proceso aplicadas como son: temperatura, pH, concentración de azúcares y tiempos de operación, juegan un papel relevante, debido a que su manipulación modifica la concentración final y el grado alcohólico esperado, como se evidencia en el estudio de Ordoñez donde obtuvo mejores características en su evaluación sensorial. Además, se tiene en cuenta el empleo de cierto tipo de enzimas como: Amilogucosidasa (AMG), Termamyl, Fungamyl, Supersan, Spirizyme fuel, Liquozyme, Gamalpha Spezial y Gammadex Cal, que dependiendo de la clase a utilizar se puede alcanzar un rendimiento superior al 85% para este tipo de hidrólisis, esto se logra ya que este tipo de enzimas ofrecen una actividad avanzada de desramificación y una conversión completa de la glucosa.

La operación de destilación el mosto ayudó a definir las propiedades organolépticas que tiene el destilado. De acuerdo a la literatura, se recomienda realizar la destilación a temperaturas entre 70 y 80°C para lograr que el destilado alcance el grado de alcohol correspondiente al tipo de licor; dicho proceso puede llevarse a escala experimental con el uso de los equipos convencionales de destilación simple y los alambiques de cobre se encuentra vigente donde, a pesar de ser eficientes, requieren de grandes cantidades de mosto a destilar para obtener un grado de alcohol ideal y conseguir características aromáticas deseables. A escala industrial, los alambiques de cobre tienen menor presencia al requerir mayor eficiencia de operación, por ello, se reporta el uso de equipos avanzados como el rotavapor Buchi, cuya operación se realiza en un equipo de vidrio con columnas de rectificación a 78°C, obteniendo un destilado con grado alcohólico de 40°GL.

A partir de esta revisión se afirma que, como medio de sustento, el ñame es un alimento de alta importancia

para los agricultores, por tanto, el desarrollo de nuevas metodologías que añadan valor agregado a un producto de gran consumo en el caribe colombiano se convierte en alternativa para proyectar la aplicación de diferentes procesos a fin de obtener una bebida destilada tipo vodka a base de ñame (*Dioscorea spp.*) se convierta como alternativa a la industrialización del ñame.

## Referencias

- [1] C. Albán y J. Carrasco, «Elaboración de una bebida alcohólica destilada, evaluando dos niveles de levadura utilizando como sustrato papa china (*Colocasia Esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas L*) en la planta de frutas y hortalizas de la Universidad Estatal de Bolívar», Tesis de Pregrado, Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador, 2012.
- [2] E. Agualsaca, «Bebida fermentada a partir de arroz (*Oryza sativa*) utilizando levadura (*Aspergillus oryzae*)», Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador, 2013.
- [3] J. Estrada, «Compañía de Cervezas Nacionales Haciendo historia 1887-2005», 1.<sup>a</sup> ed., Poligráfica, pp 223, Guayaquil, Ecuador, 2005.
- [4] N. Techeira, L. Sívoli, B. Perdomo, A. Ramirez, y F. Sosa, «Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), batata (*Ipomoea batatas Lam*) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela», *Revista Interciencia*, vol. 39, n.º 3, pp. 191-197, Caracas, Venezuela, marzo 2014.
- [5] A. Pinzón, «Caracterización morfológica y molecular de *Colletotrichum gloeosporioides* aislado de ñame (*Dioscorea spp.*) y establecimiento de una escala de virulencia para su caracterización patogénica», Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2014.
- [6] H. Maya, «Determinación de la variabilidad morfológica y patogénica de aislados de *Colletotrichum gloeosporioides* en *Dioscorea alata*, CV. OSO Y CV.», Tesis de Pregrado, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia, 2015.
- [7] Y. Reina, «El cultivo de ñame en el caribe colombiano». *Documentos de trabajo sobre Economía Regional*, n.º 168, 31 p, Bogotá, 2012.
- [8] El Universal, «Ñamichips, el nuevo producto de los Montes de María». Accedido: 15 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.co/regional/bolivar/namichips-el-nuevo-producto-de-los-montes-de-maria-ND6151942>
- [9] Semana Rural, «El verdadero reto del ñame con el que no ha podido Min. Agricultura», [En línea]. Disponible en: <https://semanarural.com/web/articulo/el-verdadero-reto-del-name-con-el-que-no-pudo-minagricultura/222>
- [10] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, «Resolución 0952 de 2019: Por la cual se certifican los Precios de Venta al Público de Licores, Vinos, Aperitivos y Similares», junio 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/bebidas-alcoholicas/Resolucion-certificacion-PVPLVA-0952de2019.pdf>

- [11] El País, «Estas son las bebidas alcohólicas que más consumen los colombianos», diciembre de 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/colombia/estas-son-las-bebidas-alcoholicas-que-mas-consumen-los-colombianos.html>
- [12] A. Sonneveld. «Estudio de mercado. El mercado de las bebidas alcohólicas en Colombia 2020», ICEX. [En línea]. Disponible en: <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/020/documentos/2020/12/documentos-anexos/resumen-ejecutivo-mercado-bebidas-alcoholicas-colombia-2020.pdf> Bogotá, Colombia, 2020.
- [13] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «Organización de Cadena Nacional del Ñame», [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20C3%91ame.pdf> Bogotá, 2020.
- [14] M. Hemalatha, O. Sarkar, y S. Venkata Mohan, «Self-sustainable azolla-biorefinery platform for valorization of biobased products with circular-cascading design», *Chemical Engineering Journal*, vol. 373, pp. 1042-1053, oct. 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.04.013.
- [15] S. Venkata Mohan, J. A. Modestra, K. Amulya, S. K. Butti, y G. Velvizhi, «A Circular Bioeconomy with Biobased Products from CO<sub>2</sub> Sequestration», *Trends in Biotechnology*, vol. 34, n.º 6. Elsevier Ltd, pp. 506-519, junio de 2016. doi: 10.1016/j.tibtech.2016.02.012.
- [16] C. Papadaskalopoulou *et al.*, «Comparative life cycle assessment of a waste to ethanol biorefinery system versus conventional waste management methods», *Resour Conserv Recycl*, vol. 149, pp. 130-139, oct. 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.05.006.
- [17] C. Lareo y M. D. Ferrari, «Chapter 7 - Sweet Potato as a Bioenergy Crop for Fuel Ethanol Production: Perspectives and Challenges», en *Bioethanol Production from Food Crops*, R. C. Ray y S. Ramachandran, Eds., Academic Press, 2019, pp. 115-147. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00007-2>
- [18] Instituto Europeo de Posgrado (IEP), «Google Scholar: ¿Qué es y para qué sirve?». [En línea]. Disponible en: <https://www.iep.edu.es/google-scholar-que-es-y-para-que-sirve/> Madrid, 2020.
- [19] Arimetrics, «Qué es Google Books», [En línea]. Disponible en: <https://www.arimetrics.com/glosario-digital/google-books> Madrid, 2022.
- [20] Elsevier, «ScienceDirect: La plataforma de de bibliografía académica revisada por pares de Elsevier», [En línea]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/es-es/products/sciencedirect> Madrid, 2023.
- [21] Elsevier, «Scopus: Base de datos de citas y resúmenes completa, multidisciplinaria y fiable», [En línea]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/es-mx/solutions/scopus> Madrid, 2023.
- [22] Bojo C, C. Fraga, S. Hernández, y E. Primo, «SciELO: A cooperative project for the dissemination of science», *SciELO*, vol. 11, n.º 2, pp. 49-56, octubre 2009, doi: 10.4321/S1575-06202009000200004.
- [23] B. Mignouna, T. Abdoulaye, A. Alene, R. Asiedu, y V. Manyong, «Characterization of Yam-growing Households in the Project Areas of Ghana», *International Institute of Tropical Agriculture (IITA)*, 2014, pp 110, Ibadan, Nigeria, doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3122.3763>

- [24] M. González, «El ñame (*Dioscorea spp.*). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo», *Cultivos Tropicales*, vol. 33, n.º 4, pp. 5-15, La Habana, Cuba, octubre -diciembre 2012.
- [25] A. De León y J. Tapia, «Caracterización Del Almidón De Tres Tipos De Ñame: *Dioscórrea Alata*, *Dioscórrea Rotundata* y *Diamante R22* con fines de agroindustrialización», Tesis de Pregrado, Corporación Universitaria del Caribe, Sincelejo, Colombia, 2017.
- [26] A. López. «Manual para la preparación y ventas de frutas y hortalizas frescas del campo al mercado», Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>
- [27] Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. «Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos», junio 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia%20para%20uso%20de%20cloro%20como%20desinfectante%20en%20establecimientos%2023.06.2020.pdf>
- [28] Code of Federal Regulations LEX-FAOC156335, «Secondary direct food additives permitted in food for human consumption (21 CFR 173.5-173.405) », abril 2016. [En línea]. Disponible en: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/us156335.pdf>
- [29] W. Mcglynn, «Guidelines for the Use of Chlorine Bleach as a Sanitizer in Food Processing Operations Use of chlorine bleach for sanitizing equipment and food handling articles», FAP116 Robert M. Kerr Food & Agricultural Products Center, junio 2016. [En línea]. Disponible en: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/guidelines-for-the-use-of-chlorine-bleach-as-a-sanitizer-in-food-processing-operations.html>
- [30] I. Benavides y M. Pozo, «Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka) a partir de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando dos tipos de enzimas», Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2008.
- [31] I. Guerrero y C. Yépez, «Elaboración de una Bebida Alcohólica Destilada a partir de Yuca (*Manihot esculenta*) y Zanahoria Blanca (*Arracacia xanthorrhiza*)», Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador, 2018.
- [32] R. Maheshwari, G. Bharadwaj, y M. Bhat, «Thermophilic Fungi: Their Physiology and Enzymes», *Microbiol Mol Biol Rev*, vol. 64, pp. 461-488, nov. 2000, doi: 10.1128/MMBR.64.3.461-488.2000.
- [33] S. Pandey y S. B. Mishra, «Organic-inorganic hybrid of chitosan/organoclay bionanocomposites for hexavalent chromium uptake», *J Colloid Interface Sci*, vol. 361, n.º 2, pp. 509-520, sep. 2011, doi: 10.1016/j.jcis.2011.05.031.
- [34] S. K. Soni, A. Kaur, y J. K. Gupta, «A solid state fermentation based bacterial  $\alpha$ -amylase and fungal glucoamylase system and its suitability for the hydrolysis of wheat starch», *Process Biochemistry*, vol. 39, n.º 2, pp. 185-192, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00058-X).

- [35] M. A. M. Tigue, C. T. Kelly, E. M. Doyle, y W. M. Fogarty, «The alkaline amylase of the alkalophilic *Bacillus sp.* IMD 370», *Enzyme Microb Technol*, vol. 17, n.º 6, pp. 570-573, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(94\)00098-C](https://doi.org/10.1016/0141-0229(94)00098-C)
- [36] R. M. Collares, L.V.S. Miklasevicius, M. M. Bassaco, N.P.G. Salau, M.A. Mazutti, D.A. Bisognin y L.M. Terra. «Optimization of enzymatic hydrolysis of cassava to obtain fermentable sugars», *Journal of Zhejiang University Science B*, vol. 13. n.º 7, pp. 579–586. Jul, 2012. doi: 10.1631/jzus.B1100297.
- [37] H. I. Castaño y C. E. Mejía, «Producción de etanol a partir de almidón de yuca utilizando la estrategia de proceso sacarificación-fermentación simultáneas (SSF)». *VITAE*, vol. 15. n.º 8, pp. 251-258, Medellín, Colombia, Diciembre 2008.
- [38] W. Frazier y D. Westhoff, «Microbiología de los alimentos», pp. 700. 4a. Edición, Acribia, Zaragoza, España, 1993.
- [39] F. Carretero. «Innovación tecnológica en la industria de bebidas», Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 2006.
- [40] K. Suresh, N. Kiran sree, y L. V. Rao, «Utilization of damaged sorghum and rice grains for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation», *Bioresour Technol*, vol. 68, n.º 3, pp. 301-304, 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00135-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00135-7)
- [41] T. Montesinos y J.-M. Navarro, «Production of alcohol from raw wheat flour by Amyloglucosidase and *Saccharomyces cerevisiae*», *Enzyme Microb Technol*, vol. 27, n.º 6, pp. 362-370, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(00\)00211-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(00)00211-8)
- [42] P. Sassner, M. Galbe, y G. Zacchi, «Bioethanol production based on simultaneous saccharification and fermentation of steam-pretreated *Salix* at high dry-matter content», *Enzyme Microb Technol*, vol. 39, n.º 4, pp. 756-762, ago. 2006, doi: 10.1016/j.enzmictec.2005.12.010.
- [43] D. Rutz y R. Janssen, *Biofuel technology handbook*. pp. 149. WIP Renewable Energies, Múnich, Alemania, 2007.
- [44] Mielenz J., «Ethanol production from biomass: technology and commercialization status», *Curr. Opin. Microbiol*, vol. 4, pp. 324-329, 2001.
- [45] P. Bardhan, A. Deka, S. S. Bhattacharya, M. Mandal, y R. Kataki, «Chapter 18 - Economical aspect in biomass to biofuel production», en *Value-Chain of Biofuels*, S. Yusup y N. A. Rashidi, Eds., Elsevier, 2022, pp. 395-427. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824388-6.00003-8>
- [46] C. E. Wyman, D. D. Spindler, y K. Grohmann, «Simultaneous saccharification and fermentation of several lignocellulosic feedstocks to fuel ethanol», *Biomass Bioenergy*, vol. 3, pp. 301-307, 1992.
- [47] J. Choudhary, S. Singh, y L. Nain, «Thermotolerant fermenting yeasts for simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic biomass», *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 21, pp. 82-92, nov. 2016, doi: 10.1016/j.ejbt.2016.02.007.

- [48] Biología 1, «Práctica 6: Fermentación». [En línea]. Disponible en: <http://denissecpbiologia1.blogspot.com/2013/10/practica-6-fermentacion.html> 2012
- [49] Quimicafacil.net, «Preparación de etanol por fermentación». [En línea]. Disponible en: <https://quimicafacil.net/manual-de-laboratorio/bioquimica/preparacion-de-etanol-por-fermentacion/> febrero 2022.
- [50] M. D. Kitson-Hyter, B. Fei-Baffoe, L. N. A. Sackey, y K. Miezah, «Production of bioethanol from plantain and yam peels using *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*», *Biomass Convers Biorefin*, 2022, doi: 10.1007/s13399-022-03352-w.
- [51] BUCHI, «Rotavapor R-100». [En línea]. Disponible en: <https://www.buchi.com/es/productos/instrumentos/rotavapor-r-100>
- [52] BUCHI, «Manual de instrucciones (Original) Rotavapor® R-100», [En línea]. Disponible en: [https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/Buchi-Corporation/manuals/R-100\\_OM.pdf](https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/Buchi-Corporation/manuals/R-100_OM.pdf) sep. 2022
- [53] D. Sánchez, G. López, N. Pareja, K. Tuz. Cristalización del Sulfato de Cobre. Informe de Ingeniería Ambiental, Universidad del Caribe, Cancún, México. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/325426007> Mayo 2018.
- [54] A. Valiente, *Historia de la destilación*, 2.<sup>a</sup> ed., vol. 7. *Revista de Educación Química*, vol. 7, n.º 2, pp. 76-82, Abril-junio de 1996. doi: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1996.2.66669>
- [55] A. Cervera, *Envase y Embalaje: La Venta Silenciosa*. 2a ed. pp 293. ESIC Editorial, Madrid, 2003.
- [56] M. J. Songor y A. del C. Tenesaca, «Extracción y uso de almidón de papa china (*Colocasia esculenta*) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados». Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2019.
- [57] L. Carrión, «Obtención de almidón y glucosa a partir de la oca (*Oxalis tuberosa*) por hidrólisis ácida y su cinética de extracción». Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú, 2018