**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

# OPTIMIZACIÓN DE PARAMETROS DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE *Dioscórea trífida* CON CEBADA MALTEADA PARA LA PRODUCCIÓN DE VODKA IQUITOS 2023

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO QUÍMICO**


**PRESENTADO POR:**

**REYNA ISABEL RAMIREZ TRUJILLO**
**MELISSA GRETELL URRUTIA VILCHEZ**

**ASESORES:**

**Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.**
**Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.**
**Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.**


**IQUITOS, PERÚ**

**2026**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNAP

Facultad de Ingeniería Química
Unidad de Investigación

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 005-CGT-FIQ-UNAP-2026**

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 16 días del mes de Enero de 2026, a horas 17:00, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"OPTIMIZACIÓN DE PARAMETROS DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE** *Dioscórea trifida* **CON CEBADA MALTEADA PARA LA PRODUCCIÓN DE VODKA IQUITOS 2023"**, aprobado con Resolución Decanal N° 012-2026-FIQ-UNAP, presentado por las bachilleres: **Reyna Isabel Ramirez Trujillo y Melissa Gretell Urrutia Vilchez,** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Quimico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N° 380-2025-FIQ-UNAP está integradó por los siguientes profesionales:

| | |
|---|---|
| **Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.** | **Presidente** |
| **Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr.** | **Miembro** |
| **Ing. CARLOS MARTÍN MIRES LÓPEZ, Mtro.** | **Miembro** |

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La Sustentación Pública y la Tesis ha sido: Aprobada con la calificación Buena, estando las bachilleres aptos para obtener el **Título Profesional de Ingeniero Químico.**

Siendo las 17:54 se dio por terminado el acto de Sustentación

**Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.**
**Presidente de Jurado**

**Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr.**
**Miembro**

**Ing. CARLOS MARTÍN MIRES LÓPEZ, Mtro.**
**Miembro**

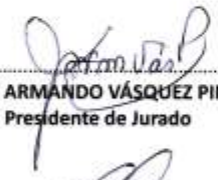
**Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.**
**Asesor**

**Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.**
**Asesor**

**Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.**
**Asesor**

UNIVERSIDAD LICENCIADA

**JURADO Y ASESORES**



Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.
Presidente de Jurado



Q.F. FRANK ROMEL LEÓN VARGAS, Dr.
Miembro



Ing. CARLOS MARTÍN MIRES LÓPEZ, Mtro.
Miembro



Ing. ROSA ISABEL SOUZA NAJAR, Dra.
Asesor

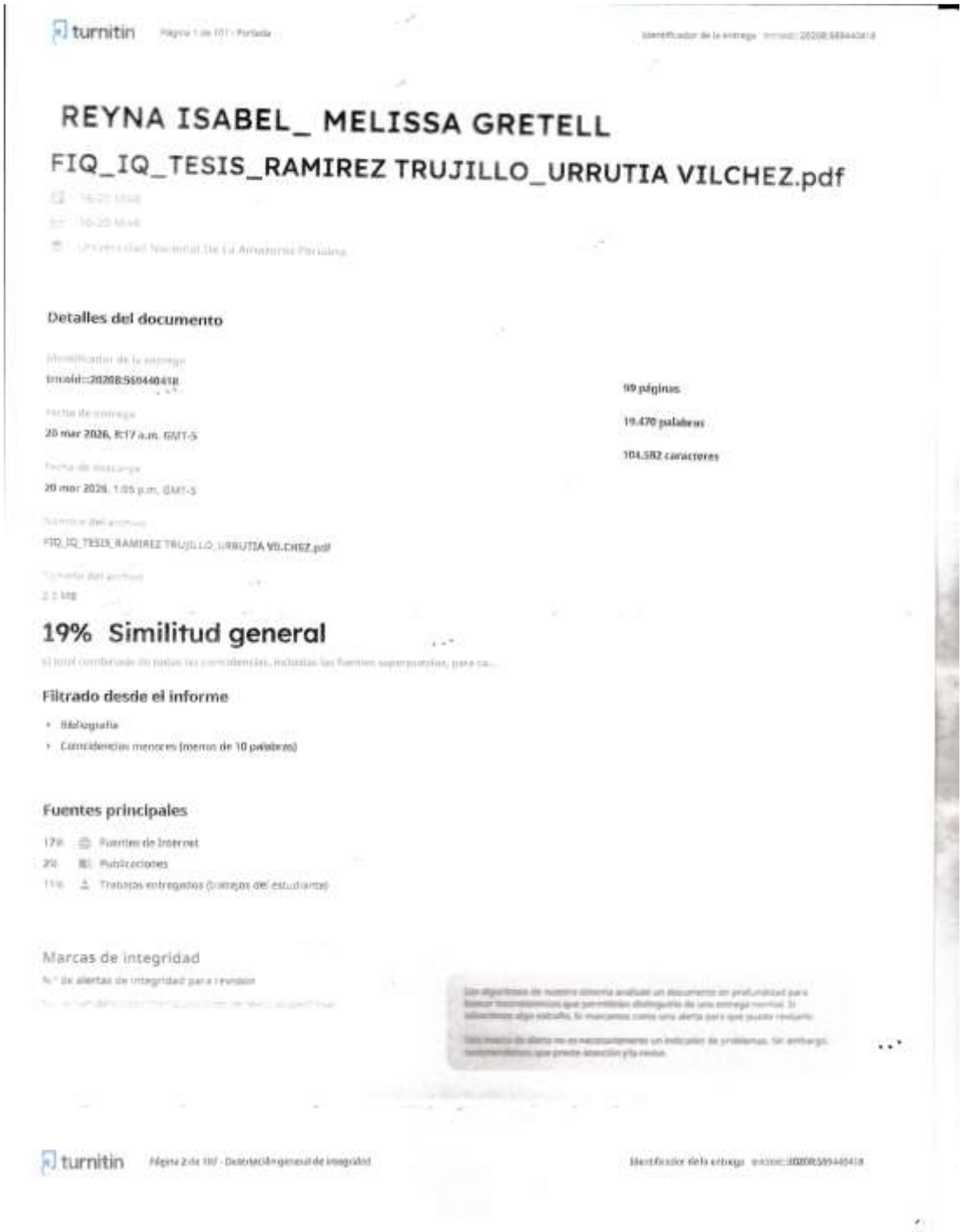


Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.
Asesor



Ing. DANIEL DIOMEDES CARRASCO MONTAÑEZ, MSc.
Asesor

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



turnitin Página 1 de 101 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::20208:569440418

REYNA ISABEL_ MELISSA GRETELL

FIQ_IQ_TESIS_RAMIREZ TRUJILLO_URRUTIA VILCHEZ.pdf

16.20 MB

16.20 MB

Universidad Nacional De La Amazonia Peruana

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::20208:569440418

99 páginas

Fecha de entrega

20 mar 2026, 8:17 a.m. GMT-5

19.470 palabras

104.582 caracteres

Fecha de descarga

20 mar 2026, 1:05 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

FIQ_IQ_TESIS_RAMIREZ TRUJILLO_URRUTIA VILCHEZ.pdf

Tamaño del archivo

2.1 MB

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

17% Fuentes de Internet

2% Publicaciones

11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si sospechamos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que puedas revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que prestes atención y la revises.

turnitin Página 2 de 101 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::20208:569440418

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a nuestros padres Lucila Trujillo Asipali y Abildo Ramirez y También a mi esposo Tito Pacaya Tapayuri, por su amor y apoyo incondicional, y mostrarme con acciones y palabras que siempre se puede superar los obstáculos por más difíciles que sean.

**Reyna Isabel Ramirez Trujillo**

Esta tesis está dedicada para mi madre Maria Dolores Vilchez Canayo y mi padrino Alfredo Centeno que la mujer que soy hoy, es gracias a ellos. A mis hijos Abraham y Benjamín, que junto a mi esposo Karol Muñoz García son la motivación para mi desarrollo profesional. Que todos ellos son lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

**Melissa Gretell Urrutia Vilchez**

## AGRADECIMIENTO

Este agradecimiento muy especial a Dios por darnos la paciencia, las fuerzas, la salud, la sabiduría e inteligencia y la perseverancia. Y a nuestra casa de estudios la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana por brindarnos esa formación en sus aulas de estudios y poder culminar la carrera de ingeniería química. También damos un agradecimiento enorme a cada docente de nuestra querida facultad de ingeniería química, quien con sus conocimientos y experiencias vividas nos fue de mucha utilidad para poder llegar al tan ansiado término de la carrera. Asimismo, agradecemos a la Ing. Rosa Souza Najar, al Ing. Jorge Antonio Suarez Rumiche, y al Ing. Daniel Diomedes Carrasco Montañez, por brindarnos el apoyo, conocimiento y sobre todo mucha dedicación para poder culminar la tesis. Finalmente queremos agradecer nuestras familias por darnos el apoyo que necesitamos para salir adelante día a día.

## ÍNDICE DE CONTENIDO


| | Páginas |
|---|---|
| PORTADA | i |
| ACTA DE SUSTENTACIÓN | ii |
| JURADO Y ASESORES | iii |
| RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I: MARCO TEORICO | 5 |
| 1.1. Antecedentes | 5 |
| 1.2. Bases teóricas | 10 |
| 1.3. Definición de términos básicos | 27 |
| CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES | 31 |
| 2.1. Formulación de la hipótesis. | 31 |
| 2.2. Variables y su operacionalización | 31 |
| 2.2.1 Variables | 31 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA | 33 |
| 3.1. Tipo y diseño | 33 |
| 3.2. Diseño muestral | 34 |
| 3.3. Procedimiento de recolección de datos | 34 |
| 3.5. Procesamiento y análisis de datos | 41 |
| 3.6. Aspectos éticos | 41 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS | 42 |
| CAPITULO V: DISCUSIÓN | 57 |
| CAPITULO VI: CONCLUSIONES | 62 |
| CAPITULO VII: RECOMENDACIONES | 63 |
| CAPITULO VIII: FUENTE DE INFORMACION | 64 |
| ANEXOS | 74 |
| ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA | 75 |

ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE LA *DIOSCÓREA TRÍFIDA*. 76

ANEXO 3: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN 78

ANEXOS 9: FOTOS DE LAS ENCUESTAS 91

ANEXO 10: RESULTADOS DE LOS 26 ENCUESTADOS DEL VODKA COMERCIAL 93

## ÍNDICE DE TABLAS

**Páginas**


Tabla 1. Taxonomía de la *dioscórea trífida* (blanca y morada) 11

Tabla 2. Análisis bromatológico de los tubérculos de dos cultivares (blanco y morado) de *Dioscorea trifida L*. (sachapapa). 12

Tabla 3. Propiedades funcionales del almidón 14

Tabla 4: Producción de etanol partiendo de diferentes materias primas 15

Tabla 5. Niveles de los factores de estudio y de los parámetros intervinientes 33

Tabla 6. Matriz de planteamiento de experimentos 33

Tabla 7. El análisis bromatológico se realizará en el laboratorio de análisis industriales, en donde se evaluarán las siguientes características 36

Tabla 8. Parámetros establecidos para la hidrólisis enzimática en cada ensayo según el diseño experimental. 37

Tabla 9. Parámetros de calidad del vodka obtenido según las normas técnicas peruanas. 40

Tabla 10. Rendimiento promedio obtenido de la extracción del almidón 42

Tabla 11. Determinación de las características fisicoquímicas del almidón de la sachapapa *(Dioscórea Trífida*). 42

Tabla 12. Resultados de la hidrolisis del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*), en función Proporción Almidón: Malta. 43

Tabla 13. Análisis de Varianza (Grados Brix vs. Ensayo) 43

Tabla 14. Prueba de Tukey para un nivel de confianza de 95% 44

Tabla 15. Coeficientes codificados 44

Tabla 16. Resumen del modelo de regresión factorial 45

Tabla 17. Análisis de Varianza (Proporción Almidón:Malta y Tiempo de hidrolisis) 45

Tabla 18. Resultados de la hidrólisis enzimática del almidón de *Dioscórea trífida* utilizando los parámetros óptimos del Ensayo 9. 48

Tabla 19. Acondicionamiento grado Brix del mosto 48

Tabla 20. Resultados de la fermentación y clarificación del mosto de *Dioscórea trífida*. 49

Tabla 21. Resultados de la primera destilación del mosto fermentado de *Dioscórea trífida* 49

Tabla 22. Resultados de la segunda destilación del alcohol crudo 50

Tabla 23. Factor de dilución para la obtención del vodka 50

Tabla 24. Rendimiento del vodka 50

Tabla 25. Resultados de los análisis calidad del vodka en el laboratorio SLAB 51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

**Páginas**

**Gráfico N°1.** Diagrama de Pareto 46

**Gráfico N°2.** Efectos principales de la cantidad de proporción de almidón: malta y tiempo de hidrolisis con respecto a los Grados °Brix en el proceso de hidrolisis 46

**Gráfico N°3.** Probabilidad normal de los residuos de los valores de °Brix obtenido en la hidrólisis enzimática en todos los ensayos 47

**Gráfico N°4.** Atributo Visual (Cristalinidad) 51

**Gráfico N°5.** Atributo Olfativa (Intensidad olfativa) 53

**Gráfico N°6.** Atributo Gustativa (Consistencia) 54

**Gráfico N°7.** Atributo Aceptación (global) 55

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Páginas**

Figura N°1. Planta y tubérculo de *dioscórea trífida* (morada y blanca). 11

Figura N°2. Diagrama de flujo del vodka de la papa nativa 19

Figura N°3. Levadura *Saccharomyces Cerevisiae* 23

Figura N°4. Fermentación alcohólica por acción de las levaduras 24

Figura N°5. Diagrama del Proceso de extracción del almidón de la sachapapa 35

Figura N°6. Proceso de obtención del vodka de la sachapapa (diagrama) 39

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo optimizar la hidrólisis enzimática del almidón de *Dioscórea trífida* (sachapapa) combinando con cebada malteada (pilsnert malt) para obtener un mosto rico en azúcares fermentables para obtener un licor tipo vodka, La sachapapa se recolecto en Santa Rita-Loreto Perú, y se emplearon 30 kg de muestra para la extracción de almidón. Se diseñó un experimento factorial $3^2$, considerando como factores de estudio, la proporción de almidón de *Dioscórea trífida*: cebada malteada (20:15, 25:15 y 30:15) y el tiempo de hidrólisis (60, 75 y 90 minutos), a 68 °C y pH 4.5. La producción del vodka se obtuvo fermentando con *Saccharomyces cerevisiae ´*por 7 días, seguido de destilado y dilución para obtener un licor de 40° GL. Se evaluó la calidad mediante pruebas químicas y sensorial. Los mejores resultados de la hidrolisis enzimática del almidón con malta de cebada se obtuvieron en una proporción 30:15 durante 90 minutos, logrando obtener un mosto de 11,33°Brix. El licor obtenido no evidencio presencia de metanol y mostro un buen equilibrio en sabor y aroma, con una graduación alcohólica ajustada a 40°GL. Concluyendo que *Dioscórea trífida* es una fuente viable de almidón para producir un licor tipo vodka.



**Palabras clave:** Hidrólisis enzimática, *Dioscórea trífida*, cebada malteada (pilsner malt), vodka, fermentación alcohólica, destilación.

## ABSTRACT

This research aims to optimise the enzymatic hydrolysis of *Dioscorea trifida* (sachapapa) starch by combining it with malted barley (pilsnert malt) to obtain a must rich in fermentable sugars for producing a vodka-type liquor. The sachapapa was harvested in Santa Rita-Loreto, Peru, and 30 kg of sample was used for starch extraction. A 32-factorial experiment was designed, considering as study factors the ratio of *Dioscorea trifida* starch to malted barley (20:15, 25:15 and 30:15) and the hydrolysis time (60, 75 and 90 minutes) at 68 °C and pH 4.5. The vodka was produced by fermenting with Saccharomyces cerevisiae for 7 days, followed by double distillation and dilution to obtain a 40° GL liquor. Quality was evaluated through chemical and sensory tests. The best results for enzymatic hydrolysis of starch with barley malt were obtained at a ratio of 30:15 for 90 minutes, achieving a must of 11.33°Brix. The liquor obtained showed no evidence of methanol and displayed a good balance of flavour and aroma, with an alcohol content adjusted to 40°GL. It was concluded that *Dioscorea trifida* is a viable source of starch for producing a vodka-type liquor.



**Keywords:** Enzymatic hydrolysis, *Dioscorea trifida*, barley malt vodka, alcoholic fermentation, distillation.

# INTRODUCCION

El vodka es una de las bebidas alcohólicas más populares y versátiles a nivel mundial, y su evolución a lo largo de los siglos es fascinante. Aunque sus orígenes exactos no están completamente claros, se considera que nace en Europa del Este alrededor del siglo VIII. Desde entonces, se consolida como una bebida emblemática en países productores como Rusia y Polonia, y gana popularidad en todo el mundo. Originalmente, se elabora a partir de granos como el trigo o el centeno, pero con el avance de las técnicas de destilación, surgen versiones elaboradas con otros ingredientes, como patata y maíz. Esta flexibilidad permite que la bebida se adapte a los recursos locales, impactando su sabor y calidad (Curiosaweb, 2024).

En los últimos años, la producción de vodka ha mostrado un crecimiento significativo impulsado por la creciente demanda de productos premium y artesanales, con innovaciones como sabores exóticos y prácticas sostenibles como impulsores clave (Mordor, 2025). Sin embargo, las materias primas tradicionales, como granos y papas, enfrentan desafíos relacionados con la disponibilidad y el costo. Por ejemplo, el precio de la papa aumentó un 12 % en 2024 debido a condiciones climáticas adversas y alteraciones en la cadena de suministro, lo cual presiona los costos de producción del vodka (DataHorizon Research, 2025). La obtención de vodka se basa en un proceso enzimático, donde las enzimas descomponen el almidón en azúcares simples, como la glucosa, que luego son fermentados por levaduras para producir alcohol (Montero, 2019).

En este contexto, la *Dioscórea trífida*, comúnmente conocida como sachapapa, emerge como una fuente prometedora de almidón para la producción de vodka, ofreciendo ventajas tanto económicas como ambientales. La obtención de azúcares fermentables a partir del almidón de *Dioscórea trífida* requiere una hidrólisis enzimática óptima, en

la cual factores clave incluyen la proporción entre el almidón de *Dioscórea trífida* y cebada malteada, así como la temperatura y el tiempo de reacción. Un adecuado equilibrio entre estos factores resulta fundamental para maximizar la conversión del almidón en azúcares fermentables, siendo las condiciones de temperatura y tiempo cruciales para la eficiencia de la hidrólisis enzimática.

El rendimiento de almidón que se puede obtener de las papas de *Dioscórea trífida* varía según el cultivo, pero se demuestra que es significativo, convirtiéndola en una fuente viable para la producción de alcohol. El almidón de *Dioscórea trífida* presenta características físicas y químicas particulares, incluida una estructura granular que se gelifica al someterse a altas temperaturas (Santos et al., 2021), lo que facilitaría su conversión en azúcares durante la hidrólisis. La proporción entre el almidón de *Dioscórea trífida* y la cebada malteada, junto con la temperatura y el tiempo de hidrólisis, afectan directamente la cantidad de azúcares fermentables que se pueden obtener. Por tanto, un control preciso de estos parámetros es esencial para maximizar la eficiencia del proceso. Además, el jugo azucarado resultante de hidrólisis enzimática requiere un ajuste en pH y concentración de azúcares para asegurar una fermentación adecuada con *Saccharomyces cerevisiae*, lo cual es fundamental para obtener un alcohol de calidad (Wang et al., 2024).

En cuanto al rendimiento en vodka, la destilación del mosto fermentado a partir de Dioscórea trífida puede ser eficiente, dependiendo de la calidad de la fermentación y los métodos de destilación utilizados (Masón et al., 2023). Se anticipa que la aceptación del vodka producido a partir de esta fuente sea prometedora, ya que los consumidores pueden encontrarlo bien equilibrado en sabor y aroma, aunque esta aceptación puede variar según la técnica de producción y las características específicas del producto (László Mucha et al., 2022).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática (pilsner malt), incluyendo la proporción de almidón entre *Dioscórea trífida* y cebada malteada, así como la temperatura y el tiempo de reacción, para la obtención de azúcares fermentables destinados a la producción de vodka.

Para lograr estos objetivos específicos se determinó el rendimiento en almidón que se puede obtener a partir de los tubérculos de *Dioscórea trífida*, así como sus características físicas y químicas. También se evalúan los parámetros que influyen en la hidrólisis enzimática, incluyendo la proporción entre el almidón de *Dioscórea trífida* y la cebada malteada, la temperatura de reacción y el tiempo de reacción para obtener un jugo enriquecido con azúcares fermentables. En la obtención del vodka se detalla el ajuste del mosto azucarado obtenido de la hidrólisis y la fermentación alcohólica utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Asimismo, se describe como se obtiene el etanol mediante la destilación del mosto fermentado para la elaboración del licor tipo vodka, además se muestra el análisis de calidad del vodka obtenido y el nivel de aceptación realizado mediante una prueba hedónica.

Este estudio es importante porque busca aprovechar un recurso no convencional en la industria de bebidas alcohólicas, lo que tiene importantes implicaciones económicas y culturales.

La investigación contribuye al conocimiento sobre la destilación y la producción de alcohol al explorar una fuente única de almidón y su interacción con enzimas, lo cual es relevante no solo para la producción de vodka, sino también para futuras investigaciones en ciencias de alimentos. Además, el uso de este recurso local promueve la sostenibilidad, beneficia a las comunidades locales y podría generar un producto distintivo en el mercado, atrayendo mayor interés a nivel nacional e

internacional. En el capítulo I, se presenta el marco teórico y la revisión bibliográfica de estudios relacionados. En el capítulo II, se indica la formulación de hipótesis, las variables y su operacionalización. Finalmente, en el capítulo III, se describe la metodología y el diseño experimental utilizados en esta investigación. En el capítulo IV, se muestran los resultados obtenidos a partir de los experimentos realizados, presentando de forma clara y ordenada los datos recopilados mediante tablas, figuras y análisis estadísticos que evidencian los hallazgos más relevantes.

El capítulo V aborda la discusión de dichos resultados, contrastándolos con estudios previos y explicando su significado en el marco teórico de la investigación. En el capítulo VI, se exponen las conclusiones, que sintetizan los principales aportes del estudio y responden a los objetivos planteados. El capítulo VII contiene las recomendaciones, orientadas a futuras investigaciones y a posibles aplicaciones prácticas de los hallazgos.

En el capítulo VIII, se detallan las fuentes de información utilizadas, garantizando la validez y actualidad de las referencias bibliográficas. Finalmente, en los anexos, se incluyen documentos complementarios, gráficos, tablas y cualquier material adicional que respalde la investigación.

# CAPITULO I: MARCO TEORICO

## 1.1. Antecedentes

Trabajos relacionados a la obtención del vodka se muestran a continuación:

**A nivel Internacional:**

En el 2021, en Brasil, se realizó un estudio en donde se utilizó malta de cebada como fuente de amilasas para la hidrólisis del almidón de yuca con el objetivo de obtener azúcares reductores destinados a la fermentación alcohólica. Se evaluaron dos métodos de hidrólisis: uno empleando malta de cebada molida en concentraciones del 5, 10 y 15% (p/p), y otro usando el extracto enzimático de dicha malta en volúmenes de 0.5, 1.0 y 1.5 mL. En el caso de la malta molida, no se observaron diferencias significativas en la producción de azúcares reductores entre las concentraciones probadas. Sin embargo, el extracto enzimático fue más eficiente, alcanzando su mayor rendimiento con 0.5 mL, lo que se atribuyó a un mejor contacto entre las enzimas y el sustrato. La fermentación alcohólica del mosto obtenido con esta concentración produjo un contenido de etanol de 7.74 ± 3.19 g/L, con una eficiencia del 88.6%. (Luz et al., 2021)

En el año 2021, se desarrolló un trabajo en la elaboración de la bebida alcohólica destilada vodka fue previo a la aplicación de procesos para la extracción del almidón de dos variedades de papas (chaucha y super chola), posteriormente se elaboró el mosto para someterlo al proceso de fermentación alcohólica en el cual se aplicó dos tipos de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en bloque y polvo con alfa amilasa respectivamente para el proceso de hidrolisis. El control y medición del pH se realizó diariamente por un lapso de 15 días a una hora fija, y °Brix fueron controlados cada 3 días por el lapso de 15 días, el pH inicio de 4,5 previo al ajuste con ácido cítrico y 8,5 °Brix lo cual fue mejorando las condiciones de fermentación hasta finalmente llegar

al día 15 con un pH 3,87 y 6,40 °Brix. Las pruebas organolépticas realizadas al mosto de la bebida alcohólica dieron como resultado el tratamiento 4 como mejor de acuerdo a las variables de olor, color y sabor. El análisis fisicoquímico realizado en el laboratorio del mejor tratamiento $t_4$ (almidón papa chaucha + levadura en polvo) da como resultado alcohol, fracción volumétrica 4,04% v/v; alcoholes superiores 55,68 mg/100ml; metanol 0,36 mg/100ml y furfural 0,38 mg/100ml, parámetros establecidos en la NTE - INEN 369 de la Quinta revisión. 2016-11. (Maigualca, 2021)

En el año 2024, Sánchez desarrolló una investigación sobre la influencia de los tubérculos papa (*Solanum tuberosum*) y camote (*Ipomoea batata L.*) en la producción de vodka. El estudio se basó en el potencial del camote como el tercer cultivo más relevante a nivel global en el grupo de raíces y tubérculos, destacando su contenido de almidón del 55%, lo que lo hace ideal para productos fermentativos. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial A×B, donde el Factor A correspondía a la relación camote: almidón de papa, mientras que el Factor B representaba la dilución mezcla: agua. El proceso incluyó análisis fisicoquímicos y sensoriales para evaluar la calidad del producto obtenido. Los resultados mostraron que durante el proceso de hidrólisis y fermentación no existieron cambios significativos en el pH, mientras que la concentración de °Brix presentó un incremento significativo. El tratamiento T6 obtuvo las mejores valoraciones en las categorías sensoriales: color (4.20), aroma (4.05), sabor (3.85), astringencia (4.10) y aceptabilidad (4.50). Además, este tratamiento presentó un contenido de metanol óptimo de 0.69 mg/100 $cm^3$, cumpliendo con los parámetros de seguridad establecidos para bebidas alcohólicas destiladas. La investigación concluyó que la combinación de papa y camote como materias primas es viable para la producción de vodka de calidad, ofreciendo una alternativa innovadora en el aprovechamiento de tubérculos con alto

contenido de almidón para la industria de bebidas alcohólicas destiladas. (Sánchez, 2024)

En el año 2020, Sánchez Aguilera desarrolló una investigación sobre la obtención de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de camote (*Ipomoea batata L.*), reconociendo el potencial de este tubérculo cultivado mundialmente por su raíz tuberosa comestible, pero poco aprovechado en Ecuador. El estudio destacó los grandes beneficios nutricionales del camote en comparación con otros tubérculos, convirtiéndolo en una ventaja competitiva para la comercialización de sus derivados. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial AxB (2×3) con 4 repeticiones y 6 tratamientos. El factor A correspondía a la relación camote: almidón de papa expresada en porcentaje, mientras que el factor B representaba la dilución mezcla: agua. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron grados Brix, pH y contenido de alcohol (% Vol.), además de los atributos sensoriales de color, aroma, sabor, astringencia y aceptabilidad. Los resultados determinaron que el mejor tratamiento fue el T6 (70:30; 25:75) con 35% de preferencia, presentando valores de 9.50% de grados Brix, 4.60 de pH y 83.5% Vol. de contenido de alcohol. El análisis de contenido de metanol arrojó un resultado de 0.69 mg/100cm$^3$, manteniéndose dentro de los valores permitidos por la NTE INEN 369. Adicionalmente, se realizó un análisis comparativo con tres marcas de vodka comerciales existentes en el mercado. La investigación concluyó que el vodka de camote presentó un rendimiento del 36% con respecto al producto final, demostrando la viabilidad técnica del aprovechamiento de este tubérculo como alternativa de industrialización en la producción de bebidas alcohólicas destiladas. (Sánchez, 2020)

En el año 2022, se analizó una investigación del tipo experimental para evaluar la viabilidad de utilizar una combinación de papa Gabriela y zanahoria blanca como materias primas para producir vodka en la empresa Primicia. Se llevaron a cabo tres tratamientos con repeticiones, enfocados en obtener almidón y vodka. El tratamiento T1, que involucró una temperatura de gelatinización de 70°C y una fermentación a 22°C durante 5 días, se destacó como el más favorable en términos de grado alcohólico, contenido de congéneres y características organolépticas. El vodka resultante cumplió con los estándares establecidos en la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 369). Concluyendo que la mezcla de estos tubérculos es una opción viable para la producción de vodka de calidad recomendando realizar investigaciones futuras para explorar diferentes proporciones de almidón y su impacto en la producción del vodka. (MONTERO, 2022)

En el año 2023, Díaz Ruiz desarrolló una investigación sobre el efecto de la concentración de almidón y del tiempo de cocción de la suspensión en la obtención de un destilado alcohólico de yuca (*Manihot esculenta*). El estudio se realizó reconociendo el potencial de la yuca como materia prima para la producción de etanol, especialmente en la región de Jaén donde su producción había aumentado de 381.370 Tm a 390.471 Tm entre enero-abril de los años 2021-2022. Se empleó un diseño factorial de tres niveles con dos factores y tres repeticiones, donde las variables fueron la concentración de almidón (15, 25 y 35%) y el tiempo de cocción de la suspensión (20, 30 y 40 minutos). El proceso incluyó la extracción del almidón de yuca mediante decantaciones sucesivas y secado en estufa a 40°C durante 48 horas, obteniéndose un rendimiento del 15.84%. Se realizó la sacarificación del almidón empleando enzima Mega DS9 (α-amilasa) a 90°C, seguida de fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* durante 7 días. Los resultados demostraron que el tratamiento (40 minutos

de cocción y 35% de concentración de almidón) fue el que obtuvo el mayor contenido alcohólico con 29.62°GL, pH de 3.91 y extracto seco de 0.091. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre tratamientos para el grado alcohólico y pH ($p < 0.05$), mientras que para el extracto seco no se encontraron diferencias significativas. La investigación concluyó que a mayores valores de concentración de almidón y tiempo de cocción se obtuvo mayor grado alcohólico, y que todos los valores se encontraban dentro de lo establecido en la NTP 211.013.2015 Bebidas Alcohólicas Vodka. Adicionalmente, el proceso demostró ser adecuado para obtener un destilado con alto contenido alcohólico en menor tiempo de sacarificación comparado con otros métodos reportados en la literatura. (Díaz, 2023)

**A nivel nacional:** Los cultivos autóctonos andinos, preservados por las comunidades locales, están recobrando relevancia como fuentes de nutrientes y materias primas para el desarrollo de productos derivados, especialmente los tubérculos. Estos productos poseen compuestos valiosos, como el almidón, que pueden tener aplicaciones industriales. En ese contexto, una investigación evaluó el potencial del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) para la producción de etanol, enfocándose en la optimización de la hidrólisis enzimática para generar azúcares fermentables y llevar a cabo una fermentación alcohólica eficiente. Se logró una conversión del 93% de almidón a dextrinas en la etapa de licuefacción, usando α-amilasa al 0.41%, y una tasa de sacarificación superior al 93% con glucoamilasa al 0.75%. Durante la fermentación, se alcanzó una eficiencia del 89% en la conversión de azúcares a etanol utilizando *Saccharomyces cerevisiae* con extracto de levadura como fuente de nitrógeno. Se estimó que por cada 1000 kg de oca pueden obtenerse hasta 30 litros de etanol, útil en la elaboración de bebidas alcohólicas, biocombustibles o productos medicinales. (Rafael, 2024). **A nivel local** no se reportan estudios sobre la obtención de vodka.

## 1.2.Bases teóricas

### 1.2.1. Sachapapa blanca y morada (*Dioscórea trífida*)

La Amazonía peruana destaca como una de las áreas con mayor biodiversidad, entendida como la variedad de ecosistemas y recursos genéticos reflejada en sus especies animales y vegetales. Esta región es notable por su abundancia y diversidad, con alrededor de 6,237 especies entre angiospermas y gimnospermas, lo que representa el 36,3% de la flora fanerógama del Perú. Dentro de esta vasta diversidad, se han identificado 42 especies y 2 variedades de la familia *Dioscoreaceae.*

Desde tiempos antiguos, las plantas han sido utilizadas por el ser humano no solo como fuente de alimento, sino también por sus propiedades curativas, otorgándoles un valor nutracéutico. En distintas culturas, estas especies han sido transmitidas de generación en generación como fitomedicinas dentro de extensas farmacopeas naturales. Entre ellas, el género *Dioscorea* destaca dentro de regiones tropicales, subtropicales y templadas por su importancia económica. En particular, *Dioscorea trifida* L.f., conocida como "sachapapa", es una planta tuberosa valorada especialmente por su variedad de pulpa morada, rica en flavonoides.

Estos compuestos (flavonoides), presentes en la pulpa de *D. trifida* morada, ofrecen beneficios para la salud como acción antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena y cardioprotectora (Samíria de Jesus et al. 2020). La ruta biosintética que produce estos metabolitos ha sido elucidada recientemente en especies del género *Dioscorea*, basándose en análisis de transcriptoma (Dianyun et al., 2022).

A pesar de su potencial nutracéutico, el cultivo de sachapapa no ha alcanzado relevancia socioeconómica significativa, debido a su limitado consumo y escasa comercialización. Esto se atribuye, en parte, a la carencia de investigaciones científicas que fundamenten sus propiedades funcionales. Por ello, en un esfuerzo por llenar este

vacío, un estudio reciente realizó un análisis bromatológico y cuantificación de flavonoides de los cultivares blanco y morado de *D. trifida* procedentes de la región Loreto (Quispe et al., 2015). Se encontró que la variedad morada contiene aproximadamente siete veces más flavonoides que la blanca, descubriendo 19 compuestos diferentes, incluyendo chalconas, flavonoles e isoflavonas (Quispe et al., 2015).




**Figura N°1.** Planta y tubérculo de *dioscórea trífida* (morada y blanca).
Fuente:(MARINHO et al., 2022)

**Tabla 1.** Taxonomía de la *dioscórea trífida* (blanca y morada)

| POSICIÓN SISTEMÁTICA | | POSICIÓN SISTEMÁTICA | |
|---|---|---|---|
| REINO | Plantae | REINO | Vegetal |
| DIVISIÓN | Angiospermae | CLASE | Angiospermae |
| CLASE | Liliopsida | SUBCLASE | Monocotyledoneae |
| ORDEN | Dioscareales | ORDEN | Liliflorae |
| FAMILIA | Dioscoreaceae | FAMILIA | Dioscoreaceae |
| GENERO | Dioscórea | GENERO | Dioscórea |
| ESPECIE | D. Trífida | ESPECIE | Trífida |

Fuente:(Paniagua-Zambrana, Bussmann y Romero 2020)

**Tabla 2.** Análisis bromatológico de los tubérculos de dos cultivares (blanco y morado) de *Dioscorea trifida L*. (sachapapa).

| Componente | Cultivar | |
|---|---|---|
| | Blanco | Morado |
| Humedad (%) | 66,98 ± 2,10 | 71,31 ± 3,05 |
| Cenizas (%) | 0,66 ± 0,14 | 0,46 ± 0,10 |
| Grasas (%) | 0,25 ± 0,05 | 0,87 ± 0,14 |
| Proteínas (%) | 4,29 ± 0,21 | 3,97 ± 0,33 |
| Carbohidratos (%) | 27,82 ± 2,23 | 23,58 ± 1,99 |
| Sólidos totales (%) | 33,02 ± 3,03 | 28,69 ± 2,06 |
| Calorías (kcal) | 130,69 ± 5,45 | 118,03 ± 4,31 |

Fuente: (Samíria de Jesus et al. 2020)

El análisis bromatológico revela que la concentración de componentes químicos en los tubérculos de ambas variedades de *D. trífida* es similar. Los carbohidratos predominan después de la humedad y los sólidos totales, seguidos por las proteínas.

### 1.2.2. Almidón de Sachapapa (*Dioscórea trífida*)

El almidón es un polisacárido que ha cobrado especial importancia en la industria alimentaria debido a su estructura, propiedades y capacidad de transformación. Está compuesto por gránulos microscópicos de forma generalmente esférica u ovalada, cuya morfología permite diferenciar su origen botánico mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica avanzada (Chakraborty et al., 2020). Estos gránulos están formados por dos polímeros de glucosa: la amilosa, una cadena lineal con cierta solubilidad en agua, y la amilopectina, una molécula ramificada insoluble que conforma la mayor parte del almidón (Muñoz y Pérez, 2020).

Ambas estructuras coexisten en proporciones variables según la especie vegetal; por ejemplo, en cereales y tubérculos el almidón puede representar entre el 60 y el 80 % del contenido seco, siendo la amilopectina el componente dominante con más del 70 % en muchas fuentes. Bajo condiciones de luz polarizada, los gránulos exhiben una imagen característica en forma de "Cruz de Malta", atribuida a la organización radial de la amilopectina, responsable de la cristalización de estas estructuras (Chakraborty et al., 2020). Dicha cristalización se clasifica en patrones A, B y C, y se relaciona con las propiedades funcionales del almidón, como la gelatinización y la retrogradación (Muñoz y Pérez, 2020).

Además de su función como fuente energética, el almidón puede someterse a diversos procesos físicos, químicos o enzimáticos que modifican su estructura sin comprometer su valor nutricional. Estos tratamientos permiten generar almidones modificados con aplicaciones específicas como estabilizantes, emulsionantes, espesantes y agentes gelificantes en la industria alimentaria y farmacéutica (Luz et al., 2021)

### 1.2.3. Propiedades funcionales de los almidones modificados y naturales

Según (Sanchez, 2019) explican que los almidones de tubérculos y cereales, que contienen entre 20% y 25% de amilasa, son propensos a la retrogradación, lo que los hace inadecuados como espesantes. Estos almidones generan texturas no deseadas, como granuladas o elásticas. A pesar de esto, se usan en la fabricación de geles alimenticios y "ligas" en confitería, con un contenido de almidón del 10% al 14%. Los almidones con alto contenido de amilosa, o tratados con ácidos, forman geles más firmes rápidamente y son resistentes al calor, lo que los hace útiles para producir películas comestibles, como recubrimientos de píldoras farmacéuticas.

**Tabla 3.** Propiedades funcionales del almidón

| Temperatura | Pasos | Fenómenos observados | Estructura |
|---|---|---|---|
| 20-50/60 °C | Porción | Absorción de agua | Cristalina |
| 50/60 ° C<br>50/60-80 °C | Gelatinización | Temperatura de gelatinización perdida de cruce de birrefringencia<br>Hinchamiento de los granos | coloidal |
| 80-100 °C | | Dispersión y solubilización | |
| 100-60 °C | Gelificación | Reorganización molecular<br>Reorganización molecular | Gel |
| 60-20 °C | Retrogradación | Re cristalización del almidón | Cristalina de la estructura inicial |

Fuente: Espitia et al. (2016)

### 1.2.4. Bebidas alcohólicas

Las bebidas alcohólicas se obtienen a partir de diversas materias primas, como frutas y productos ricos en azúcares. Estas se clasifican en dos grupos principales: las no destiladas, como la cerveza, el vino y la sidra, y las destiladas, como el whisky y el vodka. Un elemento esencial en su elaboración es la fermentación alcohólica, llevado a cabo principalmente por levaduras, en particular cepas de *"Saccharomyces cerevisiae"* o especies relacionadas, que participan en el 96 % de los procesos fermentativos de etanol.

Este proceso convierte los azúcares en etanol siguiendo la reacción química global:

**Glucosa = Etanol + Dióxido de Carbono + Energía.**

**Tabla 4:** Producción de etanol partiendo de diferentes materias primas

| Materia prima | Alcohol (litros) por 100 kg de materia prima |
|---|---|
| Arroz | ≈ 29 L |
| Remolacha | 4,8 – 10,2 L |
| Uvas (vinos) | ≈ 8,1 L |
| Moras | ≈ 5 L |
| Maleza / Biomasa lignocelulósica | ≈ 28,5 L |

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos de etanol dependen del tipo de materia prima y de los procesos de hidrólisis, fermentación y destilación empleados. Estudios recientes indican que el arroz puede generar hasta 29 L de etanol por cada 100 kg de grano procesado (Fernández et al., 2021), mientras que la remolacha produce entre 4,8 y 10,2 L bajo diferentes condiciones de fermentación (Pérez et al., 2020). Por su parte, los vinos derivados de uvas alcanzan un rendimiento aproximado de 8,1 L (Torres et al., 2021), las moras producen alrededor de 5 L (Silva et al., 2022) y la biomasa lignocelulósica, como la maleza, puede llegar a 28,5 L de etanol por cada 100 kg de material seco (Zhang et al., 2023).

### 1.2.5. Vodka

El vodka es una bebida alcohólica elaborada a partir de la mezcla de alcohol etílico rectificado y agua, utilizando materias primas naturales como granos, trigo, papa o melaza, que son ricos en almidón. Tradicionalmente, se destilaba de centeno o trigo, siendo estos los más comunes, aunque actualmente también se pueden usar otros ingredientes como la papa. El proceso de producción involucra la hidratación del alcohol etílico o su tratamiento con carbón activado para eliminar los sabores y aromas característicos de las materias primas, de modo que el producto final sea neutro en cuanto a sus propiedades sensoriales. Mientras que los vodkas rusos solían tener una graduación alcohólica del 40%, los polacos llegaban a hasta 45° grados. Hoy en día, la graduación habitual del vodka es de 40°GL. Además, investigaciones recientes han

explorado el uso de cultivos andinos como la oca y la papa china para la producción de vodka, destacando que, aunque presentan características sensoriales favorables, los costos de producción derivados del bajo rendimiento en almidón y el consumo elevado de materias primas limitan su viabilidad comercial. (Herrera S. , 2019)

### 1.2.6. Tipos de vodka

#### 1.2.6.1. El vodka neutro

El **vodka neutro**, originario de Rusia y Polonia, se destaca por su altísimo grado de pureza, al estar compuesto prácticamente en su totalidad por etanol de alta concentración. Según lo establecido por agencias reguladoras en EE.UU. y la UE, debe alcanzar un mínimo de **95–96 % de alcohol en destilación**, seguido de la dilución al **40 % ABV** para su comercialización (Brian, 2024).

Históricamente en Rusia, esta bebida se ha clasificado en tres categorías según su concentración alcohólica: de calidad estándar, aquellas con **más de 50 % ABV**, denominadas “fuertes”, y las destinadas a **exportación**. En Estados Unidos, donde el vodka neutro carece de aromas distintivos, los fabricantes han recurrido a estrategias como variaciones en el grado alcohólico, el branding y la fijación de precios para diferenciar sus productos y atraer a consumidores que valoran la neutralidad como atributo clave (Brian, 2024).

Este enfoque responde a una demanda en mercados internacionales donde la ausencia de sabores añadidos es una cualidad valorada, ya que permite al vodka desempeñarse de forma versátil tanto en coctelería como para consumo individual.

#### 1.2.6.2. El vodka con sabores

En las últimas décadas, la industria del vodka ha experimentado una profunda transformación con la introducción de vodkas saborizados, empleando tanto ingredientes naturales como artificiales para satisfacer las tendencias globales de consumo (EssFeed, 2025). En sus países de origen, Rusia y Polonia, ya se destacaban variantes aromatizadas tradicionales como Limonnaya, Kubanskaya, Pertsovka, Okhotnichya o Hunter, elaboradas con esencias de limón, pimienta o hierbas (IWSR, 2023).

Este renovado interés se ha traducido en un auge del vodka saborizado en el mercado internacional. Según un informe de EssFeed, (2025), la línea de sabores frutales, especiados y botánicos es la que impulsa la innovación en el sector, alcanzando una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4.6 % y proyectándose un crecimiento constante hasta 2032 (Allied Market Research, 2024). Otro análisis de Food & Wine, (2023) confirma que las marcas más prestigiosas como Absolut, Smirnoff o Ketel One están destacando por sus lanzamientos con infusiones reales y perfiles botánicos pensados para coctelería sofisticada.

El éxito de los vodkas saborizados radica en su capacidad para ofrecer diferenciación por sabor, manteniendo la base alcohólica neutra y adaptándose a consumidores que buscan experiencias novedosas. Al mismo tiempo, estas bebidas conservan un perfil versátil apto para cocktails, posicionándose como una categoría de destilados de alta demanda y gran innovación (IWSR, 2023).

### 1.2.7. Producción del vodka

El proceso moderno de producción de vodka inicia con la fermentación de cereales, papas u otros sustratos ricos en almidón tras mezclarlos con agua y enzimas que gelatinizan los granos y convierten el almidón en azúcares fermentables (Chakraborty et al., 2020). Primero, los ingredientes (trigo, centeno, papas) se muelen, se mezclan con agua caliente y se añade α-amilasa y glucoamilasa para la liquefacción y sacarificación, generando un mosto adecuado para la fermentación (Chakraborty et al., 2020; FeleneVodka, 2025).

A este mosto se añade levadura, generalmente *Saccharomyces cerevisiae*, iniciándose una fermentación de 6–8 días que produce una lavadura con aproximadamente 8–10 % de etanol (FeleneVodka, 2025; MDPI, 2022). Tras ello, el líquido fermentado (wash) pasa por destilación continua en columnas doble —analizador y rectificador— alcanzando concentraciones de alcohol del 95–96 % (FeleneVodka, 2025).

La separación incluye fases de “cabezas” (metanol), “corazón” (etanol) y “colas” (fusenoles). El etanol fluye hacia el rectificador, mientras que los contaminantes se retienen en las secciones bajas (Maison du Whisky, 2025).

Luego se ajusta el contenido alcohólico a 37.5–40 % ABV mediante la adición de agua destilada o desmineralizada, y se purifica por filtración con carbón activado, frecuentemente de abedul en Rusia, que adsorbe fusenoles y compuestos aromáticos sin alterar significativamente el etanol (Spirits & Distilling, 2025; Maison du Whisky, 2025; FeleneVodka, 2025). El carbón pierde eficacia al saturarse, por lo cual se controla el caudal y renovación del mismo (Spirits & Distilling, 2025).

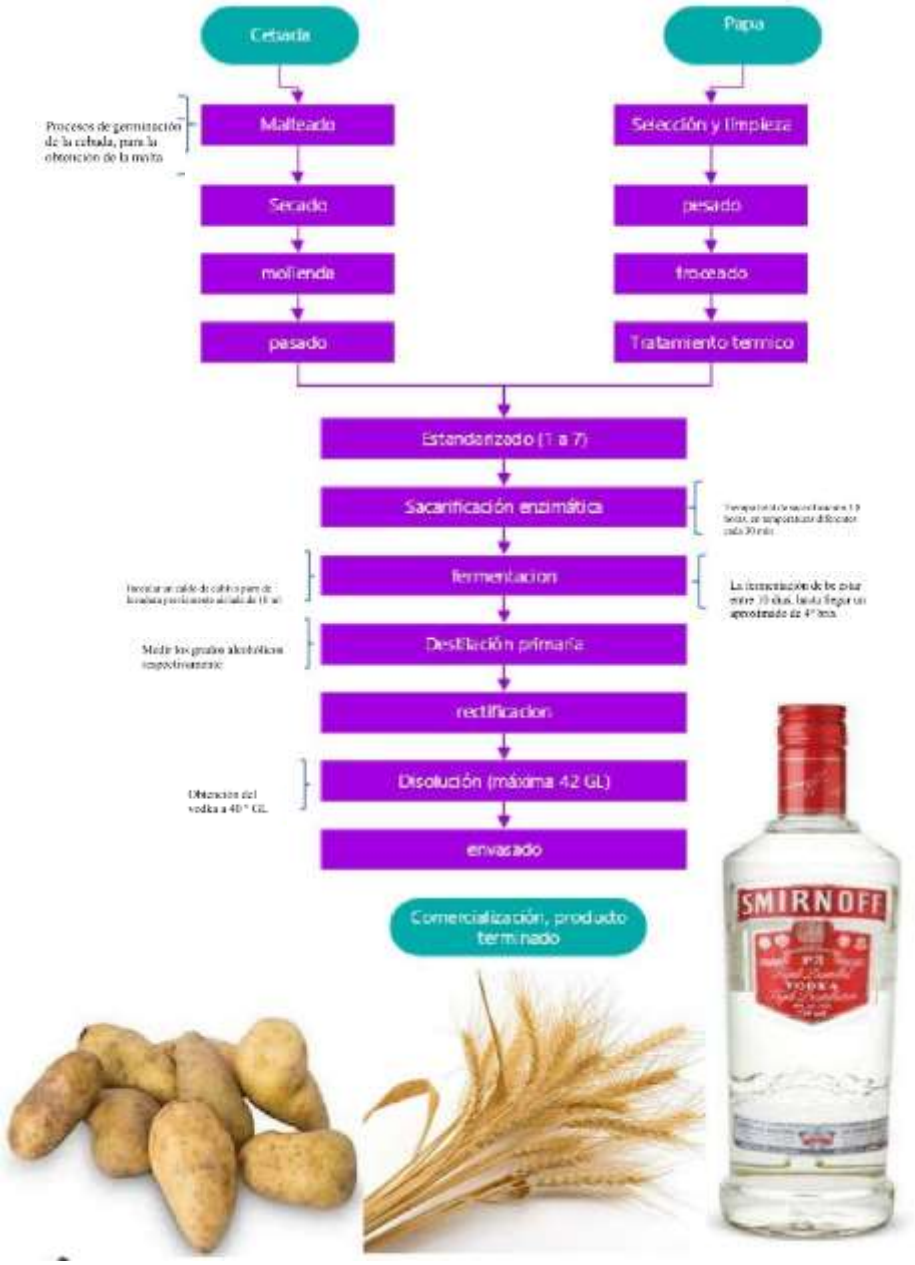



**Diagrama de bloques de la producción del vodka**

**Figura N°2.** Diagrama de flujo del vodka de la papa nativa
Fuente: (Vanessa, [ca. 2020])

#### 1.2.7.1.Extracción del almidón

En la industria alimentaria, las principales fuentes de almidón provienen de los cereales (como maíz, trigo, arroz y sorgo) y los tubérculos (como la papa y la mandioca). Cada tipo de almidón presenta características particulares, que se deben a la forma y el tamaño de sus gránulos, así como a la proporción de amilosa y amilopectina que contienen. Estos factores influyen en sus propiedades físicas, además del proceso que se utilice para su obtención. (Jiménez-Martínez et al., 2024)

El objetivo del proceso de extracción es obtener un almidón con un alto grado de pureza, lo que implica minimizar los niveles de proteínas, lípidos, ceniza y fibra. El método específico de extracción varía según la fuente de almidón, pero debe evitar cualquier daño mecánico o alteración de los gránulos (Kovač et al., 2024). En el caso de la papa, los gránulos de almidón están presentes en las vacuolas celulares y su separación es relativamente sencilla. El proceso comienza con la trituración del material vegetal, seguida de la extracción de los gránulos mediante un flujo de agua, para luego sedimentarlos de la suspensión (conocida como leche de almidón) y secarlos (Jiménez-Martínez et al., 2024). Los pasos principales en la extracción incluyen el lavado del tubérculo, la desintegración y la centrifugación. Para evitar el pardeamiento del tubérculo, se realiza un remojo en una solución de bisulfito de sodio a pH controlado. La desintegración y centrifugación ayudan a separar el almidón de otros componentes. Los gránulos de almidón están distribuidos de manera desigual en las paredes celulares de los tubérculos y se pueden liberar mediante la ruptura de estas paredes. Esto se logra durante el proceso de desintegración de los tubérculos, usando un tambor cilíndrico con hojas de sierra rotativas o un extractor de jugo en escalas más pequeñas. Finalmente, el almidón puede ser purificado a través de técnicas como el

lavado, sedimentación y centrifugación. ( Jiménez-Martínez et al., 2024;Ferrari y Ferrari 2024)

#### 1.2.7.2. Gelatinización del almidón

La gelatinización del almidón es un proceso térmico-iónico en el cual los gránulos, inicialmente insolubles en agua fría debido a su estructura semi-cristalina, comienzan a absorber agua al calentarse entre 60 y 70 °C (Liu et al., 2023). Durante esta fase, los gránulos se hinchan, lo que provoca un aumento gradual de volumen y ruptura del orden molecular; esta ruptura se evidencia con la pérdida de birrefringencia al examinarse bajo luz polarizada (Liu et al., 2023).

A medida que continúa el calentamiento, las zonas cristalinas constituidas por dobles hélices, principalmente de amilopectina, se desorganizan, y la liberación de amilosa produce una solución coloidal (Liu et al., 2023; EssFeed, 2024). Este proceso implica una transición de orden a desorden, característica de la gelatinización. El grado de hinchamiento y temperatura exacta del proceso varía según la fuente del almidón, su contenido de humedad y la proporción amilosa/amilopectina (Liu et al., 2023; Felene, 2022).

Si se prolonga la aplicación de calor, se produce la ruptura parcial de amilosa y amilopectina, generando una pasta o gel en la cual la amilosa liberada rodea los fragmentos de gránulos intactos (Liu et al., 2023; EssFeed, 2024). La temperatura de inicio ($T_0$), temperatura pico ($T_p$) y rango de gelatinización dependen del tipo de almidón, de su contenido de agua y de aditivos presentes (Liu et al., 2023).

### 1.2.8. Hidrolisis Enzimática

Para producir jarabe de glucosa, que luego puede fermentar a etanol con levaduras, es esencial descomponer las cadenas de almidón. Este proceso inicia con una etapa de licuefacción, empleando α-amilasa para romper los gránulos en cadenas más cortas o dextrinas. Esta enzima funciona óptimamente a temperaturas entre 60 °C y 70 °C (Qin et al., 2024; Acosta-Pavas et al., 2020), lo que coincide con la fase de calentamiento del almidón.

### 1.2.9. Efecto del pH en la hidrolisis enzimática

El pH, indicador de la concentración de iones $H^+$, influye de forma crítica en la actividad enzimática. Las enzimas poseen un rango de pH en el cual su actividad alcanza su máximo, conocido como pH óptimo, y cualquier desviación de ese valor reduce significativamente su eficacia. Esto se debe a que el exceso o defecto de protones altera las cargas de aminoácidos en el sitio activo, modificando su estructura y capacidad catalítica (Zhang et al., 2021). Además, causas relacionadas con la ionización de residuos activos afectan su unión al sustrato (Patel & Joshi, 2022).

### 1.2.10. Efecto de la temperatura - Hidrolisis enzimática

Las enzimas, al ser proteínas, son termosensibles: por debajo de su temperatura óptima, su actividad disminuye por una reducción en la energía cinética, sin dañar la estructura proteica. Sin embargo, si se supera un umbral térmico, se produce la desnaturalización—la proteína pierde su estructura tridimensional y, por ende, su funcionalidad (Kim et al., 2023). Tras este umbral, la actividad enzimática cae de forma irreversible (Lee y Park, 2024).

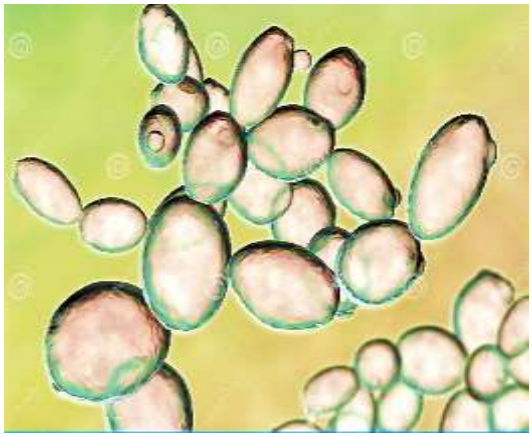


**Figura N°3.** Levadura Saccharomyces Cerevisiae
Fuente:(KATERYNA, 2020)

### 1.2.11. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es una forma de respiración anaeróbica que se atribuye a ciertos microorganismos como hongos y bacterias. Los productos resultantes de la fermentación varían según el sustrato, el tipo de microorganismo y otros factores del proceso. Se condiciona el sustrato a una temperatura de 28 a 32 °C y después de añadir la levadura, la fermentación toma aproximadamente 68 a 72 horas. Durante este proceso se libera dióxido de carbono ($CO_2$), por lo que se recomienda un cierre mecánico en los tanques de fermentación. Algunos de los productos conocidos de la fermentación incluyen alcohol etílico, ácido láctico, ácido butírico, ácido cítrico y ácido acético. El tipo de fermentación se nombra según el producto obtenido. (ALlcívar, 2017)

La fermentación alcohólica es un proceso biológico que descompone los azúcares en alcohol y dióxido de carbono. Esta transformación se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

### 1.2.12. Condiciones para la fermentación alcohólica

Según (Alcívar, 2017). Para que la fermentación alcohólica ocurra en condiciones óptimas, se deben tener en cuenta varios factores:

Cultivo iniciador: en el caso de las levaduras liofilizadas, "1 gramo de levaduras desecadas contiene entre 10 y 30 millones de células mayormente viables, por lo que se recomienda agregar entre 15 y 20 gramos por hectolitro de mosto."

PH del mosto: la fermentación progresa adecuadamente cuando el pH del mosto se ajusta entre 4 y 4.5. Este rango favorece la actividad de las levaduras y es lo suficientemente bajo como para inhibir el crecimiento de muchas bacterias.

Cantidad de oxígeno: Aunque la producción de alcohol no requiere oxígeno, durante las primeras etapas de la fermentación, es necesario contar con una cantidad adecuada de oxígeno para facilitar la reproducción de las células de levadura en condiciones óptimas. Posteriormente, el CO2 comienza a liberarse y se establecen condiciones anaeróbicas.

Temperatura: la temperatura influye de manera compleja en la fermentación alcohólica. Variaciones de temperatura dentro del rango de 30 a 35 °C afectan negativamente la tasa de crecimiento de las levaduras, con un óptimo situado alrededor de los 30 °C. Si la temperatura excede estos límites, puede inducir la mortalidad de las levaduras debido al calor.




**Figura N°4.** Fermentación alcohólica por acción de las levaduras

### 1.2.13. Destilación

La destilación es un proceso básico de separación que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles se vaporicen, y luego condensar esos vapores en un condensador para recuperar el líquido (Spaho et al., 2025). El principio sigue siendo el mismo dese civilizaciones antiguas: separar sustancias según sus diferentes puntos de ebullición para obtener el componente de mayor volatilidad en estado casi puro (Spaho et al., 2025).

Este procedimiento implica dos etapas físicas fundamentales:

1. Evaporación: las moléculas con menor punto de ebullición alcanzan la fase de vapor primero.
2. Condensación: mediante enfriamiento, los componentes se recuperan en forma líquida (Spaho et al., 2025).

A pesar de los avances técnicos como la destilación continua y la mejora en columnas de pliegues y reflujo, el objetivo permanece —obtener el destilado más puro posible a través de una selección progresiva de compuestos volátiles (Spaho et al., 2025; Beverage-Master, 2024).

#### 1.2.13.1. Tipos de destilación

**a. Destilación simple**

La destilación simple es un método de separación en el cual se calienta una mezcla líquida hasta que el componente con el punto de ebullición más bajo se vaporiza. A continuación, el vapor se condensa en un sistema de enfriamiento, recuperando en forma líquida el componente deseado, lo que permite su purificación (Luna Technologies, 2023). Este procedimiento es ampliamente utilizado en laboratorios y en la industria farmacéutica para purificar líquidos o separar solventes cuando los puntos de ebullición difieren en más de unos 25–30 °C (Chem Wiki, 2025). Sin embargo, su eficiencia decrece cuando los puntos de ebullición son cercanos, lo que limita su uso en mezclas complejas (Distillique, 2021; Luna Technologies, 2023).

**b. Destilación fraccionada**

La destilación fraccionada es empleada cuando los componentes de una mezcla presentan puntos de ebullición cercanos (diferencias menores a ~25–30 °C). Al calentar la mezcla, el vapor inicial contiene mayor proporción del compuesto más volátil. Este vapor asciende por una columna de fraccionamiento, donde ocurre una serie de ciclos de condensación y reevaporación, aumentando la pureza de las fracciones superiores (Chem Wiki, 2025; Luna Technologies, 2023). Esto permite separar componentes con volatilidades similares de manera eficiente en una sola corrida (ScienceDirect, 2022). Su uso es común en la refinación de petróleo, producción de bebidas alcohólicas y procesos químicos que requieren alta precisión (ScienceDirect, 2022; Distillique, 2021).

## 1.3. Definición de términos básicos

### 1.3.1. Análisis sensorial

El análisis sensorial es hoy una disciplina científica que aplica métodos estandarizados (ISO, UNE, DIN) para evaluar productos de forma objetiva y reproducible. La clave está en definir claramente los atributos a evaluar y seguir protocolos estructurados, como pruebas discriminativas (triangular, pareado) o descriptivas (perfil) (Smith et al., 2024; Zhao y Miller, 2023).

### 1.3.2. α-amilasa

La α-amilasa es una enzima clave en la hidrólisis del almidón, produciendo dextrinas y azúcares fermentables como maltosa y glucosa (Li et al., 2022). Su rol fundamental se encuentra en la fase de licuefacción del proceso de producción de vodka, donde transforma el almidón en azúcares susceptibles de ser convertidos en etanol (Qin et al., 2024). Además, versiones microbianas termo-estables de α-amilasa operan óptimamente entre 60-70 °C y pH 4-7, ofreciendo alta eficiencia en procesos industriales continuos (Miłek y Lamkiewicz, 2022).

### 1.3.3. Levadura

Las **levaduras**, como *Saccharomyces cerevisiae*, no solo están presentes en fermentaciones de pan, vino y cerveza, sino que también forman parte del microbioma de plantas, animales e incluso la piel humana y frutas (Patel et al., 2021). Son microorganismos fundamentales en múltiples industrias: desde alimentos y bebidas hasta producción de enzimas y bioterapéutica (García-Ruiz y Seoane-Bueno, 2024). Además, se emplean como modelos en investigación médica para enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson, e incluso en estudios oncológicos (Kim et al., 2023). Su versatilidad explora aplicaciones más allá del consumo

tradicional, subrayando la necesidad de ampliar su conocimiento funcional e impacto biotecnológico.

### 1.3.4. Temperatura de reacción

La **temperatura** durante reacciones enzimáticas es un factor crucial que afecta su eficacia. A temperaturas bajas, la actividad enzimática disminuye debido a la menor energía cinética, aunque no sufren daño estructural. En cambio, temperaturas elevadas pueden inducir la **desnaturalización** irreparable de la enzima, alterando su estructura tridimensional y eliminando su capacidad catalítica (Smith et al., 2022). Las enzimas microbianas habituales, como amilasas y proteasas, presentan su actividad óptima entre **50 y 70 °C**, pero pueden inactivarse completamente a temperaturas superiores a **80 °C**, dependiendo de su origen y estabilidad térmica (Lee y Johnson, 2023).

### 1.3.5. Mosto

El **mosto** es una solución líquida rica en azúcares fermentables y dextrinas, obtenida mediante el proceso de **maceración**: los granos molidos se mezclan con agua y se calientan para gelatinizar el almidón y extraer sus componentes solubles (Foster, 2024). En la producción de vodka, este mosto es esencial porque aporta los azúcares necesarios para que la **levadura** (generalmente *Saccharomyces cerevisiae*) convierta dichos azúcares en etanol durante la fermentación, determinando así gran parte de la graduación alcohólica final del destilado (MDPI, 2022; Foster, 2024).

### 1.3.6. Malta de cebada

La maltación de cebada consiste en remojar los granos en agua para iniciar la germinación y, luego, detenerla mediante secado o tostado. Durante la germinación se activan las enzimas endógenas (α-amilasa, β-amilasa, proteasas, glucanasas), que degradan proteínas, polisacáridos y paredes celulares, facilitando el acceso al almidón

(Ithy, 2025). Este grado de modificación se ajusta según estándares de la industria (EssFeed, 2024).

Posteriormente, la malta “verde” se seca y tuesta a distintas temperaturas para desarrollar color y sabor. Diferentes niveles de tostado dan notas a pan, caramelo o café, según el tiempo y la temperatura de kilning (Food & Wine, 2023). En la producción de vodka, aunque la malta no es siempre la fuente principal de almidón, aporta enzimas esenciales para la fermentación y enriquece el perfil aromático del destilado (Home Distiller, 2022; IWSR, 2023).

### 1.3.7. Azucares Reductores

Los azúcares reductores son aquellos que contienen un grupo funcional capaz de reducir reactivos químicos, y son fundamentales para la fermentación alcohólica. En condiciones óptimas, un mosto con una concentración de azúcares del 10–22 % favorece la máxima actividad de la levadura. Concentraciones superiores provocan una alta presión osmótica que induce plasmólisis, dañando las células de *Saccharomyces cerevisiae* (Li et al., 2022). Estudios recientes muestran que cuando el mosto supera 22 % de azúcares, bajan tanto la viabilidad de la levadura como el rendimiento etanólico (Beigbeder et al., 2021).

### 1.3.8. Maceración

La maceración es la etapa inicial que extrae azúcares fermentables del grano. En esta fase, los granos molidos se mezclan con agua y se mantienen a temperaturas óptimas de 62–72 °C para gelatinizar el almidón, facilitando su posterior degradación por enzimas (Wang y Zhao, 2023). Este proceso establece el perfil de azúcares presentes en el mosto y favorece un buen rendimiento fermentativo.

### *1.3.9. Saccharomyces Cerevisiae*

La levadura *Saccharomyces cerevisiae*, ampliamente usada en fermentaciones de alta y baja, presenta colonias cremosas, húmedas y levemente viscosas. Es capaz de metabolizar azúcares como galactosa, sacarosa, maltosa y rafinosa, aunque no nitratos (Sheltzer et al., 2024). Es reconocida por su alta tolerancia a etanol, altas concentraciones de azúcares y su reconocimiento GRAS por la FDA, lo que la convierte en un microorganismo ideal para procesos fermentativos industriales (MDPI, 2021).

### 1.3.10. Enzimas

Las enzimas son proteínas globulares de alta eficacia como catalizadores biológicos: aceleran las reacciones químicas sin consumirse, sin modificar el equilibrio y sin permitir reacciones no viables energéticamente (Chem LibreTexts, 2024). Su estructura plegada, compuesta por múltiples cadenas polipeptídicas, forma un sitio activo específico donde se une el sustrato.

Actualmente se sabe que las enzimas combinan rigidez y flexibilidad: ofrecen un entorno estructural adecuado, pero también se adaptan dinámicamente a lo largo de la reacción, lo que mejora la eficacia catalítica y puede incrementar la velocidad en hasta $10^{17}$ veces (Agarwal, 2020; Scrutton, 2023).

# CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

## 2.1. Formulación de la hipótesis.

Los parámetros; almidón: malta de cebada (pilsner malt) y tiempo de hidrólisis enzimática influyen significativamente en el rendimiento de azúcares fermentables, viabilizando la producción de vodka a partir de sachapapa (*Dioscórea trífida*)

## 2.2. Variables y su operacionalización

### 2.2.1 Variables

- **Variable Independiente**

  X1: Proporción almidón *Dioscórea trífida*: cebada malteada

  X2: Tiempo de hidrolisis

- **Variable Dependiente:**

  Y1: Rendimiento en azucares reductores

- **Variables intervinientes:**

  Temperatura de hidrolisis: 68°C

  PH de la hidrolisis: 4.5

## Cuadro de operacionalización de variables

| Variable | Definición | Tipo por naturaleza | Indicador | Escala de medición | Categorías | Valores de las categorías | Medio de verificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Independientes**:<br><br>Proporción almidón: cebada malteada (pilsner malt) | Cantidad de almidón usados por cada cantidad de malta de cebada (pilsner malt) | Cuantitativa | Gramos almidón/gramos de cebada malteada (pilsner malt) | Razón | -Gramos almidón:Gramos de cebada malteada 8pilsner malt) | P1=20:15<br>P2=25:15<br>P3=30:15 | Cuaderno de laboratorio |
| Tiempo de hidrolisis | Magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos | | Unidad del tiempo en minutos | Razón | Valores en minutos que dura la reacción | T1= 60<br>T2= 75<br>T3= 90 | Cuaderno de laboratorio |
| **Dependiente:**<br><br>- Rendimiento en azucares fermentables | Cantidad de azucares disuelta en un líquido. | Cuantitativa | Grados Brix. | Razón | Grado Brix | 0 - 35 | Cuaderno de laboratorio |

**Fuente: Elaboración propia**

Volumen de agua: 375 ml.

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

## 3.1. Tipo y diseño

La investigación es del tipo experimental y de enfoque cuantitativo, con un nivel explicativo. El diseño experimental empleado es factorial $3^2$ (dos factores, cada uno con tres niveles) con tres réplicas por cada combinación. Esto resulta en un total de 27 experimentos (3×3×3=27).

Los factores y sus niveles, así como los parámetros intervinientes, se detallan a continuación:

**Tabla 5.** Niveles de los factores de estudio y de los parámetros intervinientes

| Factores | Símbolo | Niveles |
|---|---|---|
| Proporción de almidón: cebada malteada pilsner malt (gramo almidón /gramo cebado malteada) | P | P1=20:15<br>P2=25:15<br>P3=30:15 |
| Tiempo de reacción (minutos) | T | T1=60<br>T2=75<br>T3=90 |

- Parámetros constantes: La temperatura de hidrólisis se mantuvo a 68°C, el pH a 4.5, y el volumen de agua de dilución en 375mL.
- Matriz de experimentos: Se utilizó una matriz de diseño experimental para organizar las combinaciones de los factores, como se muestra en la Tabla 6. La combinación de los 9 ensayos con sus tres réplicas conforma los 27 experimentos.

**Tabla 6.** Matriz de planteamiento de experimentos

| Ensayos | P | T |
|---|---|---|
| 1 | 20:15 | 60 |
| 2 | 25:15 | 60 |
| 3 | 30:15 | 60 |
| 4 | 20:15 | 75 |
| 5 | 25:15 | 75 |
| 6 | 30:15 | 75 |
| 7 | 20:15 | 90 |
| 8 | 25:15 | 90 |
| 9 | 30:15 | 90 |

## 3.2. Diseño muestral

- **Población de estudio**

La población de estudio estuvo conformada por la sachapapa (*dioscórea trífida*), proveniente de los campos del pueblo de Santa Rita, está ubicado en el distrito de Iquitos, Provincia de Maynas, en la región Loreto.

- **Tamaño de la población de estudio**

El tamaño de la población (tamaño de muestra), fue de 30kg de Sachapapa (*dioscórea trífida*).

- **Muestreo o selección de la muestra**

La muestra de Sachapapa (*Dioscórea Trífida*) procedentes de cultivos de la localidad de Santa Rita, fue seleccionada de acuerdo al criterio del investigador, teniendo en cuenta que la muestra, no presente ningún tipo de deterioro, por lo que se excluyeron las sachapapas que están en mal estado (picado, aplastado, estado de descomposición).

## 3.3. Procedimiento de recolección de datos

Las técnicas para la recolección de los datos estuvieron divididas en dos etapas:

### 3.3.1. Recolección y preparación de la muestra

- **Extracción del almidón *Dioscórea Trífida*.**

La Sachapapa cosechada en el pueblo de Santa Rita fue recibida y trasladada al Laboratorio de Química Orgánica – UNAP. En donde se lavó y se secó para eliminar impurezas. El proceso de extracción del almidón, se muestra mediante un diagrama de flujo en la figura N°5. El proceso incluyó: recepción, clasificación, pesado, limpieza y pelado, pesado, troceado, licuado y cernido, sedimentación y secado en estufa a 80 °C durante 8 horas, hasta obtener el almidón seco.

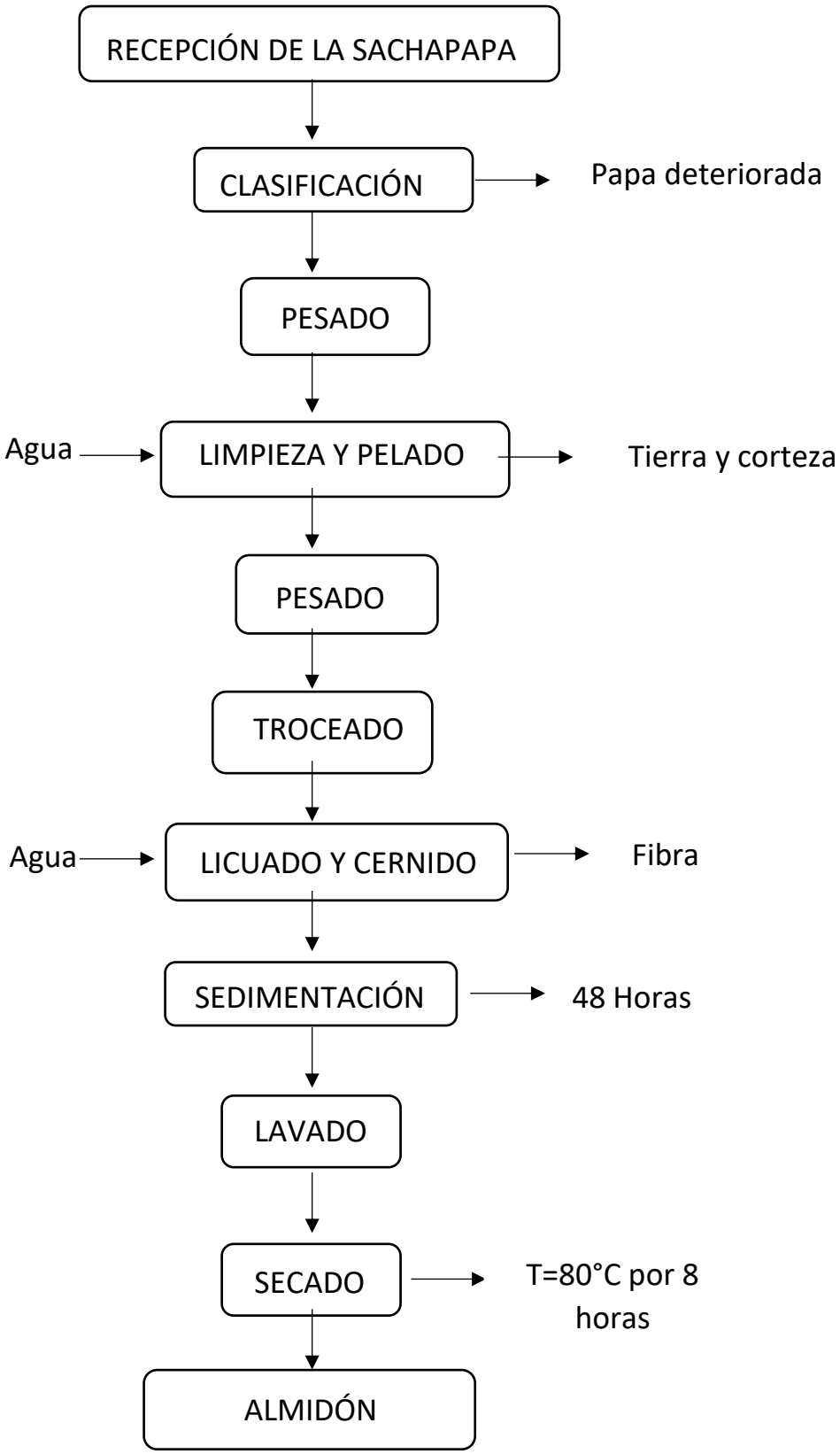



**Figura N°5.** Diagrama del Proceso de extracción del almidón de la sachapapa

Para el cálculo de rendimiento se usó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{PA}{PP} \times 100$$

Donde:

PA= Peso del Almidón

PP= Peso de la Sachapapa

- **Análisis bromatológico del almidón de *Dioscórea Trífida***

Se determinaron las características fisicoquímicas del almidón de *Dioscorea trifida* mediante métodos estándar de laboratorio, como se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7.** El análisis bromatológico se realizó en el laboratorio de análisis industriales, en donde se evaluaron las siguientes características

| Características: | Método ensayo |
|---|---|
| Humedad | Estufa |
| Ceniza | Mufla |
| Grasa | Soxhlet |
| Fibra | Acido-Básico |
| Proteína | Kjeldahl |
| Carbohidratos | Fehling |

**3.3.2.** Optimización de la Hidrólisis Enzimática del almidón de *Dioscórea Trífida*.

El proceso de hidrólisis se realizó en un sistema batch, usando como reactor un vaso de precipitado de 1000 mL, una plancha con control de temperatura para la calefacción y un termómetro de mercurio para monitorear la reacción, se tuvo en consideración los parámetros establecidos según el diseño experimental como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Parámetros establecidos para la hidrólisis enzimática en cada ensayo según el diseño experimental.

| Ensayo | Almidón | Malata | Volumen de agua | pH | Temperatura | Tiempo de hidrolisis |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (gr) | (gr) | (mL) | | (°C) | (min) |
| 1 | 20 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 60 |
| 2 | 25 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 60 |
| 3 | 30 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 60 |
| 4 | 20 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 75 |
| 5 | 25 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 75 |
| 6 | 30 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 75 |
| 7 | 20 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 90 |
| 8 | 25 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 90 |
| 9 | 30 | 15 | 375 | 4.5 | 68 | 90 |

- El almidón extraído se mezcló con agua destilada hasta obtener una solución homogénea, evitando la formación de grumos.
- Luego se procedió a regular el pH con adición de ácido cítrico hasta obtener un valor de 4,5.
- La mezcla se calentó a 80°C para gelatinizar el almidón.
- Una vez gelatinizada, la temperatura se ajustó a 68°C. Se añadió 6 g de α-amilasa y la cebada malteada.
- El progreso de la hidrólisis se monitoreó con la prueba del yodo cada 30 minutos para verificar la conversión del almidón. La hidrólisis se detuvo al concluir el tiempo estimado para cada ensayo.
- Transcurrido el tiempo estimado de la hidrolisis se procederá a subir la temperatura hasta 100 grados centígrados para realizar la cocción del jugo

azucarado obtenido y convertir los almidones no hidrolizados en azucares más pequeños

- Al finalizar cada ensayo, se determinó la cantidad de azúcares fermentables con un densímetro hidrométrico, expresado el valor en grados brix.

### 3.3.3. Producción del Vodka

- **Obtención del mosto:** El ensayo que mostró la mayor producción de azúcares reductores en la optimización de la hidrolisis fue seleccionado y replicado aumentando las cantidades en cuatro veces, para obtener el mosto utilizado en la producción de vodka a escala de laboratorio.

- **Ajuste del mosto:** Los grados Brix se llevaron a 21°Brix añadiendo azúcar blanca. El valor de ° Brix obtenido en la hidrolisis se ajustó agregando azúcar blanca para hasta un valor de 21 Brix. La cantidad de azúcar se determinó mediante un balance de masa usando la siguiente ecuación.

$$P1* C1 + P2 * C2 = PT * CT$$

P= peso del mosto
C= concentración del mosto

- **Activación de la levadura**: Se realizó disolviendo la levadura (3g) en 25 ml de mosto (30 °C) y se dejó reposar por 15 minutos.
- **Fermentación:** Se adicionaron las levaduras al mosto y se transfirió a una botella ámbar de 3000 ml de capacidad, en donde se realizó la fermentación alcohólica, a una temperatura ambiente 30°C aproximadamente, en la boquilla se colocó una trampa de aire para facilitar la salida del $CO_2$. Por un periodo de 7 días tiempo en que el proceso fermentativo se detuvo.
- **Trasvase:** Terminado el proceso de fermentación se procedió a trasvasar el mosto a otro recipiente con el fin de eliminar los sedimentos.
- **Destilación:** El mosto se destiló en un equipo de laboratorio utilizando una columna fraccionada para rectificar la temperatura del destilado, aproximadamente a 75 °C, y se realizó una doble destilación para obtener un mayor grado alcohólico.

- **Dilución:** una vez obtenido el alcohol destilado se diluyo el alcohol hasta obtener un grado alcohólico de 40 °GL, empleando la siguiente formula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

- **Embotellado:** Luego de haber destilado la bebida alcohólica se envaso en botellas de vidrio de 25 mL.

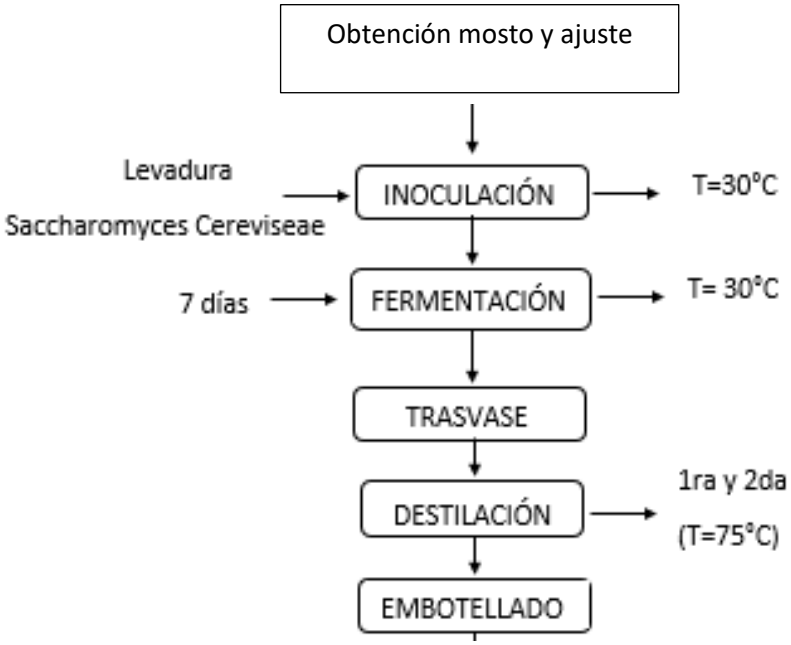



**Figura N°6.** Proceso de obtención del vodka de la sachapapa (diagrama)

- **Determinación de Calidad del vodka.**

Se realizaron análisis de calidad del vodka en un laboratorio acreditado, según las normas técnicas peruanas (NTP) para furfural, metanol y ésteres.como se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Parámetros de calidad del vodka obtenido según las normas técnicas peruanas.

| PARAMETRO | UNIDADES | REFERENCIA O NORMA |
|---|---|---|
| Furfural | mg/100 ml | NTP 210.025:2019 |
| Metanol como metanol | mg/100 ml | NTP 210.022:2019 |
| Esteres como acetato de etilo | mg/100 ml | NTP 211,035:2003 |

- **Análisis Sensorial**: Se condujo un análisis sensorial descriptivo con un panel de 26 panelista degustadores entrenados. El proceso se dividió en dos etapas: una para la identificación de características iniciales y otra para una evaluación detallada utilizando una ficha valorativa.

### 3.4. Materiales Equipos y Reactivos

**Materiales**

- Vasos de precipitado 2L
- Embudos Medianos
- Botellas Ámbar
- Trampas de aire
- Soporte universal
- Probetas de 100 mL.
- Papel de filtro

**Reactivos y Equipos de laboratorio**

- Ácido cítrico
- Agua destilada
- Termómetro
- Alcoholímetro
- Densímetro
- Balanza analítica
- Estufa
- Equipo de destilación fraccionada
- Cocina Eléctrica

**Insumos**

- Enzima (α- amilasa)
- Levadura (*saccharomyces cerevisiae*)
- Almidón de sachapapa

### 3.5.Procesamiento y análisis de datos

Los datos experimentales se procesaron mediante estadística descriptiva (tablas y gráficos). Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los factores en la producción de azúcares reductores. La prueba de Tukey se aplicó para comparar las medias entre los diferentes ensayos y determinar diferencias significativas. El análisis estadístico se realizó con el software Minitab 19.

### 3.6.Aspectos éticos

El trabajo no se realizará experimentos con seres humanos ni animales por lo que no se considera este punto.

# CAPITULO IV: RESULTADOS

## 4.1. Extracción del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*).

**Tabla 10.** Rendimiento promedio obtenido de la extracción del almidón

| Ensayo | Papa pelada (g) | Almidón (g) | Rendimiento (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 7055 | 910 | 12.90 |
| 2 | 5220 | 650 | 12.45 |
| 3 | 5380 | 580 | 10.78 |
| 4 | 4200 | 520 | 12.38 |
| 5 | 2937.5 | 360.5 | 12.27 |
| 6 | 2500 | 350 | 14.00 |
| 7 | 1500.5 | 220 | 14.66 |
| 8 | 500 | 65 | 13 |
| 9 | 707 | 91 | 12.87 |
| Promedio | | | 12.81 |
| DS | | | 1.10 |

La Tabla 10 presenta el rendimiento promedio de la extracción de almidón a partir de diferentes ensayos utilizando papa pelada. En donde el rendimiento de almidón varía entre 10.78% y 14.66%, con un rendimiento promedio observado es de 12.81% y una desviación estándar de 1.10.

**Determinación de las características fisicoquímicas del almidón**

**Tabla 11.** Determinación de las características fisicoquímicas del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*).

| Determinaciones | Resultado |
|---|---|
| Humedad (%) | 1,23 |
| Cenizas (%) | 0,06 |
| Grasa (%) | 0,86 |
| Fibra (%) | 0,05 |
| Proteína (%) | 1,49 |
| Carbohidratos (%) | 96,31 |
| Energía (Kcal/100 g muestra) | 374,86 |

La Tabla 11 muestra las características fisicoquímicas del almidón de la sachapapa (*Dioscórea trifida*), En donde el contenido de carbohidratos es del 96,31%, con por cada 100 g de muestra.

## 4.2. Optimización de la hidrolisis enzimática del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*) usando malta de cebada.

- **Hidrolisis del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*)**

**Tabla 12. Resultados de la hidrolisis del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*), en función Proporción Almidón: Malta.**

| Ensayos | Proporción Almidón: Malta | Tiempo hidrolisis | Grados Brix (°Brix) | |
|---|---|---|---|---|
| | (g. almidón:15 g. malta) | (Minutos) | Promedio | ds |
| 1 | 20 | 60 | 7.33 | 0.29 |
| 2 | 20 | 75 | 8.00 | 0.50 |
| 3 | 20 | 90 | 7.83 | 0.29 |
| 4 | 25 | 60 | 8.50 | 0.50 |
| 5 | 25 | 75 | 9.17 | 0.29 |
| 6 | 25 | 90 | 9.33 | 0.29 |
| 7 | 30 | 60 | 10.17 | 0.29 |
| 8 | 30 | 75 | 10.83 | 0.29 |
| 9 | 30 | 90 | 11.33 | 0.29 |

En la tabla 12 se presentan los resultados de la hidrólisis enzimática del almidón de sachapapa (*Dioscorea trifida*), para los 9 ensayos según el diseño experimental. Los valores promedios de grados °Brix obtenidos variaron entre 7.33 y 11.33, con el máximo alcanzado al emplear 30 g de almidón y 15 g de malta de cebada durante un tiempo de 90 minutos.

- **Análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor: Grados Brix vs. Ensayo**

**Método**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | Todas las medias son iguales |
| Hipótesis alterna | No todas las medias son iguales |
| Nivel de significancia | $\alpha = 0.05$ |

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

**Tabla 13.** Análisis de Varianza (Grados Brix vs. Ensayo)

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---|---|---|---|---|---|
| Ensayo | 8 | 46.333 | 5.7917 | 48.12 | 0.000 |
| Error | 18 | 2.167 | 0.1204 | | |
| Total | 26 | 48.500 | | | |

El análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor mostró un valor F de 48.12 y un valor p de 0.000, lo que indica significancia estadística en los grados Brix obtenidos durante la hidro-hidrolisis de los ensayos realizados.

- **Prueba de Tukey:**

**Tabla 14.** Prueba de Tukey para un nivel de confianza de 95%

| Ensayo | N | Media | Agrupación | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 3 | 11.333 | A | | | | | |
| 8 | 3 | 10.833 | A | B | | | | |
| 7 | 3 | 10.167 | | B | C | | | |
| 6 | 3 | 9.333 | | | C | D | | |
| 5 | 3 | 9.167 | | | | D | | |
| 4 | 3 | 8.500 | | | | D | E | |
| 2 | 3 | 8.000 | | | | | E | F |
| 3 | 3 | 7.833 | | | | | E | F |
| 1 | 3 | 7.333 | | | | | | F |

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

La Tabla 14 muestra los resultados de la prueba de Tukey, en esta se confirma que el Ensayo 9 logró la mayor conversión de almidón en azúcares reductores. Sin embargo, la prueba de Tukey revela que su resultado es estadísticamente similar al del Ensayo 8, indicando que ambos son los más eficientes. Estos dos ensayos representan la mejor combinación de parámetros para la producción de azúcares, lo que los hace ideales para la siguiente etapa del proceso.

- **Análisis de la regresión factorial $2^3$: Brix vs. Proporción Almidón: Malta y tiempo de hidrolisis.**

**Tabla 15.** Coeficientes codificados

| Término | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|---|---|---|---|---|---|
| Constante | 9.1667 | 0.0668 | 137.29 | 0.000 | |
| P: gr almidón/15 gr malta | | | | | |
| 20 | -1.4444 | 0.0944 | -15.30 | 0.000 | 1.33 |
| 25 | -0.1667 | 0.0944 | -1.77 | 0.095 | 1.33 |
| T: Tiempo hidrolisis | | | | | |
| 60 | -0.5000 | 0.0944 | -5.30 | 0.000 | 1.33 |
| 75 | 0.1667 | 0.0944 | 1.77 | 0.095 | 1.33 |
| P*T | | | | | |
| 20*60 | 0.111 | 0.134 | 0.83 | 0.416 | 1.78 |
| 20*75 | 0.111 | 0.134 | 0.83 | 0.416 | 1.78 |
| 25*60 | 0.000 | 0.134 | 0.00 | 1.000 | 1.78 |
| 25*75 | -0.000 | 0.134 | -0.00 | 1.000 | 1.78 |

Los resultados de la tabla 15 indican que tanto la proporción de almidón como el tiempo de hidrólisis tienen un efecto significativo en los grados Brix ($p < 0.000$). Por otro lado, la interacción entre ambos factores no es relevante ($p>0.05$) lo que indica que los factores principales actúan de forma independiente para influir en los resultados.

- **Ecuación de regresión**

° Brix = $9.1667 - 1.4444\ P_{20} - 0.1667\ P_{25} + 1.6111\ P_{30} - 0.5000\ T_{60} + 0.1667\ T_{75} + 0.3333\ T_{90} + 0.111 P_{20}*T_{60} + 0.111\ P_{20}*T_{75} - 0.222\ P_{20}*T_{90} - 0.111\ P_{30}*T_{60} - 0.111\ P_{30}*T_{75} + 0.222\ P_{30}T*_{90}$

La ecuación confirma que los factores principales (proporción de almidón: cebada y tiempo) son los más relevantes, siendo la proporción de almidón el factor de mayor pe

**Tabla 16.** Resumen del modelo de regresión factorial

| S | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |
|---|---|---|---|
| 0.346944 | 95.53% | 93.55% | 89.95% |

La ecuación de regresión tiene un alto ajuste, con un $R^2$ ajustado 93.55%, lo que indica que el modelo explica bien la variabilidad en los grados Brix y tiene buena capacidad predictiva.

**Tabla 17.** Análisis de Varianza (Proporción Almidón:Malta y Tiempo de hidrolisis)

| **Fuente** | **GL** | **SC Ajust.** | **MC Ajust.** | **Valor F** | **Valor p** |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo | 8 | 46.3333 | 5.7917 | 48.12 | 0.000 |
| Lineal | 4 | 45.8889 | 11.4722 | 95.31 | 0.000 |
| P: gr almidón/15 malta | 2 | 42.3889 | 21.1944 | 176.08 | 0.000 |
| T: Tiempo hidrolisis | 2 | 3.5000 | 1.7500 | 14.54 | 0.000 |
| Interacciones de 2 términos | 4 | 0.4444 | 0.1111 | 0.92 | 0.472 |
| P*T | 4 | 0.4444 | 0.1111 | 0.92 | 0.472 |
| Error | 18 | 2.1667 | 0.1204 | | |
| **Total** | **26** | **48.5000** | | | |

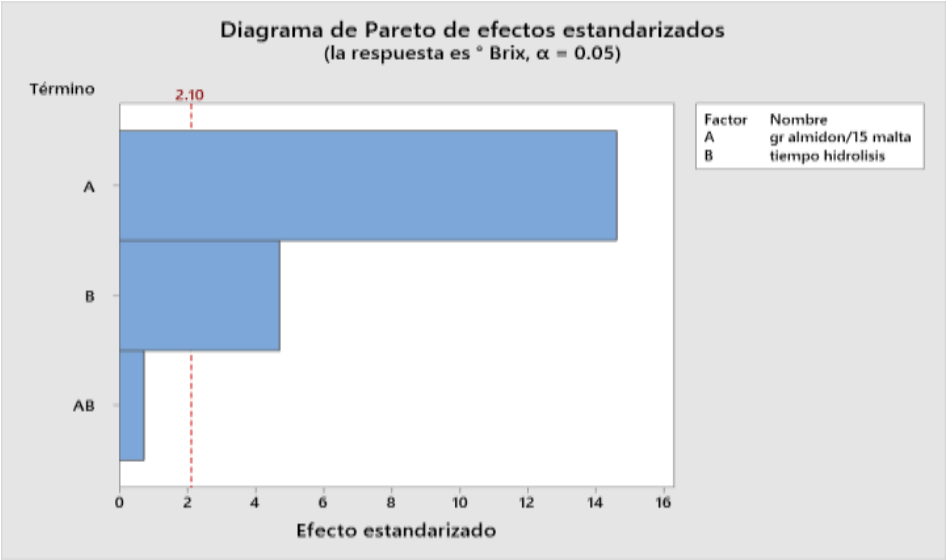



**Gráfico N°1.** Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto muestra que el factor A, correspondiente a la proporción de almidón: malta, tiene el efecto más significativo en los grados Brix, superando el umbral de significancia de 2.10. El factor B, que representa el tiempo de hidrólisis, también muestra un efecto positivo, aunque menor. La interacción entre ambos factores (AB) tiene un efecto casi nulo, lo que resalta la predominancia del factor A en el modelo.

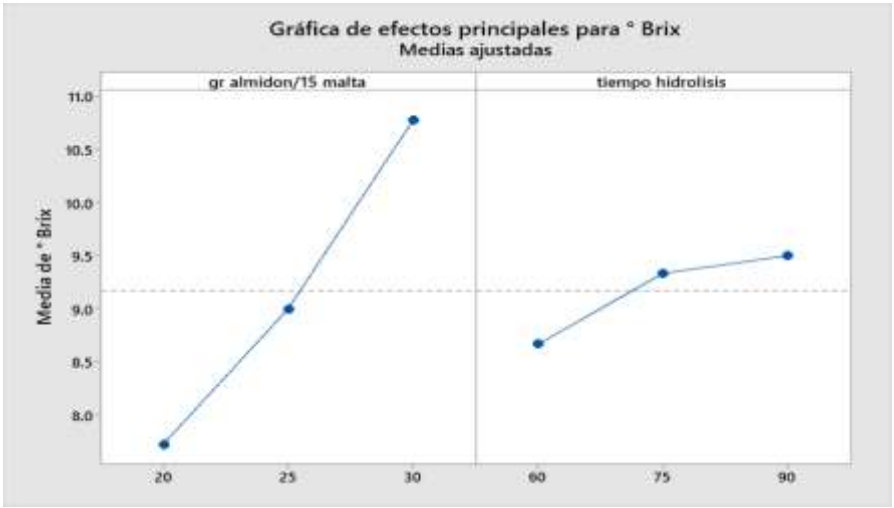



**Gráfico N°2.** Efectos principales de la cantidad de proporción de almidón: malta y tiempo de hidrolisis con respecto a los Grados °Brix en el proceso de hidrolisis

El gráfico 3. confirma que ambos factores son importantes, pero el factor más relevante es la proporción de almidón. El mayor rendimiento se obtiene con la proporción más alta de almidón (30 g), mientras que, en el tiempo de hidrólisis el mayor beneficio se obtiene hasta los 75 minutos, con un rendimiento adicional limitado al extender el proceso a 90 minutos.

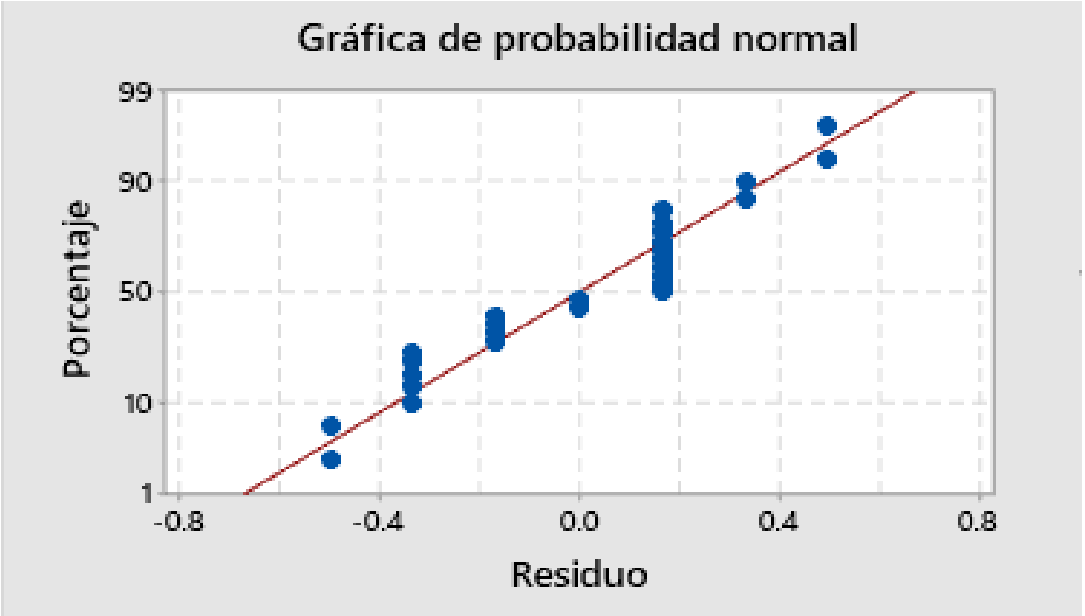



**Gráfico N°3.** Probabilidad normal de los residuos de los valores de °Brix obtenido en la hidrólisis enzimática en todos los ensayos

La gráfica de probabilidad normal de los residuos, muestra que la mayoría de los residuos se alinean con la línea de referencia, indicando una distribución aproximadamente normal. Sin embargo, se observa cierta desviación en los extremos, especialmente en los valores negativos, lo que sugiere la presencia de algunos residuos atípicos. En general, el modelo es adecuado.

### 4.3. Producción del vodka del almidón de la sachapapa (*dioscórea trífida*)

- **Preparación del mosto**

**Tabla 18.** Resultados de la hidrólisis enzimática del almidón de *Dioscórea trífida* utilizando los parámetros óptimos del Ensayo 9.

| Ensayos | Hidrolisis enzimática según el ensayo 9 | | | | | Mosto azucarado | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Almidón (g.) | Malta (g.) | Agua (mL) | PH | A. amilasa (g.) | mL | °Brix |
| 1 | 120 | 60 | 1500 | 4.5 | 6 | 1420 | 11.33 |
| 2 | 120 | 60 | 1500 | 4.5 | 6 | 1326 | 11.3 |
| 3 | 120 | 60 | 1500 | 4.5 | 6 | 1330 | 11.24 |
| | | | | | Promedio | 1358.7 | 11.29 |
| | | | | | Ds | 53.15 | 0.05 |

La Tabla 18 presenta los resultados al aplicar los parámetros óptimos de hidrólisis (Ensayo 9 a una escala cuatro veces). Mostrando una concentración de azúcares (11,29 °Brix) estos resultados respaldan la eficacia del protocolo empleado en la optimización de la hidrolisis enzimática del almidón de Dioscórea trífida.

- **Acondicionamiento del mosto**

**Tabla 19.** Acondicionamiento grado Brix del mosto

| Ensayos | Mosto inicial | | | Azúcar | Ácido cítrico | Mosto final | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mL | °Brix | pH | gr | gr | mL | PH | °Brix |
| 1 | 1420 | 11.33 | 4.5 | 200.65 | 2.6 | 1510 | 4.5 | 21 |
| 2 | 1326 | 11.3 | 4.5 | 184.6 | 2.3 | 1460 | 4.5 | 21 |
| 3 | 1330 | 11.24 | 4.5 | 185.18 | 2.5 | 1430 | 4.5 | 21 |
| Promedio | 1358.7 | 11.3 | 4.5 | 190.1 | 2.5 | 1466.7 | 4.5 | 21.0 |

En la tabla 19 se observa que en promedio la cantidad de azúcar añadido para llevar 1358.7 mL de mosto de 11,3°Brix a 21°Brix fue de 190.1 gramos. Este ajuste fue fundamental para garantizar una concentración de azúcares óptima que permitiera la producción de un alto contenido de alcohol en la fase de fermentación. Además, el pH se mantuvo en 4.5 con el uso de ácido cítrico, un valor ideal para la acción de la levadura, lo que demuestra que el mosto final estaba perfectamente acondicionado para la producción de vodka.

- **Fermentación alcohólica**

**Tabla 20.** Resultados de la fermentación y clarificación del mosto de *Dioscórea trífida*.

| Ensayo | Mosto inicial | | | Mosto fermentado | | Grados Brix |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mL | °Brix | pH | Clarificado (mL.) | Sedimentos (mL) | final |
| 1 | 1510 | 21 | 4.5 | 1120 | 300 | 7.5 |
| 2 | 1460 | 21 | 4.5 | 1100 | 226 | 7.2 |
| 3 | 1430 | 21 | 4.5 | 1270 | 60 | 6.8 |
| promedio | 1467 | 21 | 5 | 1163 | 195 | 7.2 |

Los resultados de la tabla 20, muestran que la fermentación fue exitosa, pero incompleta, ya que la concentración de azúcares se redujo significativamente de un promedio de 21 °Brix iniciales a 7.2 °Brix finales. La levadura consumió una gran parte de los azúcares, lo que es evidenciado por el volumen promedio de 195 mL de sedimentos (borra de levadura) que se separó del mosto.

- **Destilación del mosto fermentado**

  El proceso de destilación se dividió en dos etapas. La Tabla 1 muestra los resultados de la primera destilación, mientras que la Tabla 2 presenta los resultados de la segunda etapa que nos permitió obtener un alcohol de mayor pureza.

**Tabla 21.** Resultados de la primera destilación del mosto fermentado de *Dioscórea trífida*

| **Ensayo** | **Volumen Mosto (mL)** | **T° (°C)** | **Vol. Cabeza (mL)** | **Vol. Cuerpo (mL)** | **Vol. Cola (mL)** | **% Alcohol (°GL)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **1120** | **78** | **11.2** | **118** | **52** | **83** |
| **2** | **1100** | **78** | **11** | **116** | **43** | **83** |
| **3** | **1270** | **78** | **12.7** | **120** | **64** | **83** |
| **Promedio** | **1163** | **78** | **12** | **118** | **53** | **83** |

Los resultados la primera destilación concentró el alcohol, obteniendo un promedio de 118 mL de un destilado crudo con un grado alcohólico de 83°GL

**Tabla 22.** Resultados de la segunda destilación del alcohol crudo

| Ensayo | Volumen Alcohol Crudo (mL) | T° (°C) | Vol. Cabeza (mL) | Vol. Cuerpo (mL) | Vol. Cola (mL) | % Alcohol (°GL) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **118** | **78** | **1.18** | **110** | **5.68** | **89** |
| **2** | **116** | **78** | **1.16** | **108** | **6.75** | **89** |
| **3** | **120** | **78** | **1.2** | **116** | **8.45** | **89** |
| **Promedio** | **118** | **78** | **1.18** | **111** | **6.96** | **89** |

A partir del alcohol crudo obtenido en la primera destilación, la segunda destilación elevó el grado alcohólico a 89°GL, demostrando una purificación más efectiva, resultando en un volumen promedio de 111 mL.

- **Dilución del destilado.**

**Tabla 23.** Factor de dilución para la obtención del vodka

| Ensayo | Destilado (2da destilación) | | Agua destilada | Vodka | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ml | % etanol °GL | ml | ml | % etanol °GL |
| 1 | 110 | 89 | 140 | 250 | 40 |
| 2 | 108 | 89 | 165 | 273 | 40 |
| 3 | 116 | 89 | 145 | 261 | 40 |
| Promedio | 111 | 89 | 150 | 261 | 40 |

En la tabla 22, se muestra que de 111 mL del destilado puro de 89°GL se diluyó aproximadamente 2.35 veces para alcanzar un volumen de Vodka de 261mL con un grado alcohólico de 40°GL.

- **Rendimiento del vodka**

**Tabla 24.** Rendimiento del vodka

| Ensayo | Cantidad de almidón | Vodka | | Rendimiento vodka |
|---|---|---|---|---|
| | | ml | °GL | ml vodka/gr almidón |
| 1 | 120 | 250 | 40 | 2.1 |
| 2 | 120 | 273 | 40 | 2.3 |
| 3 | 120 | 261 | 40 | 2.2 |
| | | Promedio | | 2.2 |
| | | Ds | | 0.08 |

Los resultados de la tabla 23, muestran que la producción de vodka a partir de la sachapapa fue en promedio de 261.3 mL de vodka con un grado alcohólico constante de 40°GL. El rendimiento promedio fue de 2.2 mL de vodka por cada gramo de almidón.

- **Calidad del vodka**

**Tabla 25.** Resultados de los análisis calidad del vodka en el laboratorio SLAB

| Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|---|---|---|---|
| Furfural | mg/100ml | N.A | ND |
| Metanol | mg/100ml | N.A | ND |
| **Esteres:** | | | |
| Acetato de etilo | mg/100ml | N.A | 16.89 |

Leyenda:
LCM: Límite de Cuantificación de Método
N.A. No Aplica
N.D. No Detectable

El análisis de laboratorio confirma que el vodka producido es de alta calidad y seguro para el consumo. La ausencia de furfural y metanol (compuestos altamente tóxicos) demuestra la eficiencia de los procesos de fermentación y destilación. La baja concentración de acetato de etilo (16.89 mg/100mL) es normal y contribuye al perfil aromático de la bebida, sin representar un riesgo para la salud.

- **Prueba sensorial del vodka**

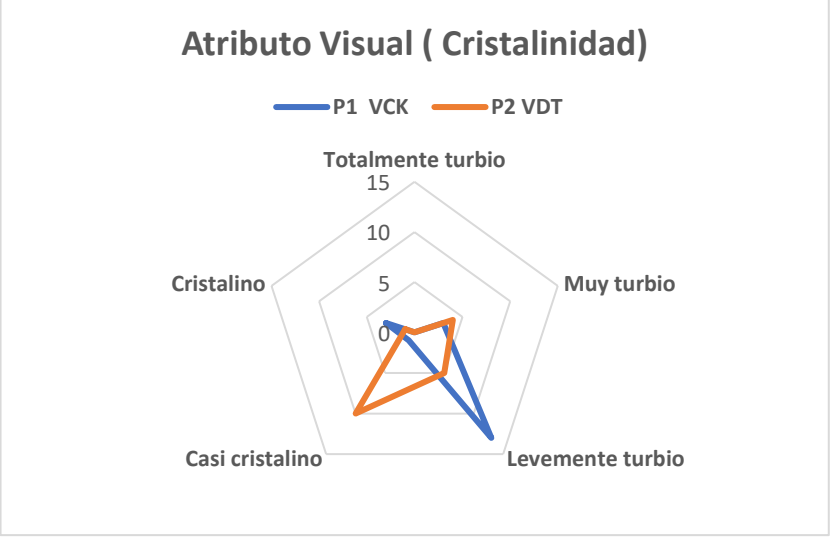



**Gráfico N°4.** Atributo Visual (Cristalinidad)

El gráfico 4 muestra que las dos muestras de vodka tienen diferentes niveles de cristalinidad. el vodka de *Dioscorea trífida* VDT es visualmente superior a la muestra vodka comercial VCK, ya que su perfil se acerca más a la característica deseada de "cristalino", que es un atributo de calidad en el vodka.

Prueba de clasificación con signos de Wilcoxon: Diferencia cristalinidad VCK – VDT:

Método

$\eta$: mediana de Diferencia Cristalinidad (VCK - VDT)

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Mediana($\eta$) |
|---|---|---|
| Diferencia Cristalinidad | 26 | -0.5 |

Prueba

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Cristalinidad | 16 | 16.00 | 0.008 |

Con un nivel de probabilidad p = 0.008 se rechaza la hipótesis nula, para un nivel de significancia $\alpha$=0.05, por lo tanto, existe diferencia estadística significativa entre la cristalinidad del VCK y VDT, siendo el valor de $\eta$ (mediana de Diferencia Cristalinidad VCK - VDT) negativo, se pude decir que el nivel de cristalinidad del VDT es mayor al de VCK.

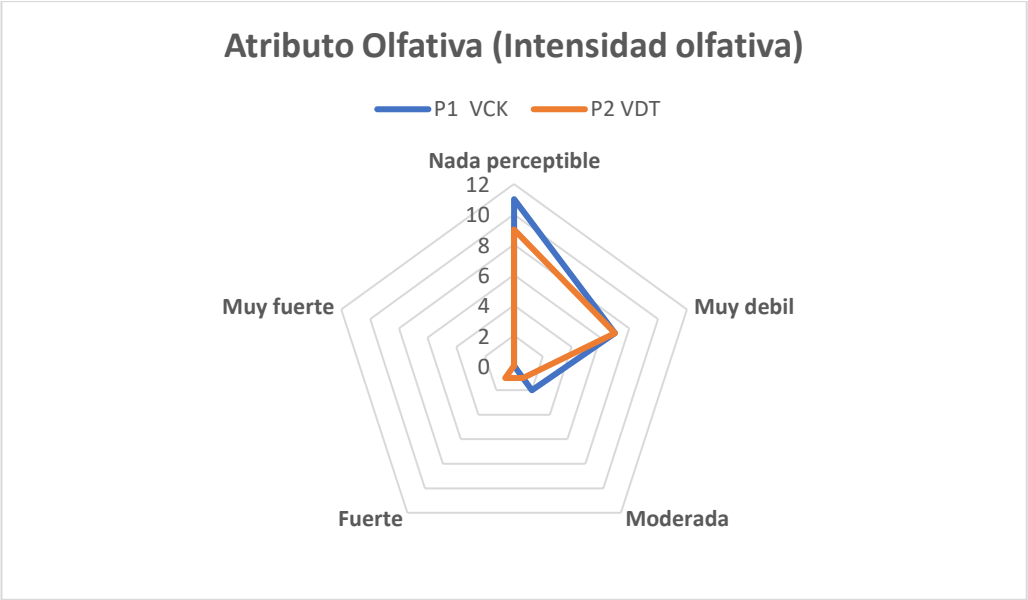



**Gráfico N°5.** Atributo Olfativa (Intensidad olfativa)

El gráfico demuestra que, aunque el vodka comercial VCK presenta una intensidad más variable, el vodka de *Dioscorea trífida* VDT tiene un perfil olfativo más equilibrado y moderado. La consistencia del aroma en el vodka de sachapapa es un punto a favor, ya que un buen vodka debe tener un olor neutro o muy sutil, lo que confirma la eficacia del proceso de purificación.

Prueba de clasificación con signos de Wilcoxon: Diferencia Intensidad VCK – VDT

Método

η: mediana de Diferencia Intensidad (VCK – VDT)

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Mediana (η) |
|---|---|---|
| Diferencia Intensidad | 26 | 0 |

Prueba

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Intensidad | 18 | 74.50 | 0.647 |

Con un nivel de probabilidad p = 0.647 se acepta la hipótesis nula, para un nivel de significancia α=0.05, por lo tanto, no existe diferencia estadística significativa entre la intensidad olfativa del VCK y VDT, siendo el valor de η (mediana de Diferencia VCK - VDT) cero, se puede decir que el nivel de intensidad olfativa del VDT es igual al del VCK.

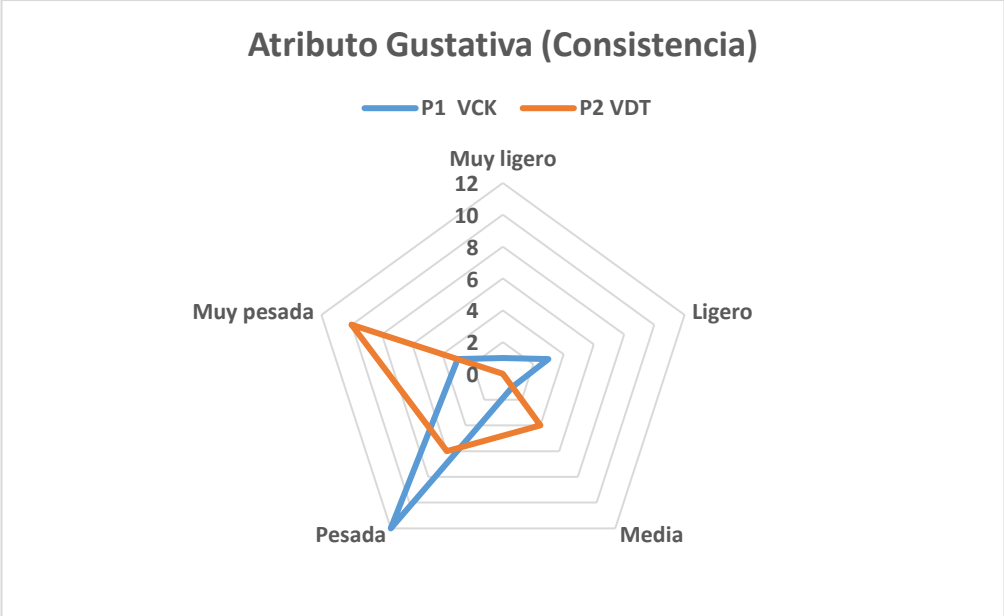



**Gráfico N°6.** Atributo Gustativa (Consistencia)

La gráfica revela que el vodka comercial (VCK), representado por la línea azul, es percibido como "Pesado". En cambio, el vodka de *Dioscorea trífida* (VDT), la línea naranja, se percibe como "Muy pesado", indicando que la sensación densa y duradera en el paladar es significativamente mayor que el vodka comercial.

Prueba de clasificación con signos de Wilcoxon: Diferencia Consistencia VCK – VDT

Método

η: mediana de Diferencia Consistencia (VCK – VDT )

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Consistencia | 26 | 0.5 |

Prueba

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Consistencia | 21 | 139.50 | 0.414 |

Con un nivel de probabilidad p = 0.414 se acepta la hipótesis nula, para un nivel de significancia α=0.05, por lo tanto, no existe diferencia estadística significativa entre la consistencia del VCK y VDT, siendo el valor de η (mediana de Diferencia VCK - VDT) igual a 0.5, se puede decir que el nivel gustativo en cuanto a la consistencia del VCK es igual al del VDT.

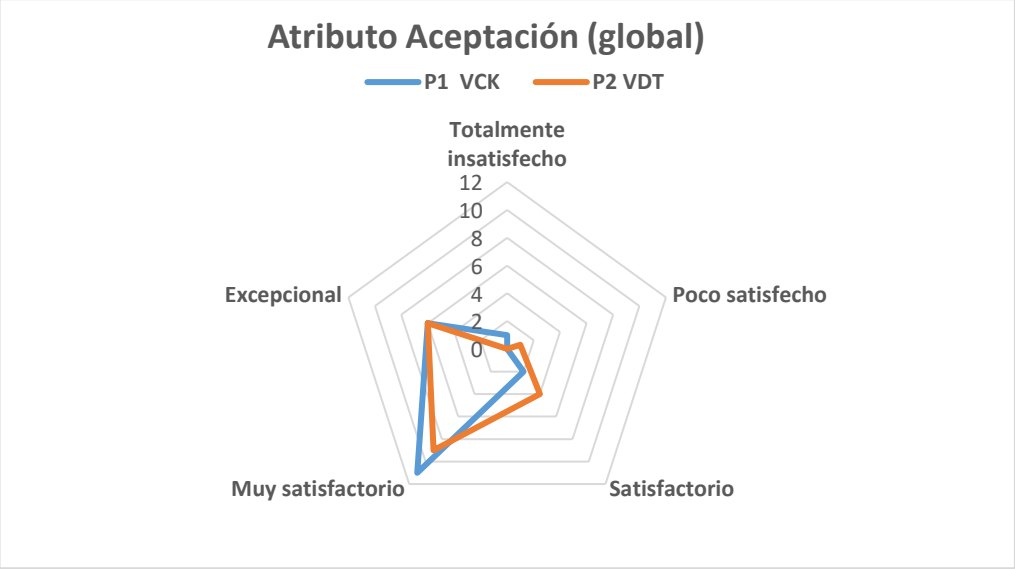



**Gráfico N°7.** Atributo Aceptación (global)

El gráfico muestra que ambas muestras de vodka, el comercial (VCK) y el de sachapapa (VDT), tienen un alto nivel de aceptación. La muestra de VCK fue calificada como "Muy satisfactorio", mientras que la muestra de VDT se calificó como "Satisfactorio".

Prueba de clasificación con signos de Wilcoxon: Diferencia Aceptación VCK – VDT

Método

η: mediana de Diferencia Aceptación (VCK – VDT)

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Aceptación | 26 | 0 |

Prueba

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0: \eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1: \eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Aceptación | 21 | 100.50 | 0.614 |

Con un nivel de probabilidad p = 0.614 se acepta la hipótesis nula, para un nivel de significancia $\alpha$=0.05, por lo tanto, no existe diferencia estadística significativa entre la aceptación del VCK y VDT, siendo el valor de $\eta$ (mediana de Diferencia VCK - VDT) igual a cero, se puede decir que el nivel de aceptación global del VCK es igual al del VDT.

# CAPITULO V: DISCUSIÓN

El rendimiento de extracción de almidón de la sachapapa (*Dioscorea trifida*) se situó en un 12.81% ± 1.10%. Si bien este valor es inferior al 15.84% reportado por Díaz Ruiz (2023) en yuca (*Manihot esculenta*), la diferencia es esperable debido a la variabilidad intrínseca de las especies y el estado de madurez de los tubérculos. Cabe destacar que, aunque Sánchez (2024) cita contenidos teóricos de almidón de hasta 55% en camote (probablemente en base seca), nuestro rendimiento en base húmeda se mantiene dentro de rangos operativos aceptables para tubérculos nativos no convencionales.

Lo más relevante de la caracterización de la materia prima no fue el volumen, sino la calidad. El análisis fisicoquímico evidenció una pureza excepcional del almidón (96.31% de carbohidratos), superando la media comercial. Asimismo, la humedad del almidón obtenido (1.23%) fue notablemente baja; aunque esto difiere de los estándares comerciales típicos (10-13%), garantiza una estabilidad microbiológica superior durante el almacenamiento, evitando la proliferación fúngica previo a la hidrólisis.

Respecto a la sacarificación, el diseño experimental validó que la proporción almidón:malta y el tiempo influyen significativamente ($p < 0.000$). El tratamiento óptimo (30g almidón: 15g malta, 90 min) permitió obtener un mosto apto para fermentar. Al contrastar con Luz et al. (2021), quienes lograron una eficiencia del 88.6% usando extracto enzimático de malta en yuca, nuestros resultados validan que el uso de **malta de cebada en grano** es igualmente efectivo para despolimerizar almidones de tubérculos tropicales. Aunque Díaz Ruiz (2023) y Rafael (2024) reportan mayores eficiencias de conversión utilizando enzimas comerciales sintéticas (α-amilasa y glucoamilasa), nuestro enfoque demuestra que es posible prescindir de

insumos industriales costosos, ofreciendo una alternativa tecnológica viable para productores artesanales.

La etapa de fermentación presentó una reducción de azúcares de 21°Brix iniciales a 7.2°Brix finales. Esta atenuación parcial coincide con lo reportado por Maigualca (2021), quien obtuvo mostos finales de 6.40°Brix en papa. A diferencia de Rafael (2024), quien logró una eficiencia de fermentación del 89% en oca (posiblemente por el uso de glucoamilasas que reducen dextrinas límite), nuestro proceso con malta dejó un remanente de azúcares no fermentables característico de este método, sin que esto impidiera una generación adecuada de alcohol para la destilación.

El proceso de doble destilación fue el punto fuerte de la investigación, elevando el grado alcohólico hasta **89°GL**. Este resultado es superior a lo reportado por Sánchez Aguilera (2020), quien alcanzó 83.5% Vol. en vodka de camote, y drásticamente superior al 4.04% v/v reportado por Maigualca (2021) en su mosto/destilado inicial. La eficiencia de nuestra columna de destilación y el control térmico a 78°C permitieron una purificación y concentración de etanol altamente competitiva.

Finalmente, en términos de calidad e inocuidad, el vodka de sachapapa cumple rigurosamente con los estándares de seguridad. Los análisis demostraron la ausencia de metanol y furfural, un logro significativo si se compara con los 0.69 mg/100cm³ de metanol reportados por Sánchez (2024) y las trazas halladas por Maigualca (2021). Sensorialmente, aunque el producto fue percibido con mayor cuerpo ("pesado"), su cristalinidad y perfil aromático neutro lo validan como un destilado de calidad, confirmando que la *Dioscorea trifida* es una materia prima prometedora y segura para la industria de bebidas espirituosas.

La temperatura constante de 78°C durante ambas destilaciones confirma que se logró la separación adecuada del alcohol, aprovechando la diferencia en los puntos de ebullición entre el agua y el etanol, validando la metodología empleada por otros investigadores como Díaz Ruiz (2023) y Montero (2022).

El rendimiento promedio de 2.2 mL de vodka por gramo de almidón es satisfactorio y está en el rango reportado por otros estudios. Sánchez Aguilera (2020) obtuvo un rendimiento del 36% con respecto al producto final, mientras que Rafael Ayala (2024) estimó que 1000 kg de oca pueden producir hasta 30 litros de etanol. Estos valores validan la viabilidad técnica del proceso desarrollado con sachapapa.

Los análisis de calidad realizados por el laboratorio SLAB confirmaron la ausencia de compuestos tóxicos (furfural y metanol) y niveles aceptables de acetato de etilo (16.89 mg/100mL), cumpliendo con los estándares de seguridad alimentaria. Estos resultados son superiores a los reportados por Maigualca (2021), quien detectó trazas de metanol (0.36 mg/100mL) y furfural (0.38 mg/100mL), y comparables a los de Sánchez (2024) y Sánchez Aguilera (2020), quienes reportaron contenidos de metanol de 0.69 mg/100cm³.

La evaluación sensorial por 26 panelistas reveló características prometedoras del vodka de sachapapa. La superior cristalinidad comparada con el vodka comercial indica una buena purificación del producto, resultado que coincide con las observaciones de calidad fisicoquímica. El perfil olfativo equilibrado y moderado es deseable en vodka de calidad, donde se busca neutralidad aromática, característica valorada por Sánchez (2024) en su estudio comparativo.

Aunque el vodka de sachapapa fue percibido por algunos panelistas como "muy pesado" en consistencia comparado con el comercial, obtuvo una calificación

"satisfactoria" en aceptación global. Este resultado es comparable al obtenido por Sánchez Aguilera (2020), quien logró 35% de preferencia en su mejor tratamiento, y por Sánchez (2024), cuyos tratamientos obtuvieron valoraciones similares en aceptabilidad (4.50).

El estudio de la sachapapa (*Dioscórea trífida*) demuestra ventajas competitivas frente a otros tubérculos estudiados. Comparado con la yuca de Díaz Ruiz (2023), la sachapapa presenta menor rendimiento de almidón, pero mayor pureza (96.31% vs datos no especificados). Frente al camote de Sánchez Aguilera (2020), la sachapapa muestra mejor calidad de almidón, aunque menor rendimiento final de vodka.

La comparación con la oca estudiada por Rafael Ayala (2024), es particularmente interesante, ya que ambos son tubérculos andinos subutilizados. La oca mostró mayor eficiencia en la conversión enzimática (93%), pero la sachapapa presenta ventajas en términos de disponibilidad y características organolépticas del producto final.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica de producir vodka de calidad a partir de sachapapa (*Dioscórea trífida*). El proceso desarrollado es reproducible y escalable, con parámetros optimizados que garantizan la eficiencia de conversión y la calidad del producto final. La metodología empleando malta de cebada como fuente enzimática representa una alternativa económicamente viable comparada con enzimas comerciales, como las utilizadas por Díaz Ruiz (2023).

La investigación contribuye significativamente al aprovechamiento de recursos locales y diversificación de materias primas para la industria de bebidas alcohólicas, siguiendo la tendencia observada en trabajos similares con tubérculos tropicales y andinos. El cumplimiento de estándares de calidad y seguridad posiciona al vodka de sachapapa

como una alternativa viable en el mercado de bebidas destiladas artesanales o semi-industriales.

El proceso optimizado ofrece ventajas económicas al utilizar materias primas locales y fuentes enzimáticas accesibles, mientras que los parámetros establecidos permiten la reproducibilidad del proceso a diferentes escalas de producción. Estos resultados abren perspectivas para futuras investigaciones enfocadas en la optimización de rendimientos y el desarrollo de productos derivados de tubérculos nativos sub utilizados.

# CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- Respecto al rendimiento de almidón de la *Dioscórea trífida* (Sachapapa) y sus características fisicoquímicas, se determina que es una materia prima viable para la producción de vodka debido a su alto contenido de almidón y capacidad de conversión en azúcares fermentables, donde se obtuvo mosto un grado Brix de 11.33, lo que respalda experimentalmente la hipótesis de que la sachapapa es una alternativa adecuada para la industria de bebidas alcohólicas.
- En relación con la evaluación de los parámetros de hidrólisis enzimática, se sintetiza que, la proporción óptima para la conversión de almidón en azúcares fermentables fue de 30 g de almidón de *Dioscórea trífida* (Sachapapa) con 15 g de cebada alteada durante 90 minutos, bajo condiciones controladas de temperatura (68 °C) y pH (4.5), concluyendo que los resultados validan la combinación con cebada malteada como fuente enzimática natural, cumpliendo con el tercer objetivo específico.
- Se obtuvo exitosamente vodka de sachapapa con un rendimiento promedio de 2.2 mL de vodka por gramo de almidón. El proceso de doble destilación permitió alcanzar 89°GL en la segunda destilación, y tras la dilución se obtuvo un producto final con 40°GL, cumpliendo con los estándares comerciales para vodka.
- La evaluación sensorial realizado por 26 degustadores que el vodka obtenido presentó buen equilibrio en sabor y aroma, sin defectos organolépticos evidentes.
- Según los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis de investigación, que los parámetros proporción de almidón: malta de cebada y tiempo de hidrólisis enzimática tiene una influencia significativa en el rendimiento de azúcares reductores fermentables, viabilizando la producción de vodka.

# CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con estudios de optimización del proceso de hidrólisis enzimática, evaluando el efecto de parámetros como el tiempo de reacción, la proporción de cebada malteada y la temperatura, con el objetivo de mejorar aún más la conversión de almidón en azúcares fermentables y maximizar el rendimiento del mosto.
- Se recomienda para garantizar la calidad del vodka obtenido, realizar un análisis detallado de la composición química, con el fin de identificar y cuantificar compuestos secundarios como metanol, aldehídos y ésteres, utilizando técnicas cromatográficas.
- Se recomienda ampliar la evaluación sensorial del vodka, incrementando la muestra de degustadores e incluyendo pruebas comparativas con vodkas comerciales, lo que permitirá validar la percepción del consumidor en función de las preferencias del mercado.
- Se recomienda realizar nuevas investigaciones sobre el uso de otras fuentes de almidón no convencionales, como tubérculos y cultivos nativos de la Amazonía, con el fin de diversificar las opciones de materiales primas en la producción de destilados.
- Se recomienda difundir los resultados obtenidos en espacios académicos y científicos, mediante publicaciones en revistas especializadas y presentaciones congresales, incentivando el desarrollo de nuevas tecnologías en la fermentación y destilación de productos destilados.

## CAPITULO VIII: FUENTE DE INFORMACION

ACOSTA PAVAS, J. C.; ALZATE BLANDON, L.; RUIZ COLORADO, Á. A. Enzymatic hydrolysis of wheat starch for glucose syrup production. Revista DYNA, 2020, vol. 87, no. 214, p. 173–182. DOI: http://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.82669

AGARWAL, P.K. Enzymes: An integrated view of structure, dynamics and function. Bioengineering & Biotechnology, 2020. Disponible en: https://europepmc.org/article/MED/16409630

ALCÍVAR. (2017, Pág. 32). Obtención de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de almidones de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) por vía enzimática. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.13080/5461

ANAYA, & MONTERO. (2019, Pág.4). 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. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.13080/5461

BEIGBEDER, J. B.; DANTAS, J. M. M.; LAVOIE, J. M. Optimization of yeast, sugar and nutrient concentrations for high ethanol production rate using industrial sugar beet molasses. Fermentation, 2021, vol. 7, art. 86. DOI: 10.3390/fermentation7020086

BRIAN, F. (2024). If You've Ever Wondered What Sets Vodka Apart From Other Clear Spirits, You're Not Alone. Food & Wine. Disponible en: https://www.foodandwine.com/how-is-vodka-made-8604776

CARRIÓN. (2018). Obtención de una bebida alcohólica destilada (vodka) mediante hidrólisis ácida a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa).

CHEMISTRY LIBRETEXTS. (2024). Proteins as Enzymes. Disponible en: https://chem.libretexts.org/…/Enzymes/3._Proteins_as_Enzymes

CHEM WIKI. Simple and fractional distillation—ChemWiki. [en línea], 2025. Disponible en: https://chem.libretexts.org/…/Distillation

CHAKRABORTY, I.; PALLEN, S.; SHETTY, Y.; ROY, N.; MAZUMDER, N. (2020). Advanced microscopy techniques for revealing molecular structure

of starch granules. Biophysical Reviews, vol. 12, no. 3, p. 345–360. DOI: 10.1007/s12551-020-00614-7

CURIOSAWEB. (2024, diciembre 14). La historia del vodka: desde sus orígenes hasta la actualidad. Curiosaweb. https://curiosaweb.com/la-historia-del-vodka-desde-sus-origenes-hasta-la-actualidad/?damemas_lectura=1

DATAHORIZON RESEARCH, 2025. Potato Vodka Market Size, Growth & Forecast Report - 2033. DataHorizon Research. Disponible en: https://datahorizzonresearch.com/potato-vodka-market-55050

DIANYUN, H., YAOYAO, W., RUIYING, Z., XINGLI, Z., ZHANQIANG, M., ZHENJIE, F., et al. (2022). Leaf and rhizome transcriptome assembly and expression analysis of genes involved in terpene biosynthesis in Dioscorea opposita. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, vol. 32. DOI: https://doi.org/10.1007/s13562-022-00781-6

DÍAZ RUIZ, J. P. (2023). *Efecto de la concentración de almidón y del tiempo de cocción de la suspensión en la obtención de un destilado alcohólico de yuca (Manihot esculenta)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/590/1/T_Diaz%20Ruiz_IIA.pdf

DISTILLIQUE. (2021). Different Distillation Methods. Disponible en: https://distillique.co.za/blogs/default blog/different distillation methods 1

ESPITIA, JAVIER & SALCEDO, JAIRO & GARCIA, CARLOS. (2016). Funtional Properties of Starch Yam (Dioscorea bulbífera, Dioscorea trífida y Dioscorea esculenta). Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. 39. 31-36.

ESSFEED. (2024). A review of starch gelatinization characteristics and its practical significance. Londres. [Enlace no proporcionado]

ESSFEED. (2024). Overview of malt modification and enzyme activation in brewing. Disponible en: https://essfeed.com/malt-enzymes-2024

FELENEVODKA. (2025). How Vodka is Made? Disponible en: https://felenevodka.com/vodka-101-how-vodka-is-made/

FELENESTARCH. (2022). Influence of moisture and temperature on starch gelatinization properties. Applied Starch Science. Disponible en: https://felene-starch.com/gelatinization-impact

FERRARI, M.C. y FERRARI, R.A. (2024). Transformation of fresh yams (Dioscorea trifida) into flours and starches: sustainable options for the food industry. Scientia Agricola, vol. 82. DOI: https://doi.org/10.1590/1678-992X-2023-0290

FERNANDES, R., OLIVEIRA, A., & COSTA, M. (2021). Enzymatic hydrolysis and ethanol production from broken rice grains using amylolytic malt enzymes. Renewable Energy, 174, 1142–1151. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.067

FOOD & WINE. (2023, jul 12). What is specialty malt and why does it matter? https://www.foodandwine.com/what-is-malt-7559391

FOSTER, L. (2024, mayo 10). Vodka 101: The raw materials. Decanter. https://www.decanter.com/spirits/vodka-101-the-raw-materials-527312/

GARCIA, J.; LEE, H.; KIM, S. (2024). Advances in sensory science: From classical panels to AI-assisted e-noses. Trends in Food Science & Technology, vol. 120, p. 1–12. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.04.003

GARCÍA RUIZ, D.; SEOANE BUENO, M. (2024). Industrial applications of yeast beyond fermentation: from enzymes to therapeutics. Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 108, p. 245–258. DOI: https://doi.org/10.1007/s00253-023-12987-5

HERRERA. (2019, Pág. 28). Obtención de una bebida alcohólica destilada (vodka) mediante hidrólisis ácida a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa).

HERRERA, S. (2019). Obtención del vodka por hidrólisis enzimática a partir de la papa (Solanum tuberosum) de las variedades Huagalina y Tumbay. Callao: Universidad Nacional del Callao. https://hdl.handle.net/20.500.12952/4045

HOME DISTILLER. (2022). Is malted barley used in vodka? https://h-o-m-e.org/is-malted-barley-in-vodka

ITHY. (2025, feb 11). The Impact of Malting on Enzyme Activities. https://ithy.com/article/effect-of-malting-on-enzymes-36bzi72y

IWSR. (2023, jun). Vodka innovation trends. https://www.iwsr.com/report/vodka-innovation-2023

JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, H.-E.; LÓPEZ-MÉNDEZ, M. C.; MARTÍNEZ-CASTELLANOS, G.; MELÉNDEZ-ARMENTA, R. Á. (2024). *Starch extraction methods in tubers and roots: A systematic review*. *Agronomy*, 14(4), 865. https://doi.org/10.3390/agronomy14040865

KATERYNA, K. (2020). levadura-de-saccharomyces-cerevisiae-126324946.jpg. https://thumbs.dreamstime.com/z/levadura-de-saccharomyces-cerevisiae-126324946.jpg

KIM, Y.; PARK, J.; LEE, S. (2023). Yeast as a model for neurodegenerative diseases. Frontiers in Genetics, vol. 14, art. 10874. DOI: https://doi.org/10.3389/fgene.2023.10874

KIM, Y.; SHIN, S.; LEE, J. (2023). Thermal stability and activity profiles of industrial enzymes. Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 62, no. 7, p. 3456–3469. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c00015

KOVAČ, M., RAVNJAK, B., ŠUBARIĆ, D., VINKOVIĆ, T., BABIĆ, J., AČKAR, Đ., LONČARIĆ, A., ŠARIĆ, A., BULATOVIĆ, V. O., & JOZINOVIĆ, A. (2024). *Isolation and Characterization of Starch from Different Potato Cultivars Grown in Croatia*. *Applied Sciences*, 14(2), 909. https://doi.org/10.3390/app14020909

LEE, C.; JOHNSON, M. (2023). Thermal stability thresholds of industrial microbial enzymes. Bioprocess and Biosystems Engineering, vol. 46, p. 101–115. DOI: https://doi.org/10.1007/s00449-022-02764-9

LEE, H.; PARK, S. (2024). Effects of temperature and pH on enzymatic activity: implications for industrial processing. Journal of Biotechnology Advances, vol. 12, no. 2, art. 57. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.01.010

LI, X.; WANG, Y.; ZHANG, L. (2022). Influence of sugar concentration on yeast osmotic stress and ethanol yield. Journal of Biotechnology, vol. 350, p. 123–131. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2022.02.015

LI, X.; WANG, Y.; ZHANG, L. (2021). Influence of pH on catalytic efficiency and structure of alpha amylase. Applied Biochemistry and Biotechnology, vol. 193, p. 1234–1245. DOI: https://doi.org/10.1007/s12010-021-03645-9

LUNA TECHNOLOGIES. (2023). Decoding Distillation: Simple vs. Fractional. https://blog.lunatechequipment.com/decoding distillation simple vs fractional

LUZ, F.S. da; BUENO, A.F.; CAETAN O, R.N.; RODRIGUES, P.R.P.; BANCZEK, E. do P. (2021). Enzymatic Hydrolysis of Cassava Starch Using Barley Malt Amylases. Orbital: The Electronic Journal of Chemistry, pp. 205–211.

MACKENCIE. (2019, Pág. 19). Evaluación de tres métodos de destilación en el proceso de obtención de una bebida alcohólica tipo vodka empleando Colocasia esculenta (Malanga). UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a1ab0a49-a28d-403e-a50d-2f5932bbe7b5/content

MAIGUALCA. (2021, Pág.10). Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka) a partir de dos variedades de papa chaucha (Solanum phureja) y Superchola (Solanum tuberosum L.) con alfa amilasa. Universidad Técnica de Cotopaxi. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10131

MAISON DU WHISKY. (2025). How is vodka made? Blog. https://www.whisky.fr/en/menu/blog/articles-on-vodka/vodka-production

MARINHO, G.; ANTICONA, M.; PIMENTEL, D.; MURAYARI, S.; LINARES, L. (2022). Presentación del cultivo de la sachapapa.pptx. https://es.slideshare.net/slideshow/presentacion-del-cultivo-de-la-sachapapapptx/253757573

MASON, M., RAMIREZ CARVAJAL, K., SANCHEZ BERNAL, C. I., MENDOZA COMBAT, J. C., KENEALEY, J. D., ACOSTA GARCIA, L. P., & CUENCA QUICAZAN, M. M. (2023). Obtaining a Vodka-like Distillate

from a Native Colombian Yam (Dioscorea Spp.). Chemical Engineering Transactions, 102, 229-234. https://doi.org/10.3303/CET23102039

MDPI. (2022). Yeast Fermentation for Production of Neutral Distilled Spirits. Applied Sciences, vol. 13, no. 8, art. 4927. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/8/4927

MDPI. (2021). Alcohol tolerance and stress response in industrial Saccharomyces cerevisiae strains. Sustainability, vol. 16, no. 24, art. 11151. https://doi.org/10.3390/su162411151

MIŁEK, J.; LAMKIEWICZ, J. (2022). The starch hydrolysis by α amylase Bacillus spp.: Optimum temperature and energy parameters. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 147, p. 14459–14466. DOI: https://doi.org/10.1007/s10973-022-11738-1

MORDOR INTELLIGENCE, 2025. Vodka Market Size, Share & Growth Drivers – Industry Research Report. Mordor Intelligence. Disponible en: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/vodka-market

MONTERO, A. (2019, Pág. 11). Obtención de una bebida alcohólica tipo vodka a partir de almidones de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) por vía enzimática. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. https://hdl.handle.net/20.500.13080/5461

MONTERO, J. (2022). Evaluación de la mezcla entre la papa Gabriela y zanahoria blanca como materia prima para la obtención de vodka en la empresa Primicia. RIOBAMBA, ECUADOR: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17766

MUCHA L, VÁMOSI K, TOTTH G (2022). Examining the factors shaping consumer attitude towards the popular alcoholic beverages in Hungary. Heliyon. Sep 12;8(9):e10571. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10571. PMID: 36158086; PMCID: PMC9494233.

PANIAGUA-ZAMBRANA, N.Y.; BUSSMANN, R.W.; ROMERO, C. (2020). Dioscorea tambillensis R. Knuth Dioscorea trifida L. f. Dioscoreaceae. En: Ethnobotany of the Andes. Springer, Cham, pp. 1–7. ISBN 978-3-319-77093-

2. Disponible en: https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-3-319-77093-2_101-1

PATEL, R.; JOSHI, R. (2022). pH optima and stability of microbial enzymes in food processing applications. Food Bioprocess Technology, vol. 15, pp. 977–989. DOI: https://doi.org/10.1007/s11947-022-02834-2

PATEL, R.; SHARMA, A.; CHANDRA, P. (2021). Yeast diversity on fruits and human skin: Implications for biotechnology. International Journal of Microbiology. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/6612342

PÉREZ, G., HERNÁNDEZ, M., & VALDÉS, J. (2020). Ethanol production from sugar beet under different fermentation strategies. Industrial Crops and Products, 153, 112-125. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112581

QIN, Z.; YANG, M.; LI, Y.; et al. (2024). Optimized amylase and glucoamylase combination for raw starch hydrolysis in bioethanol production. Frontiers in Microbiology, vol. 15, art. 1419293. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1419293

QUISPE, M.A.; ADRIANZÉN, P.M.; ALVA, A.; PÉREZ, M.A.; IMÁN, S.A.; MARAPARA, J.L.; CASTRO, J.C. (2015). Análisis bromatológico y de flavonoides de los cultivares blanco y morado de Dioscorea trifida L. (sachapapa) de la región Loreto. Conocimiento Amazónico, vol. 6, no. 2, pp. 85–90. ISSN 2303-9965.

RAFAEL AYALA, A.C. (2024). Optimización de la hidrólisis enzimática y fermentación alcohólica para la obtención de etanol a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa). Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36768

SCRUTTON, N.S. (2023). Unravelling the complexity of enzyme catalysis. FEBS Journal, vol. 290, pp. 2204–2207. DOI: https://doi.org/10.1111/febs.16796

SAMÍRIA DE JESUS, L.S.; HAYANA KAREN, F.C.; LUIZA HELENA, M. da S.; ANTONIO MANOEL, da C.R. (2020). Characterization and properties of purple yam (Dioscorea trifida) powder obtained by refractance window drying. Drying Technology, vol. 40, no. 6. DOI: https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1847140

SÁNCHEZ AGUILERA, D. D. (2020). *Bebida alcohólica vodka obtenida del camote (Ipomoea batata L.)* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Digital UTEQ. https://repositorio.uteq.edu.ec/items/b567bc11-ff2a-49c4-969e-e0df4cc2b2cc

SANCHEZ, S. (2019). Obtención de una bebida alcohólica destilada (vodka) mediante hidrólisis ácida a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa). Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

SANCHEZ. (2019, Pág. 27). Obtención del vodka por hidrólisis enzimática a partir de la papa (Solanum tuberosum) de las variedades huagalina y tumbay. Callao: Universidad Nacional del Callao. https://hdl.handle.net/20.500.12952/4045

SÁNCHEZ, D. (2024). Influencia de los tubérculos papa (Solanum tuberosum) y camote (Ipomoea batata L) en la producción de vodka. *Revista Bases de la Ciencia*, 9(1). https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v9i1.6281

SANTOS, S. J. L., PIRES, M. B., AMANTE, E. R., RODRIGUES, A. M. C., & SILVA, L. H. M. D. (2021). Isolation and characterization of starch from purple yam (Dioscorea trifida). Journal of Food Science and Technology, 59(2), 715–723. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05066-9

SCIENCEDIRECT. (2022). Recent advances and future perspectives on more sustainable distillation. Separation and Purification Technology. DOI: https://doi.org/10.1016/S0263-8762(22)00570-6

SHELTZER, M.; KIM, J.; CHOI, H. (2024). Metabolic profiling of Saccharomyces cerevisiae fermenting various sugars. Microbial Cell Factories, vol. 23, art. 30. DOI: https://doi.org/10.1186/s12934-024-01730-9

SILVA, F. D. (2022). Avaliação morfoagronômica e bromatológica dos acessos da coleção do cará (Dioscorea trifida L.) da Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil.

SILVA, L., ALMEIDA, P., & MOREIRA, R. (2022). Fermentation and distillation yields from berries for distilled spirits. Foods, 13(8), 1187. https://doi.org/10.3390/foods13081187

SMITH, R.; JONES, T.; BROWN, A. (2024). Modern sensory evaluation techniques and standardization. Journal of Sensory Studies, vol. 39, e12874. DOI: https://doi.org/10.1111/joss.12874

SMITH, T. R.; LEE, H.; JENSEN, P. (2022). Temperature effects on enzyme kinetics and stability: A systematic review. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, vol. 37, no. 1, pp. 350–361. DOI: https://doi.org/10.1080/14756366.2022.2049502

SPAHO, N.; UROŠEVIĆ, I.; UROŠEVIĆ, T.; MIHALJEVIĆ ŽULJ, M. (2025). Application of distillation in alcoholic beverage production. En: Mass Transfer Operations in the Food Industry. Elsevier, pp. 237–282. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819536-9.00007-2

SPIRITS & DISTILLING. (2025). Charcoal filtration. Oxford Companion to Spirits and Cocktails. https://spiritsanddistilling.com/dictionary/id/acref-9780199311132-e-503/

TORRES, A., VARGAS, J., & LILLO, M. (2021). Alcohol yield estimation from grape must fermentation for wine distillation. Journal of Food Engineering, 298, 110505. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110505

VANESSA, Q.S. (ca. 2020). Diagra Flujo Vodka. https://es.scribd.com/document/482360913/diagra-flujo-vodka

WANG, G., GUO, H., HU, X., GOU, L., XIE, Y., ZHENG, C., LIAO, X., HUANG, F., HUI, Z., & LIU, Y. (2024). Construction of an amylolytic Saccharomyces cerevisiae strain with high copies of α-amylase and glucoamylase genes integration for bioethanol production from sweet potato residue. Biotechnology Reports.

WANG, Q.; ZHAO, H. (2023). Effect of mash temperature on sugar extraction from barley and corn. Journal of Cereal Science, vol. 112, 103645. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103645

ZHAO, X.; MILLER, D. (2023). Integrating intelligent sensing in conventional sensory protocols. Food Quality and Preference, vol. 101, 104702. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104702

ZHANG, H., LIU, Q., & CHEN, Y. (2023). Bioethanol production from lignocellulosic weeds using combined enzymatic and acid hydrolysis. Bioresource Technology, 379, 128941. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.12894

ZHANG, L.; WANG, Y.; LI, X. (2021). Influence of pH on catalytic efficiency and structure of alpha amylase. Applied Biochemistry and Biotechnology, vol. 193, p. 1234–1245. DOI: https://doi.org/10.1007/s12010-021-03645-9

# ANEXOS

## ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

| Título de la Investigación | Preguntas de Investigación | Objetivos de la Investigación | Hipótesis | Tipo y diseño de estudio | Población de estudio y procesamiento | Instrumento de recolección |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Optimización de parámetros de hidrólisis enzimática del almidón de dioscórea trífida con cebada malteada para la producción de vodka - Iquitos 2023 | Problema general:<br>¿Cuáles son los parámetros óptimos de hidrólisis enzimática del almidón de sachapapa (Dioscórea trífida) con malta de cebada que maximizan el rendimiento en azúcares fermentables para la producción de vodka?<br><br>Problemas específicos:<br>- ¿Cuál es la proporción óptima almidón:malta de cebada que maximiza la producción de azúcares fermentables?<br>- ¿Cuál es el tiempo óptimo de hidrólisis que maximiza la producción de azúcares fermentables?<br>- ¿Cuál es el rendimiento de producción de vodka a partir del almidón hidrolizado?<br>- ¿Cuáles son las características de calidad del vodka obtenido? | Objetivo general:<br>Optimizar los parámetros de hidrólisis enzimática del almidón de sachapapa (*Dioscórea trífida*) con malta de cebada para maximizar el rendimiento en azúcares fermentables destinados a la producción de vodka.<br><br>Objetivos específicos:<br>-- Determinar la proporción óptima almidón:malta de cebada para maximizar la producción de azúcares fermentables<br>- Establecer el tiempo óptimo de hidrólisis para maximizar la producción de azúcares fermentables<br>- Evaluar el rendimiento de producción de vodka a partir del almidón optimizado<br>- Determinar las características de calidad del vodka obtenido | Hipótesis:<br>La optimización de la proporción almidón:malta de cebada y el tiempo de hidrólisis enzimática permite maximizar significativamente el rendimiento en azúcares fermentables, viabilizando la producción eficiente de vodka de calidad a partir de sachapapa (*Dioscórea trífida*) | Tipo y diseño de estudio<br><br>Tipo de estudio: Experimental, cuantitativo, aplicado<br><br>Diseño: Diseño factorial $3^2$ con dos factores:<br>- Factor A: Proporción almidón: malta (3 niveles)<br>- Factor B: Tiempo de hidrólisis (3 niveles) 9 tratamientos con 3 repeticiones (27 unidades experimentales) | Población:<br>Tubérculos de sachapapa (*Dioscórea trífida*) de Iquitos, Loreto<br>Muestra:<br>Almidón extraído de 30 kg. De sachapapa<br><br>Procesamiento de datos:<br><br>- ANOVA para detectar diferencias significativas<br>- Prueba de Tukey para comparaciones múltiples<br>- Análisis de regresión factorial. | **Instrumentos de medición:**<br>**- Balanza analítica (proporción almidón:malta)**<br>**- Cronómetro (tiempo de hidrólisis)**<br>**- Refractómetro (°Brix)**<br>**- pH-metro**<br>**- Alcoholímetro Gay-Lussac**<br>**- Cuaderno de laboratorio**<br>**- Fichas de registro experimental**<br>**- Protocolos de análisis fisicoquímico** |

## ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE LA *DIOSCÓREA TRÍFIDA*.



**Recepción** de la Sacha papa (*Dioscórea trífida*) y **Clasificación** de la materia prima.



**Pesado** de la materia prima.



**Acondicionamiento** de la materia prima para remover la tierra y las impurezas.



**Sachapapa Pelado**



**Cortes** en forma de cubitos



**Secado** de la sachapapa cortada en cubos



**Molienda** de la sachapapa seca



**Pesado** de la harina obtenida



Obtención del mosto



Prueba de yodo



Proceso de fermentación





Proceso de destilación para la obtención del vodka







Prueba sensorial del vodka

## ANEXO 3: CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN

UNAP
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana
Facultad de Ingeniería Química-FIQ

UNIVERSIDAD LICENCIADA
RESOLUCIÓN Nº 012-2019-SINEDU/CD

RESULTADOS DE ANALISIS

Muestra : Almidón de Dioscorea trifida (Sacha papa blanca)
Tipo de Análisis : Físico-Químico
Solicitado por : Reyna Isabel Ramírez Trujillo
Melissa Gretell Urrutia Vilchez
Fecha de Análisis : 02 de octubre 2023

| Determinaciones | Muestra |
|---|---|
| Humedad (%) | 1,23 |
| Cenizas (%) | 0,06 |
| Grasa (%) | 0,86 |
| Fibra (%) | 0,05 |
| Proteína (%) | 1,49 |
| Carbohidratos (%) | 96,31 |
| Energía (Kcal/100 g muestra) | 374,86 |

Iquitos 09 de octubre 2023

Rosa Isabel Souza Nájar
DOCENTE ADSCRITO FIQ-UNAP

Dirección: Av. Freyre Nº 616, Iquitos, Perú
Teléfono: (5165) 24-3665 / 23-4101
decanatofiq@yahoo.es
www.unapiquitos.edu.pe

Escaneado con CamScanner

ANEXO 4 DETERMINACIÓN BOTÁNICA DE LA DIOSCOREA TRÍFIDA

UNAP

Centro de Investigación de
Recursos Naturales
Herbarium Amazonense — AMAZ

INSTITUCIÓN CIENTÍFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO
CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN AUT-ICND-2017-005

# CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA n.º 073-2023 AMAZ-UNAP

El Coordinador del Herbarium Amazonense (AMAZ) del Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRNA), de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

## HACE CONSTAR:

Que, la muestra botánica presentada por **REYNA ISABEL RAMÍREZ TRUJILLO y MELISSA GRETELL URRUTIA VÍLCHEZ,** bachilleres de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la **Facultad de Ingeniería Química** de la **Universidad Nacional de la Amazonía Peruana** pertenece al proyecto de tesis de pre grado titulado **"OPTIMIZACIÓN DE PARAMETROS DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE *Dioscorea trífida* CON CEBADA MALTEADA PARA LA PRODUCCIÓN DE VODKA-IQUITOS 2023.";** ha sido **DETERMINADA** en este centro de investigación y enseñanza **Herbarium Amazonense-AMAZ-CIRNA-UNAP,** como se indica a continuación:

| Nº | FAMILIA | ESPECIE | AUTOR | NOMBRE COMÚN |
|---|---|---|---|---|
| 01 | DIOSCOREACEAE | *Dioscorea trífida* | L. f. | "sacha papa" |

Determinador: Ing. Juan Celidonio Ruiz Macedo

A los dieciocho días del mes de diciembre del año dos mil veintitrés, se expide la presente constancia a los interesados para los fines que se estime conveniente.

Atentamente,

*Richard J. Huaranca Acostupa*
Coordinador Herbarium Amazonense
CIRNA - UNAP



UNIVERSIDAD LICENCIADA RESOLUCIÓN Nº 012-2019-SUNEDU/CD
Escaneado con CamScanner

ANEXO 5 ANALISIS DE CALIDAD DEL VODKA

**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.**

## INFORME DE ENSAYO
**IE-2024-3477**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.1 | Cliente | : | REYNA ISABEL RAMIREZ TRUJILLO |
| 1.2 | RUC o DNI | : | 70188054 |
| 1.3 | Dirección | : | CALLE LAS CAMELIAS 496 |

**2. DATOS DE LA MUESTRA**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2.1 | Producto | : | BEBIDAS ALCOHOLICAS |
| 2.2 | Muestreado por | : | CLIENTE [6] |
| 2.3 | Número de Muestras | : | 01 |
| 2.4 | Fecha de Recepción | : | 2024-10-29 |
| 2.5 | Periodo de Ensayo | : | 2024-10-31 al 2024-11-12 |
| 2.6 | Fecha de Emisión | : | 2024-11-20 |
| 2.7 | Fecha y Hora de Muestreo | : | No Precisa |
| 2.8 | N° de cotización | : | COT-153990-SL24 |

**3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA**

| ENSAYO | MÉTODO |
|---|---|
| Furfural | NTP 210.025:2019 - BEBIDAS ALCOHÓLICAS. Método de ensayo. Determinación de furfural. 4ª Edición |
| Esteres, como acetato de etilo<br>- Acetato de etilo | NTP 211.035:2003. BEBIDAS ALCOHÓLICAS. Determinación de metanol y de congéneres en bebidas alcohólicas y en alcohol etílico empleado en su elaboración, mediante cromatografía de gases. 4ª Edición .2019 |
| Metanol | NTP 210.022:2019. BEBIDASALCOHOLICAS. Método de ensayo. Determinación del metanol por espectrofotometría UV/VIS |

**4. RESULTADOS**

**4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA**: BEBIDA ALCOHÓLICA DESTILADA DEL ALMIDÓN DE SACHAPAPA (Dioscórea Trifida) [6]

DIEGO ROMANO BERGNARY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

## 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

**Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS**

| Código de Laboratorio | Parámetro | Unidad | LCM | Resultados |
|---|---|---|---|---|
| S-5646 | Furfural | mg/100 ml | N.A. | ND |
| | Metanol | mg/100 ml | N.A. | ND |
| | **Esteres** | | | |
| | Acetato de etilo | mg/100 ml | N.A. | 16.89 |

**ESTE INFORME REEMPLAZA AL IE-2024-3251**

**Leyenda**
LCM: Límite de Cuantificación de Método.
N.A. No Aplica.
N.D. No Detectable.
(*) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra como se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

**FIN DE DOCUMENTO**


SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.
Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.
Cel: 926640042
www.slabperu.com – contacto@slabperu.com

**Anexo 6: Resultados de la hidrolisis del almidón de la sachapapa (*Dioscórea Trífida*), en función Proporción Almidón: Malta.**

| Ensayos | Proporción Almidón: Malta (g. almidón:15 g. malta) | Tiempo hidrolisis (Minutos) | Grados Brix (°Brix) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Replica 1 | Replica 2 | Replica 3 | Promedio | ds |
| 1 | 20 | 60 | 7 | 7.5 | 7.5 | 7.33 | 0.29 |
| 2 | 20 | 75 | 7.5 | 8 | 8.5 | 8.00 | 0.50 |
| 3 | 20 | 90 | 7.5 | 8 | 8 | 7.83 | 0.29 |
| 4 | 25 | 60 | 8 | 8.5 | 9 | 8.50 | 0.50 |
| 5 | 25 | 75 | 9 | 9 | 9.5 | 9.17 | 0.29 |
| 6 | 25 | 90 | 9.5 | 9 | 9.5 | 9.33 | 0.29 |
| 7 | 30 | 60 | 10 | 10.5 | 10 | 10.17 | 0.29 |
| 8 | 30 | 75 | 10.5 | 11 | 11 | 10.83 | 0.29 |
| 9 | 30 | 90 | 11.5 | 11 | 11.5 | 11.33 | 0.29 |

**Anexo 7: Prueba sensorial del vodka**

**I.- ESCALA VISUAL: Escala de Cristalinidad para un Vodka**

Esta escala clasifica el vodka según su claridad y pureza visual, lo que es esencial para los consumidores que buscan una bebida refinada. La cristalinidad se refiere a la apariencia del vodka en términos de transparencia y la presencia de sedimentos o partículas, así como la capacidad de ver a través de él sin distorsiones.

1. Totalmente turbio: El vodka es completamente opaco, con partículas grandes y visibles suspendidas. No se puede ver a través de él y la luz no pasa fácilmente.
2. Muy turbio: El vodka presenta una apariencia nublada u opaca, con partículas pequeñas o sedimentos visibles, lo que impide una visión clara.
3. Levemente turbio: El vodka es relativamente claro, pero presenta una ligera turbidez. La luz pasa a través de él de manera limitada, y pequeñas partículas son observables bajo inspección cercana.
4. **Casi cristalino**: El vodka es casi completamente claro, aunque puede tener un leve tono nublado o pequeños sedimentos visibles solo bajo luz directa. La luz pasa fácilmente.
5. **Totalmente cristalino**: El vodka es completamente transparente y limpio, sin partículas ni turbidez. La luz pasa sin distorsión y el líquido parece puro y brillante.

**II.- ESCALA OLFATIVA: Escala de Intensidad Olfativa para un Vodka**

La intensidad olfativa se refiere a la fuerza o percepción del aroma, que puede variar desde un olor sutil hasta uno muy dominante. Un vodka con mayor intensidad olfativa puede indicar un contenido alcohólico más fuerte, un destilado de mayor calidad o la presencia de notas características.

1. **Nada perceptible**: El aroma es casi inexistente o extremadamente débil, apenas perceptible. No se detecta una sensación olfativa al acercarse al vaso.
2. **Muy débil**: El aroma es apenas perceptible, con una ligera presencia que solo se detecta al concentrarse.
3. **Moderada**: El aroma es claramente detectable, pero no resulta abrumador. Las notas predominantes, como el alcohol o el grano, son evidentes, pero bien equilibradas.
4. **Fuerte**: El aroma es claramente perceptible y fácil de identificar. Las notas complejas, como las de fermentación o destilación, son claramente detectables.
5. **Muy fuerte**: El aroma es extremadamente intenso, claramente perceptible incluso a distancia. Las notas de alcohol o características particulares del vodka (como el grano, la fruta o la hierba) son muy prominentes.

**Descripción olfativa Aroma:**

Este enfoque descriptivo olfativo permite identificar y describir las diferentes capas de aromas que un vodka puede ofrecer, proporcionando una evaluación sensorial más completa y precisa.

Ejemplo completo de descripción olfativa:

"Al acercar la nariz al vaso, el vodka presenta un aroma limpio y fresco, con una ligera nota de cereales que recuerda al trigo recién cosechado. La intensidad es moderada, y, a medida que el aroma se asienta, emergen sutiles toques de manzana verde, que aportan una sensación refrescante. La presencia de alcohol es perceptible, pero está bien equilibrada, sin resultar agresiva. El fondo es ligeramente herbáceo, como pasto recién cortado, lo que le da una sensación de frescura adicional. En conjunto, el aroma es refinado, sin defectos y agradable."

**Ejemplos de descripción olfativa para un vodka:**

1. **Notas secundarias:**

- Grano o cereal: El vodka tiene un aroma distintivo de granos, como trigo o cebada, que se percibe de manera clara y suave.
- Frutal: Puede aparecer un toque sutil de frutas frescas como manzana verde, pera o cítricos, que aportan un perfil más fresco y limpio.
- Herbáceo o vegetal: Notas de hierbas o pasto fresco están presentes, especialmente si el vodka tiene algún componente botánico o si fue destilado de una base como la papa o la remolacha.
- Alcohólico: La presencia de alcohol es pronunciada, y puede percibirse como un "quema" o un aroma fuerte, aunque no necesariamente negativo, dependiendo de la suavidad del vodka**.**

**III.- ESCALA GUSTATIVA: Descripción Gustativa para un Vodka:**

La variable gustativa descriptiva se refiere a la descripción detallada de las sensaciones y características que se experimentan al probar un vodka. Esto incluye no solo el sabor, sino también cómo se perciben otras sensaciones en el paladar, como la textura, la persistencia y las notas particulares que pueden destacar. Un análisis descriptivo de esta índole abarca varias dimensiones del gusto, tales como la dulzura, el amargor, la salinidad, la acidez y las notas que se perciben a través de la lengua.

A continuación, se presentan ejemplos de cómo se podría describir un vodka desde un enfoque gustativo descriptivo:

**Ejemplos de Descripción Gustativa para un Vodka:**

1. **Sabor principal:**

- Neutro o limpio: El vodka tiene un sabor suave y limpio, sin notas dominantes. No presenta un perfil fuerte, pero ofrece una sensación fresca y pura.
- Dulce: Se percibe un toque sutil de dulzura en el ataque inicial, lo que puede indicar una buena base de granos o papas.
- Agridulce: La entrada es levemente dulce, seguida de una ligera acidez que se percibe en la parte media de la lengua.
- Astringente: El sabor deja una sensación de sequedad en la boca, especialmente en el paladar posterior, lo que es más notorio en vodkas con un alto contenido alcohólico.

2. **Notas de fondo:**

- Granos o cereal: Un vodka de base de grano puede tener un sabor sutil a cereales, como trigo o cebada, que aparece de manera leve en el retrogusto.
- Vegetal o herbáceo: Algunas variedades de vodka, especialmente aquellas con infusión de hierbas o raíces, tienen notas frescas de pasto o cilantro.
- Frutal: En algunos vodkas de alta calidad, especialmente aquellos con toques de frutas en su destilación, se perciben notas de manzana, pera o cítricos.

3. **Textura o cuerpo:**

- Suave: El vodka tiene una textura muy suave y cremosa que se desliza fácilmente por el paladar. No es áspero ni presenta una sensación agresiva.
- Ligero: El vodka tiene un cuerpo liviano, sin mucha viscosidad ni untuosidad, lo que hace que su trago sea fácil y refrescante.
- Pesado: El vodka tiene una sensación más densa, dejando una sensación duradera en el paladar.

4. **Persistencia o final:**

- Corto: El retrogusto desaparece rápidamente después de tragar el vodka, sin dejar una sensación duradera ni huella en el paladar.
- Medio: La persistencia es moderada, dejando una sensación ligera que se desvanece lentamente después de tragar.
- Largo: El retrogusto permanece por un largo tiempo en la boca, lo que suele ser indicativo de un vodka bien elaborado, con mayor complejidad.

5. **Sensaciones adicionales:**

- Calor: Un vodka con un alto porcentaje de alcohol genera una sensación de calor en la garganta, especialmente al momento de tragarlo.
- Suavidad alcohólica: La sensación de alcohol es notoria, pero está bien equilibrada, sin ser abrasiva ni agresiva.

**Ejemplo completo de descripción gustativa:**

"Al probar este vodka, la entrada es limpia y suave, con una ligera dulzura que recuerda a cereales tostados. En el retrogusto, se perciben notas sutiles de hierba fresca, lo que le da un toque herbáceo. La textura es ligera y el cuerpo es suave, sin resultar viscoso. El final tiene una duración media, dejando una sensación refrescante en la boca, con un leve calor alcohólico que no resulta abrumador. En conjunto, este vodka presenta un perfil equilibrado, limpio y con una complejidad discreta."

Este enfoque descriptivo permite una evaluación detallada del sabor, el cuerpo y las sensaciones que el vodka genera en el paladar, proporcionando una imagen clara de sus características gustativas.

**Escala de Consistencia Gustativa para un Vodka**

Esta escala evalúa la sensación de cuerpo o textura del vodka al probarlo. La

consistencia gustativa se refiere a la suavidad, untuosidad o sensación de cuerpo que se percibe al beber el vodka.

1. **Muy ligero**: El vodka se siente extremadamente liviano, casi acuoso, sin cuerpo ni untuosidad. Se traga fácilmente sin dejar una sensación duradera.
2. **Ligero**: El vodka tiene una sensación suave y liviana, pero con algo de cuerpo. La textura es suave, pero sin mucha presencia.
3. **Media**: El vodka tiene una consistencia equilibrada, con una ligera densidad o untuosidad al pasar por la boca. No es ni demasiado ligero ni pesado.
4. **Pesada**: El vodka tiene una consistencia rica y densa, con una ligera untuosidad que le da cuerpo y estructura.
5. **Muy pesada**: El vodka tiene una consistencia viscosa y densa, con una sensación duradera en la boca. El cuerpo es notable y el líquido se siente muy untuoso.

**IV.- ESCALA DE ACEPTACION**

Escala de Aceptación para un Vodka La aceptación mide la percepción global de un vodka, evaluando su sabor, aroma, textura y apariencia. Esta escala refleja si la bebida resulta agradable para el consumidor, considerando todos los aspectos sensoriales.

1. **Totalmente insatisfactorio**: El vodka no es agradable en absoluto, con defectos marcados en sabor, aroma o textura. Su experiencia es desagradable y no se recomienda.
2. **Poco satisfactorio**: El vodka tiene varios aspectos negativos que dificultan disfrutarlo, aunque algunos elementos pueden ser aceptables. La experiencia es algo molesta o no cumple con las expectativas.

3. **Satisfactorio**: El vodka es agradable, pero no excepcional. Cumple con las expectativas básicas, pero no deja una impresión memorable. Es una opción aceptable que podría mejorar.

4. **Muy satisfactorio**: El vodka es de buena calidad, agradable en todos sus aspectos sensoriales. La experiencia es placentera y de alta calidad.

5. **Excepcional**: El vodka es sobresaliente en todos los aspectos. Sabor, aroma, textura y apariencia están perfectamente equilibrados y son extremadamente agradables, ofreciendo una experiencia de alta calidad.

Anexo 8

**Ficha Valorativa**

<table>
<tr><td colspan="9">Nombre del vodka:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Tipo de vodka:</td><td colspan="4">Aromatizante (si no es claro):</td></tr>
<tr><td colspan="5">Destilería: Fraccionada</td><td colspan="4">Origen:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Materia prima: Sachapapa Blanca</td><td colspan="4">Tipo de agua: Destilada</td></tr>
<tr><td colspan="5">Temperatura:</td><td colspan="4">Grado alcohólico: 40° GL</td></tr>
<tr><td colspan="9">Nombre del gustador:</td></tr>
<tr><td colspan="5">Lugar: LABORATORIO DE QUIMICA ORGANICA “UNAP”</td><td colspan="2">Fecha:</td><td colspan="2">Hora:</td><td>T:</td></tr>
<tr><td>FASE</td><td colspan="3">Atributo</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">VISUAL</td><td rowspan="2">Limpidez</td><td rowspan="2">Cristalinidad</td><td>VCK</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">OLFATIVA</td><td colspan="2" rowspan="2">Intensidad</td><td>VCK</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Aroma (descriptivo)</td><td>VCK</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">GUSTATIVA</td><td colspan="2" rowspan="2">Sabor (descriptivo)</td><td>VCK</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Consistencia</td><td>VCK</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Aceptación</td><td>VCK</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>VCE</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="9">Observaciones:</td></tr>
</table>

PRUEBA EDONICA

MODELO DE LA ENCUESTA

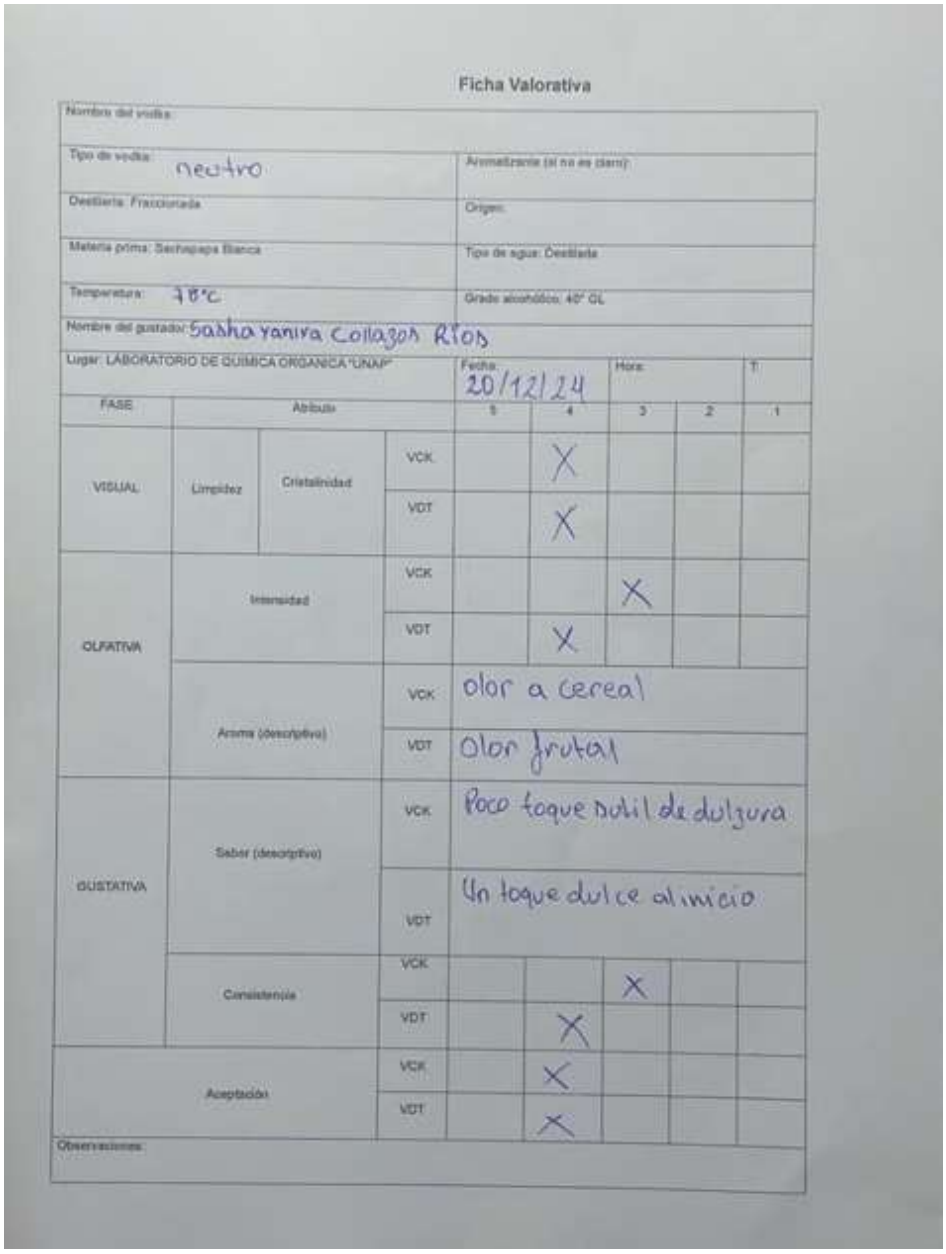
## ANEXOS 9: FOTOS DE LAS ENCUESTAS











Ficha Valorativa

Nombre del vodka:

Tipo de vodka: neutro

Aromatizante (si no es claro):

Destileria: Fraccionada

Origen:

Materia prima: Sachapapa Blanca

Tipo de agua: Destilada

Temperatura: 18°C

Grado alcohólico: 40° GL

Nombre del catador: Sasha Yanira Collazos Rios

Lugar: LABORATORIO DE QUIMICA ORGANICA "UNAP"

Fecha: 20/12/24

Hora:

T:

| FASE | Atributo | | | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VISUAL | Limpidez | Cristalinidad | VCK | | | X | | | |
| | | | VDT | | | X | | | |
| OLFATIVA | Intensidad | | VCK | | | | X | | |
| | | | VDT | | | X | | | |
| | Aroma (descriptivo) | | VCK | olor a cereal | | | | | |
| | | | VDT | olor frutal | | | | | |
| GUSTATIVA | Sabor (descriptivo) | | VCK | Poco toque sutil de dulzura | | | | | |
| | | | VDT | Un toque dulce al inicio | | | | | |
| | Consistencia | | VCK | | | | X | | |
| | | | VDT | | | X | | | |
| Aceptación | | | VCK | | | X | | | |
| | | | VDT | | | X | | | |

Observaciones:

## ANEXO 10: RESULTADOS DE LOS 26 ENCUESTADOS DEL VODKA COMERCIAL

| ATRIBUTO | ENCUESTA 1 | ENCUESTA 2 | ENCUESTA 3 | ENCUESTA 4 | ENCUESTA 5 | ENCUESTA 6 | ENCUESTA 7 | ENCUESTA 8 | ENCUESTA 9 | ENCUESTA 10 | ENCUESTA 11 | ENCUESTA 12 | ENCUESTA 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cristalinidad | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Intensidad | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 |
| Consistencia | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 5 | 5 | 2 | 5 | 5 | 3 |
| Aceptación | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 3 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 |
| TOTAL | 12 | 14 | 11 | 12 | 14 | 10 | 10 | 16 | 17 | 12 | 18 | 19 | 14 |

| ENCUESTA 14 | ENCUESTA 15 | ENCUESTA 16 | ENCUESTA 17 | ENCUESTA 18 | ENCUESTA 19 | ENCUESTA 20 | ENCUESTA 21 | ENCUESTA 22 | ENCUESTA 23 | ENCUESTA 24 | ENCUESTA 25 | ENCUESTA 26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 2 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | 4 |
| 16 | 16 | 15 | 14 | 14 | 13 | 14 | 17 | 12 | 18 | 15 | 19 | 16 |

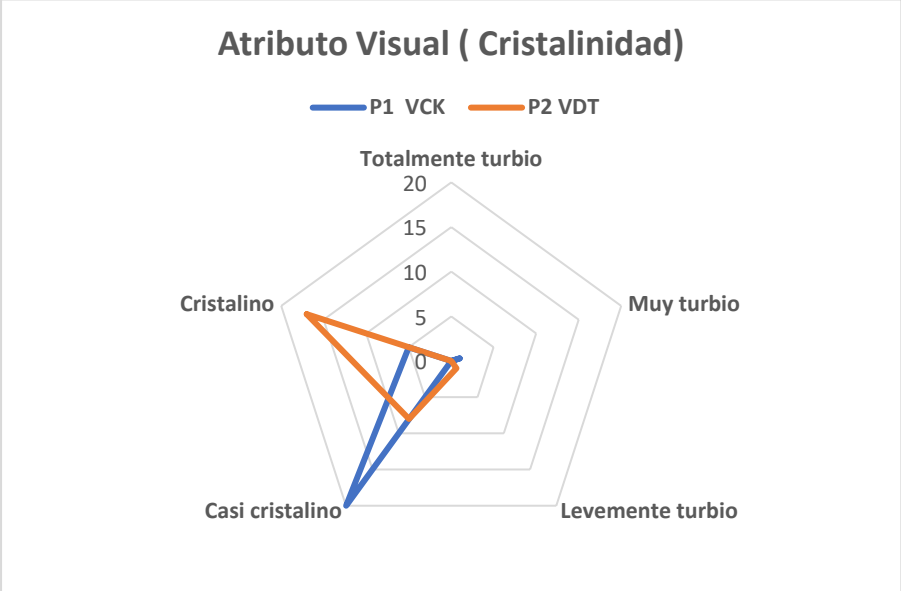
RESULTADOS DE LOS 26 ENCUESTADOS DEL VODKA DE LA SACHAPAPA BLANCA (*Dioscorea trífida*)

| ATRIBUTO | ENCUESTA 1 | ENCUESTA 2 | ENCUESTA 3 | ENCUESTA 4 | ENCUESTA 5 | ENCUESTA 6 | ENCUESTA 7 | ENCUESTA 8 | ENCUESTA 9 | ENCUESTA 10 | ENCUESTA 11 | ENCUESTA 12 | ENCUESTA 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cristalinidad | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Intensidad | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 |
| Consistencia | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| Aceptación | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| TOTAL | 14 | 14 | 12 | 14 | 16 | 12 | 12 | 15 | 14 | 19 | 14 | 15 | 15 |

| ENCUESTA 14 | ENCUESTA 15 | ENCUESTA 16 | ENCUESTA 17 | ENCUESTA 18 | ENCUESTA 19 | ENCUESTA 20 | ENCUESTA 21 | ENCUESTA 22 | ENCUESTA 23 | ENCUESTA 24 | ENCUESTA 25 | ENCUESTA 26 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| 3 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| 16 | 16 | 15 | 16 | 14 | 15 | 14 | 17 | 16 | 16 | 17 | 14 | 18 |

**Prueba sensorial del vodka**

**Visual: Cristalinidad**




Comparación visual del VCK y VDT

**PRUEBA DE WILCOXON: DIFERENCIA CRISTALINIDAD**

**Método**

η: mediana de Diferencia Cristalinidad

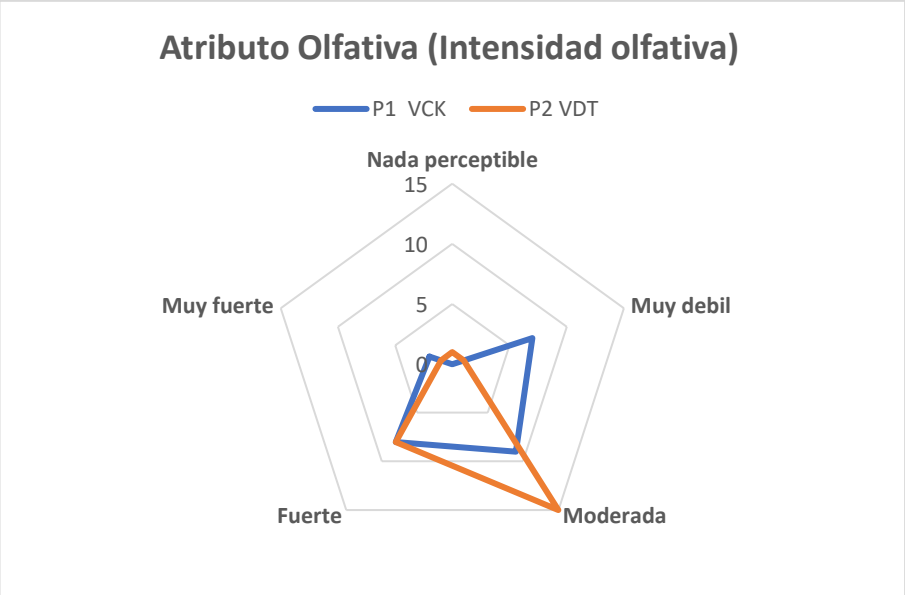
**Estadísticas descriptivas**

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Cristalinidad | 26 | -0.5 |

**Prueba**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Cristalinidad | 16 | 16.00 | 0.008 |




Comparación Olfativa del VCK y VDT

**Prueba de Wilcoxon: Diferencia Intensidad**

**Método**

η: mediana de Diferencia Intensidad

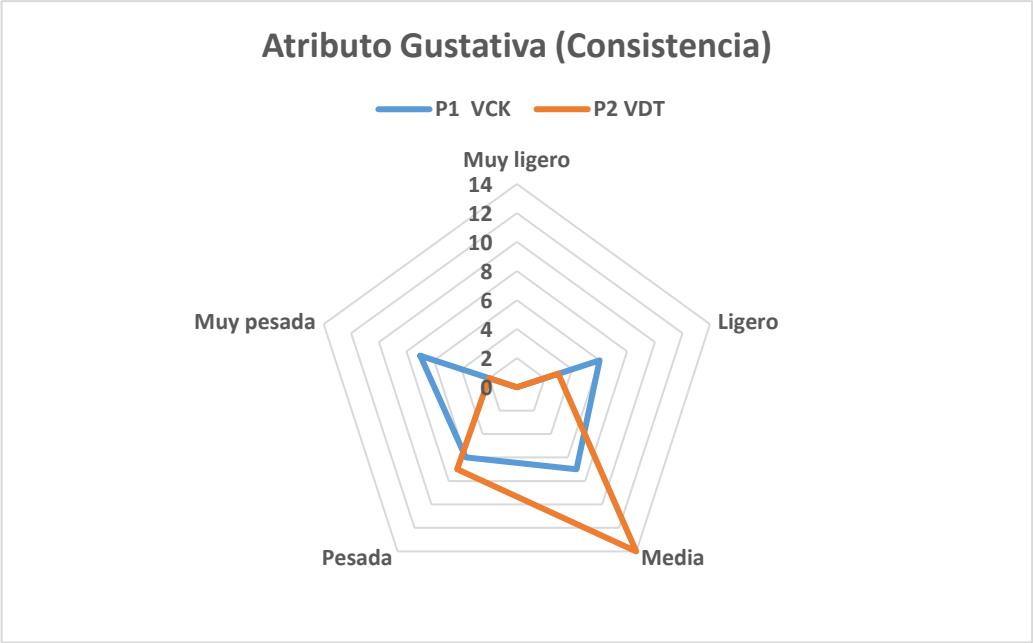
**Estadísticas descriptivas**

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Intensidad | 26 | 0 |

**Prueba**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Intensidad | 18 | 74.50 | 0.647 |




Comparación Gustativa del VCK y VDT

**Prueba de Wilcoxon: Diferencia Consistencia**

## Método

η: mediana de Diferencia Consistencia

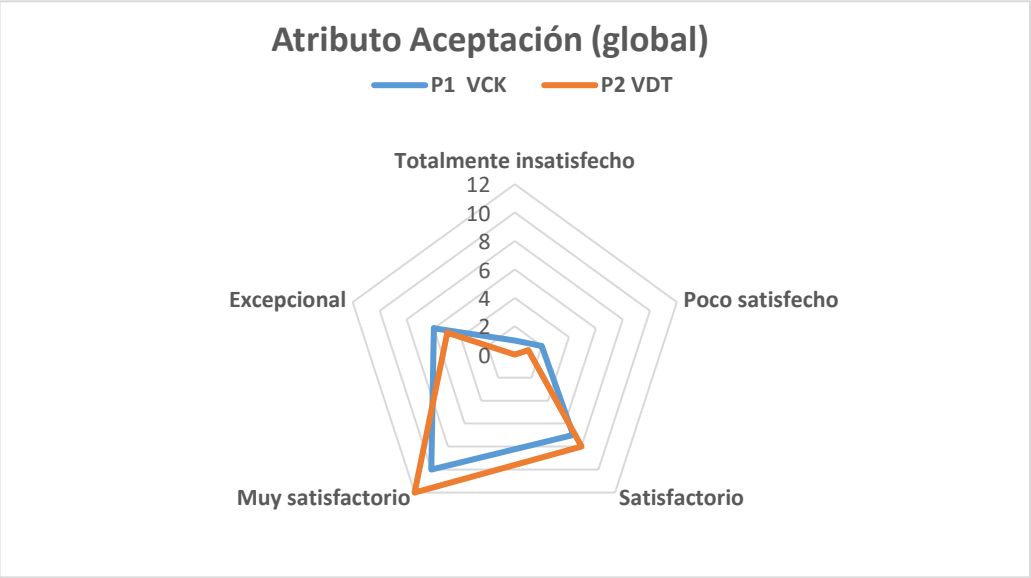
## Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Consistencia | 26 | 0.5 |

## Prueba

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Consistencia | 21 | 139.50 | 0.414 |




Comparación de Aceptación del VCK y VDT

**Prueba de Wilcoxon: Diferencia Aceptación**

**Método**

η: mediana de Diferencia Aceptación

**Estadísticas descriptivas**

| Muestra | N | Mediana |
|---|---|---|
| Diferencia Aceptación | 26 | 0 |

**Prueba**

| | |
|---|---|
| Hipótesis nula | $H_0$: $\eta = 0$ |
| Hipótesis alterna | $H_1$: $\eta \neq 0$ |

| Muestra | Número de prueba | Estadística de Wilcoxon | Valor p |
|---|---|---|---|
| Diferencia Aceptación | 21 | 100.50 | 0.614 |