

# UCUENCA

**Universidad de Cuenca**

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**Modelamiento cinético de un biorreactor y su escalado para la producción de vino blanco espumoso a base de "*Physalis peruviana*" (uvilla)**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico

**Autores:**

Andrea Rafaela Carrión Piedra

Jennifer Milexi Jiménez Coronel

**Director:**

Jorge Washington Delgado Noboa

ORCID:  0000-0002-4765-8868

**Cuenca, Ecuador**

2024 -11-25

## Resumen

La uvilla, o *Physalis peruviana*, es una fruta originaria de los Andes que se consume ampliamente en Ecuador, y puede ser usado en un sin número de productos de valor agregado. Sus características físicas y químicas la hacen adecuada para la elaboración de vinos. Este trabajo tuvo como objetivo elaborar vino usando uvillas. Se emplearon dos levaduras de la marca "Fermivin" (Champion y PDM) y una levadura de la marca "Levapan", mismas que pertenecen al género *Saccharomyces cerevisiae*, en fermentaciones bajo condiciones controladas (20 grados Brix, pH, temperatura y agitación) en un reactor prototípico. Un análisis sensorial realizado por estudiantes de décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Química indicó que la levadura "Champion" proporcionó las mejores características organolépticas al vino de uvilla. Se realizó un escalado del proceso usando el reactor Biotron Smart Gx, teóricamente ampliando la producción a un reactor de 1000 L. En el modelado cinético, la cantidad de bioetanol se cuantificó mediante el Método de *Microdifusión*, obteniendo concentraciones de 16.73 g/L en el reactor prototípico y 19.98 g/L en el reactor Biotron Smart Gx. Los datos fueron ajustados a la ecuación de *Gompertz modificada*, con índices de correlación de 0.909 y 0.927 para los reactores prototípico y Biotron Smart Gx, respectivamente.

*Palabras clave del autor:* fermentación alcohólica, reactor batch, *sacharomyces cerevisiae*



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Abstract

The uvilla, or *Physalis peruviana*, is a fruit native to the Andes and widely consumed in Ecuador. It can be used in a wide variety of value-added products. Its physical and chemical characteristics make it suitable for winemaking. The objective of this work was to produce wine using uvillas. Two yeast strains from the "Fermivin" brand (Champion and PDM) and one yeast strain from the "Levapan" brand were used, all belonging to the *Saccharomyces cerevisiae* genus, in fermentations under controlled conditions (20 degrees Brix, pH, temperature, and agitation) in a prototype reactor. A sensory analysis conducted by tenth-semester students of the Chemical Engineering program indicated that the "Champion" yeast provided the best organoleptic characteristics to the uvilla wine. The process was scaled up using the Biotron Smart Gx reactor, theoretically expanding production to a 1000 L reactor. In the kinetic modeling, the amount of bioethanol was quantified using the Microdiffusion Method, obtaining concentrations of 16.73 g/L in the prototype reactor and 19.98 g/L in the Biotron Smart Gx reactor. The data were adjusted to the modified Gompertz equation, with correlation indices of 0.909 and 0.927 for the prototype and Biotron Smart Gx reactors, respectively.

*Author Keywords:* alcoholic fermentation, batch reactor, *saccharomyces cerevisiae*



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

**Índice de contenido**

Resumen .....	2
Abstract.....	3
Índice de contenido .....	4
Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	7
Índice de ecuaciones .....	8
Dedicatoria.....	9
Agradecimientos .....	10
1. Introducción .....	12
1.1. <b>Objetivo general y específicos</b> .....	14
1.1.2.    Objetivos específicos .....	14
2. Contenido teórico.....	15
2.1. <b>Uvilla</b> .....	15
2.1.1.    Propiedades nutricionales.....	15
2.1.2.    Usos y beneficios.....	16
2.2. <b>Vino</b> .....	16
2.2.1.    Vino de frutas.....	17
2.2.2.    Tipos.....	17
2.2.2.1.    Clasificación general.....	17
2.2.2.2.    Clasificación por color.....	18
2.2.2.3.    Clasificación por gases disueltos .....	18
2.3. <b>Grados Brix</b> .....	18
2.4. <b>Acidez total</b> .....	19
2.5. <b>Potencial de hidrógeno</b> .....	19
2.6. <b>Levaduras</b> .....	19
2.7. <b>Fermentación</b> .....	21
2.7.1.    Parámetros de la fermentación .....	21
2.8. <b>Etanol</b> .....	23
2.8.1.    Cuantificación de etanol.....	23
2.9. <b>Modelado cinético</b> .....	25
2.9.1.    Modelos matemáticos .....	25
2.10. <b>Escalado</b> .....	26

2.10.1.	Principio de similitud .....	27
2.10.2.	Similitud Geométrica.....	27
2.10.3.	Similitud Dinámica .....	28
2.10.4.	Similitud Cinemática .....	28
2.11.	<b>Reactor tipo <i>Batch</i></b> .....	28
3.	Metodología .....	30
3.1.	<b>Materia prima</b> .....	30
3.1.1.	Uvilla.....	30
3.1.2.	<b>Levaduras</b> .....	30
3.2.	<b>Elaboración del mosto a partir de la uvilla</b> .....	31
3.3.	<b>Elaboración del vino de uvilla</b> .....	32
3.3.1.	Análisis bromatológico del vino de uvilla .....	35
3.4.	<b>Análisis organoléptico</b> .....	36
3.5.	<b>Escalado</b> .....	37
3.6.	<b>Modelado cinético</b> .....	38
3.6.1.	Cuantificación de bioetanol .....	38
3.6.2.	Determinación de bioetanol <i>Método de Winnick o Microdifusión</i> .....	38
3.6.3.	Modelo cinético ajustado a la ecuación de <i>Gompertz modificado</i> .....	41
4.	Resultados y Discusión.....	43
4.1.	<b>Resultados de los ensayos para la obtención de vino a partir de uvilla</b> .....	43
4.1.1.	Resultados acidez total y grado alcohólico.....	47
4.2.	<b>Resultados análisis organoléptico</b> .....	49
4.3.	<b>Resultados Escalado</b> .....	51
4.4.	<b>Resultado modelado cinético</b> .....	55
4.4.1.	Análisis resultados experimentales .....	55
4.4.2.	Curva ajustada con el modelo de la ecuación de <i>Gompertz modificado</i> .....	58
	Conclusiones .....	62
	Recomendaciones .....	64
	Referencias.....	65
	Anexos.....	75

**Índice de tablas**

Tabla 1 Composición nutricional de la uvilla.....	15
Tabla 2 Condiciones de los tipos de levadura utilizados. ....	32
Tabla 3 Medidas de los reactores utilizados para el escalado.....	37
Tabla 4 Relaciones de los reactores utilizados.....	38
Tabla 5 Formulaciones de ensayos para la fermentación .....	43
Tabla 6 Resultados ensayos preliminares.....	44
Tabla 7 Resultados ensayos 3,6,7 y 8. ....	45
Tabla 8 Resultados de acidez total y grado alcohólico.....	47
Tabla 9 Parámetros de diseño de un reactor a partir de los parámetros establecidos en el reactor 1 (prototipo) y el reactor 2 (Biotron GX batch reactor). ....	52
Tabla 10 Relación del reactor diseñado a partir de los parámetros establecidos en el reactor 1(prototipo) y el reactor 2 (Biotron GX batch reactor). ....	53
Tabla 11 Formulación del mosto para la cuantificación de bioetanol.....	55
Tabla 12 Resultados del valor de R <sup>2</sup> en el modelado en MATLAB R2023b de la ecuación de Gompertz modificado.....	60
Tabla 13 Valores de R <sup>2</sup> del modelado de la ecuación de Gompertz modificado para producción de etanol a partir de distintos sustratos.....	61

## Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo de la elaboración del mosto a partir de la uvilla. ....	31
Figura 2 Diagrama de flujo de la elaboración del vino de uvilla .....	34
Figura 3 Diagrama de flujo del Método de Winnick o Microdifusión.....	40
Figura 4 Disminución de sólidos solubles.....	46
Figura 5 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “olor”.....	49
Figura 6 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “sabor”.....	50
Figura 7 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “color”.....	51
Figura 8 Curva de concentración de bioetanol experimental y curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado reactor prototipo.....	56
Figura 9 Curva de concentración de bioetanol experimental y curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado en Biotron GX batch reactor.....	57

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Oxidación de etanol a acetaldehído.....	23
Ecuación 2 Oxidación de acetaldehído a ácido acético.....	24
Ecuación 3 Oxidación de etanol a acetaldehído.....	25
Ecuación 4 Modelo de Gompertz.....	26
Ecuación 5 Modelo de Gompertz modificado.....	26
Ecuación 6 Relación de longitud prototipo/modelo.....	27
Ecuación 7 Relación de área prototipo/modelo.....	27
Ecuación 8 Relación de volumen prototipo/modelo.....	28
Ecuación 9 Azúcar añadida.....	32
Ecuación 10 Acidez total.....	35
Ecuación 11 Tamaño de muestra.....	36
Ecuación 12 Contenido de bioetanol (g/L).....	41
Ecuación 13 Modelo Gompertz modificado .....	41

## Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, profesores y amigos de la Universidad quienes, de una forma u otra, han contribuido a nuestra formación y crecimiento personal y profesional siendo nuestras fuentes de inspiración día a día.

**Andrea Rafaela Carrión Piedra**

**Jennifer Milexi Jiménez Coronel**

## Agradecimientos

Después de todos estos años de vida universitaria y ver este trabajo como muestra de lo que he logrado, solo me queda dar gracias a todos los que me acompañaron y fueron parte de este proceso tan bonito e importante.

A mis padres y hermano quienes siempre han estado acompañándome sin importar las circunstancias y han sido mi motor en todo momento, gracias por el amor incondicional, la paciencia y sobre todo por el apoyo y la motivación, ya que sin esto no hubiese sido posible culminar esta etapa. Gracias también por todas las enseñanzas y valores inculcados que han hecho de mi la persona que soy ahora.

A mis amigos y compañeros por los gratos momentos compartidos durante toda la carrera, porque siempre que necesite supieron ayudarme, por su alegría y su amistad. En especial a mis mejores amigas Verónica, Alisson y Shelly, gracias por qué parte de esto también se lo debo a ustedes.

Agradezco a la Universidad de Cuenca, en particular a los docentes de la carrera de Ingeniería Química por su compromiso con la educación, por compartir sus conocimientos y su dedicación que han sido clave en mi formación académica. De manera especial a Ing. Jorge Delgado, quien me ha acompañado en cada paso de este trabajo de titulación, gracias por las enseñanzas, la paciencia, apoyo y confianza.

**Andrea Rafaela Carrión Piedra**

A mis padres, por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de mi vida. Sus sacrificios y enseñanzas han sido la base sobre la que he construido mis logros, y su confianza en mis capacidades me ha dado la fuerza para superar cada obstáculo.

A mis hermanos, por ser mi fuente de inspiración y fortaleza en los momentos difíciles. Su compañía y comprensión han sido un pilar en mi vida, y me han motivado a esforzarme siempre por ser mejor.

A mis mejores amigos, Melanny, Evelyn y Jorge, por los momentos de alegría y el apoyo durante este proceso. Su amistad ha sido un refugio en los momentos de estrés y su lealtad una constante motivación.

A mi abuelita Rosa, quien siempre creyó en mí incluso cuando yo dudaba de mí misma. Su amor y sabiduría me han enseñado a ser humilde y me han mostrado la bondad que existe en el mundo. Su fe en mí ha sido una luz en los momentos de oscuridad, y su ejemplo de resiliencia y amabilidad es algo que llevaré siempre conmigo.

A la familia Mendieta, por brindarme el cariño de una familia y darme la oportunidad de seguir con mis estudios. Especialmente a Alexander, por enseñarme a ser líder, por darme fortaleza y fomentar mi carácter. Su apoyo inquebrantable y su confianza en mis habilidades me han ayudado a crecer tanto personal como profesionalmente. Su ejemplo de liderazgo y su aliento constante han sido cruciales para mi desarrollo.

A mis profesores, en especial a mi tutor de tesis el Ing. Jorge Delgado, quienes con su sabiduría y guía me ayudaron a alcanzar este logro académico. Sus enseñanzas y su dedicación a mi formación me han proporcionado las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos del mundo académico y profesional.

A mi compañera de tesis Andrea, cuya dedicación, colaboración, compromiso, perseverancia y entusiasmo fueron invaluables en este proyecto de investigación. Ha sido un placer trabajar juntas y estoy agradecida por la oportunidad de compartir con una colega tan talentosa y comprensiva.

**Jennifer Milexi Jiménez Coronel**

## 1. Introducción

La escasez de innovación de bienes, productos y servicios en todo el mundo ha provocado que los productores se vean inmersos en una monotonía constante para sobresalir y destacar entre los muchos establecimientos que producen bebidas alcohólicas (Ycaza, 2010).

A nivel mundial, las bebidas alcohólicas más consumidas son; la cerveza, vino, licores, whisky, vodka, sidra, ron y ginebra. La composición de estas bebidas alcohólicas varía en mínimo uno o dos ingredientes dependiendo del país en donde sean producidas. Bielorrusia es el país mayor consumidor de bebidas alcohólicas, el cual lidera la clasificación con 14.4 L de alcohol consumidos por persona al año, seguido de Lituania, Granada, Francia, Alemania y Portugal (As.com, 2023).

Las bebidas alcohólicas de América Latina han ganado reconocimiento internacional por su calidad y sabor, esto ya que son sus propias fuentes de materia prima para la elaboración de estas. América Latina cuenta con una gran variedad de frutas exóticas, las cuales sirven como potenciadores de sabor en la elaboración de sus productos; dentro de estas tenemos; granadilla, lucuma, cocona, guanábana, naranjilla, pitahaya y uvilla (Statista Reserch Department, 2023).

Ecuador es un país que posee abundantes recursos y una gran diversidad de frutas en cada una de sus regiones, que no son aprovechadas de tal manera que existe una falta de diversidad y originalidad en el mercado de bebidas alcohólicas, ya que la mayoría de las bebidas se elaboran utilizando ingredientes convencionales como uvas, cereales y frutas comunes. Esto limita la oferta de bebidas innovadoras para los consumidores. Es un país rico en materia prima, razón por la cual es necesario aprovechar esta materia prima en su totalidad con la finalidad de abastecer las necesidades internas, tales como nuevos sabores e ingredientes, ingredientes naturales y saludables, información simple y transparente, productos funcionales.

Dada la naturaleza y las costumbres de los ecuatorianos, la agricultura ha formado parte de su idiosincrasia y medio de vida en la mayor parte del Ecuador. Actualmente, Ecuador registra exportaciones de alrededor 20 frutas endémicas, las cuales según estimaciones basadas en crecimiento y diversificación representan aproximadamente \$ 400 y \$ 900 millones anuales correspondientes del 5 % al 10 % del valor total de las exportaciones agrícolas del país entre las cuales se encuentran: orito, mango, piña, pitahaya, papaya, tomate de árbol, guanábana, tomate de árbol y uvilla.

Según (La Hora, 2023) en 2023, las exportaciones de frutas no tradicionales, excluyendo plátanos y bananos, generaron ingresos significativos. La pitahaya representó aproximadamente \$ 80 millones en exportaciones hasta mayo de 2023, mostrando un crecimiento de más del 100 % en volumen y valor. La exportación de frutas como orito, mango, piña, pitahaya, papaya, tomate de árbol y uvilla representó casi \$ 115 millones en los primeros cinco meses de 2023; indicando así un aumento a diferencia de años anteriores, con las exportaciones de frutas no tradicionales contribuyendo alrededor del 5 % del mercado total de exportaciones no tradicionales (Cámara de Comercio de Guayaquil, 2022).

La uvilla, conocida mayormente como “*Physalis peruviana*” es una fruta nativa que es consumida y producida en diferentes provincias del país por su alto valor nutricional, esta ofrece un gran potencial como materia prima para la creación de productos innovadores en este sector e incluso en otras industrias, que sin embargo es insuficientemente aprovechada. Las plantaciones de uvilla con fines comerciales se encuentran principalmente en Pichincha, Carchi e Imbabura, provincias que concentran el 74 % de la superficie de cultivos de esta fruta en el país. Otras productoras, en menor escala, son Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo (Enríquez, 2019).

En los últimos 10 años, el crecimiento de la producción de la uvilla con respecto al año previo ha ido incrementando, en el año 2013 creció un 25 %, en el año 2014 un 57 %, en el año 2015 un 39 %, en el año 2016 un 46 % (Moreno et al., 2019), en el año 2022 las exportaciones de uvilla alcanzaron un total de 9.640 kg con destinos a países europeos y principalmente a Estados Unidos, en el año 2023 se certificaron cantidades de exportaciones de más de 6.000 kg cuyos destinos fueron Estados Unidos y Canadá (Agrocalidad, 2023).

El valor de las importaciones de vino en el país ha crecido considerablemente en los últimos años – un 28 % desde 2015 hasta 2022 – llegando a alcanzar un récord histórico durante 2022, donde esta cifra se situó en 33.69 millones de euros, un 24.7 % más respecto a 2021. En cuanto a los principales proveedores de vino del país ecuatoriano, Chile es claramente líder, seguido de Argentina, España e Italia, muy similares en sus cifras, tanto en valor como en volumen importado. Cinco de los diez primeros proveedores son países europeos, los que desde 2017 se benefician del mencionado acuerdo comercial. El mercado ecuatoriano ha experimentado uno de los mayores crecimientos para las exportaciones de vino español durante 2022, un 44 % más en valor respecto a 2021, únicamente por detrás de México (Corralo, 2023).

## 1.1. Objetivo general y específicos

### 1.1.1. Objetivo general

Elaborar un vino espumoso de “*Physalis peruviana*” (uvilla), utilizando dos biorreactores y su posterior modelado cinético de la generación de etanol para su posible escalado industrial.

### 1.1.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar un vino blanco espumoso de “*Physalis peruviana*” (uvilla) utilizando tres levaduras distintas del tipo *Saccharomyces cerevisiae* en un biorreactor prototípico, garantizando un control preciso de los parámetros de calidad estipulados por la Norma INEN 374.
2. Seleccionar la levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae* más adecuada para la producción de vino de uvilla blanco espumoso mediante un análisis sensorial en términos de características organolépticas y aceptación.
3. Establecer las condiciones para el escalado de un biorreactor en el proceso de elaboración de vino de uvilla usando la levadura previamente seleccionada, estudiando su semejanza geométrica, cinemática y dinámica.
4. Aplicar un modelo cinético detallado que describa la fermentación de la uvilla en el biorreactor prototípico y su escalado.

## 2. Contenido teórico

### 2.1. Uvilla

La uvilla (*Physalis peruviana L.*) es una planta que se encuentra de forma silvestre en las regiones tropicales altas de América del Sur. Su centro de origen y diversificación se ubica en los Andes de América del Sur, con una presencia destacada en países como Perú, Colombia y Ecuador. La planta prospera de manera natural en estos entornos, aprovechando las condiciones específicas de las zonas tropicales elevadas de la región andina (Moreno & Basanta, 2021).

La uvilla, como planta, tiene una vida que oscila entre 2 y 2.5 años. La etapa productiva de esta fruta inicia aproximadamente de 5 a 7 meses después de su siembra. La uvilla se puede cosechar después de 14 a 16 semanas y de ahí en adelante de manera continua a medida que florecen y producen más frutos durante varios meses (Plantas.ec, 2012). En condiciones óptimas, la producción de uvilla comienza alrededor de los 5 meses. Sin embargo, es importante señalar que las plantaciones ubicadas a altitudes superiores a los 3000 metros sobre el nivel del mar tienden a experimentar un ligero retraso en su etapa productiva, extendiéndose de uno a tres meses más en comparación con aquellas situadas en condiciones más bajas. Por otra parte, la cantidad máxima de uvilla que se puede cosechar por árbol es de 4 a 6 kg de fruta por temporada (Moreno & Basanta, 2021).

#### 2.1.1. Propiedades nutricionales

En términos de valor nutricional, la uvilla destaca por su riqueza en vitaminas A, complejo B y C, los cuales se indicarán en la tabla 1. Contiene cantidades significativas de tiamina, niacina y vitamina B12. Asimismo, presenta altos niveles de proteína y fósforo. Su contenido en hierro, mineral esencial para la formación de glóbulos rojos, la convierte en una opción beneficiosa, especialmente para mujeres con problemas de hemoglobina debido a períodos menstruales irregulares o excesivos, como señala JAOG (2012).

Tabla 1 Composición nutricional de la uvilla.

Componentes	Contenido 100 g de parte comestible
Carbohidratos	16 g
Fibra	4.90 g
Grasa total	0.16 g
Proteína	0.05 g
Ácido ascórbico	43 mg

Calcio	8 mg
Caroteno	1.61 g
Fósforo	55.30 g
Hiero	1.23 mg
Niacina	1.73 mg
Riboflavina	0.03 mg
Vitamina A	1730.0 U.I.

Adaptado de (Torres, 2019).

### 2.1.2. Usos y beneficios

Se caracteriza por su sabor equilibrado entre lo dulce y lo ácido, lo que la hace versátil en su uso. Puede consumirse de diversas formas, ya sea fresca, seca o en almíbar. Además, es un ingrediente popular en la elaboración de mermeladas, helados, jugos, licores, yogures y como decoración en dulces y pasteles. Además de sus propiedades nutricionales, la uvilla se destaca como planta medicinal. Sus propiedades incluyen efectos estimulantes, propiedades anticancerígenas. Tiene cualidades que la convierten en un alimento saludable, y en una opción para fortalecer el sistema inmunológico y prevenir enfermedades. Dentro de sus propiedades nutricionales se encuentran: reconstrucción y fortificación del nervio óptico, eliminación de la albúmina de los riñones, purificación de la sangre, tratamiento en afecciones a la garganta, adelgazante, eliminación de parásitos intestinales, propiedades diuréticas. Además, la uvilla es una fruta rica en vitamina A y C las cuales son vitaminas esenciales para el mantenimiento y la buena calidad de la piel. Es una fruta rica en hierro mineral encargada de contribuir a la formación de los glóbulos rojos o hematíes; ayuda a mantener en buenas condiciones el sistema inmunológico. Esta fruta ha demostrado tener efectos purificadores de las vías urinarias ya que ayuda al riñón a eliminar la albúmina y otras sustancias perjudiciales para la salud. Ayuda al fortalecimiento del nervio óptico y a la prevención de las cataratas. El jugo usado externamente sobre los ojos sirve para la prevención de este mal (Díaz de Simbaña, 2019).

### 2.2. Vino

El vino es una bebida alcohólica que se obtiene mediante la fermentación total o parcial del jugo o mosto de la uva. Se trata de un producto diverso cuya variabilidad está influenciada por la variedad de uva, el proceso tecnológico de elaboración y, principalmente, los agentes fermentativos, especialmente las cepas de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* que se utilizan (Cutipa, 2019).

Desde una perspectiva química, el vino se describe como una solución hidroalcohólica que contiene diversas sustancias que conforman el extracto y proporcionan sabor, así como otras sustancias volátiles que contribuyen al aroma. Su composición mayoritaria oscila entre un 75 % y un 90 % de agua, y un contenido de etanol que varía entre el 9 % y el 14 %, pudiendo alcanzar hasta un 21 % (Vásquez, 2020).

Además, otros componentes presentes en proporciones menores, como el azúcar, taninos, sustancias volátiles y acidez, desempeñan funciones esenciales en la configuración del sabor, color y textura del vino (Rojas, 2012).

### 2.2.1. Vino de frutas

Según la normativa INEN, el vino de frutas se define como “*una bebida obtenida de la fermentación alcohólica completa o parcial de frutas, o del jugo concentrado de frutas*” (INEN, N. 374, 1987).

El vino de frutas surge de la fermentación del mosto de frutas frescas y saludables, diferentes de la uva. Aunque su proceso de elaboración sigue los mismos pasos que el vino de uva, el vino de fruta debe tener una graduación alcohólica mínima de 6 grados en el alcoholímetro (García et al., 2016).

### 2.2.2. Tipos

#### 2.2.2.1. Clasificación general

Según (Garcés, 2013) los vinos se clasifican según su forma de elaboración.

**Vinos tranquilos:** Dentro de estos tenemos los blancos, rosados, tintos, los cuales presentan un contenido alcohólico que oscila entre 9° y máximo 14.5°. Generalmente, son de carácter seco, y comparten muchas características en su proceso de elaboración.

**Vinos especiales:** En esta clasificación encontramos vinos generosos, licorosos generosos, dulces naturales, Mistelas, espumosos naturales, gasificados de aguja y enverados chacolís. Estos vinos suelen ser dulces o semidulces, y muy pocos secos, y frecuentemente poseen un elevado contenido alcohólico. En muchos casos, el proceso de elaboración difiere significativamente entre estos diferentes tipos de vinos.

## 2.2.2.2. Clasificación por color

Otra forma de clasificar a los vinos es debido a su color, esta clasificación es considerada un referente básico y casi universal:

**Vino blanco:** Se produce a través de la fermentación alcohólica de diversas frutas como uvas blancas o tintas, es el caso de esta última se separa el mosto del hollejo (piel de la fruta) inmediatamente para que no le dé color. Su característica más distintiva es su color, que varía desde el amarillo claro hasta el amarillo oscuro, incluyendo tonalidades como el amarillo verdoso o verde anís (Salvador, 2016).

**Vino tinto:** Es aquel vino de tonalidades que abarcan desde el rojo rubí hasta el morado que se produce a partir de frutas de color oscuro, fermentando el mosto junto con la piel, ya que esta última es la responsable de aportarle su coloración distintiva (Villarreal, 2022).

**Vino rosado:** Los vinos rosados vienen en una amplia gama de colores, desde el rosa salmón hasta los tonos anaranjados. Procedente de mostos de uvas tintas, y elaborado de manera que permita que la piel de la uva esté en contacto con el mosto durante la fermentación. La tonalidad que adquiere dependerá del tiempo de fermentación (Carrión & Ojeda, 2021).

## 2.2.2.3. Clasificación por gases disueltos

**Vinos tranquilos:** Son aquellos que carecen de burbujas o gas carbónico adicionado, lo que implica la ausencia de efervescencia. Se denominan "tranquilos" debido a que su proceso se da por fermentación anaerobia (Domecq, 2023).

**Vino espumoso:** Es un tipo de vino refrescante con burbujas, logrado a través de una segunda fermentación en envases sellados. Su característica chispeante se debe a la rápida formación de espuma en la copa. Este proceso retiene el dióxido de carbono liberado durante la fermentación, disolviéndose en el líquido y generando la efervescencia característica (Villarreal, 2022).

**Vino carbonatado:** Es aquel al que se le añade anhídrido carbónico independientemente si el vino posea gas de forma natural o no (Valverde, 2006).

## 2.3. Grados Brix

Los grados °Brix indican la proporción de sólidos solubles en un jugo o pulpa, expresados como porcentaje de sacarosa. Estos sólidos solubles engloban azúcares, ácidos, sales y otros

compuestos solubles en agua presentes en los jugos celulares de la fruta. La medición se realiza mediante un refractómetro calibrado a 20 °C. En caso de que la pulpa o jugo esté a una temperatura diferente, se puede ajustar el valor en °Brix según la temperatura en la que se realice la lectura (Hervas, 2011).

## 2.4. Acidez total

La acidez total de un mosto o vino se describe como la cantidad de acidez medida mediante la neutralización de las funciones ácidas hasta alcanzar un pH de 7, utilizando una solución de hidróxido de sodio de normalidad conocida, comúnmente de 0.1 N. Los ácidos preponderantes en el vino, como el tartárico, málico y cítrico, desempeñan un papel crucial en las características organolépticas de la bebida (Ocaña, 2012).

## 2.5. Potencial de hidrógeno

El pH, o potencial de hidrógeno, representa la medida de la acidez o alcalinidad de una solución. También se puede expresar como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones de hidrógeno. Este valor nos proporciona información sobre la concentración de iones de hidronio ( $H_3O^+$ ) presentes en ciertas sustancias (Morejón & Viznay, 2018).

## 2.6. Levaduras

Las levaduras son organismos eucariotas que exhiben una amplia diversidad en términos de tamaño, forma y color. Se clasifican como hongos unicelulares, y, por lo general, sus células son ovaladas, aunque también pueden adoptar formas esféricas, cilíndricas o elípticas. Poseen un diámetro de entre 4 a 5 micras, sus constituyentes macromoleculares incluyen proteínas, glicoproteínas, polisacáridos, polifosfatos, lípidos y ácidos nucleicos. Su principal componente son las proteínas, conteniendo de un 40 a un 50 % (Suárez et al., 2016).

Según (Lallemand, 2024), los nutrientes esenciales para el desarrollo, crecimiento y metabolismo de las levaduras son: el nitrógeno, las vitaminas, los minerales y otros. Son esenciales para la biosíntesis de compuestos aromáticos como alcoholes superiores, tioles y ésteres.

La mayoría de las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, aunque las condiciones óptimas para su crecimiento se encuentran en un pH que oscila entre 4.5 y 6.5 (Suárez et al., 2016). En el caso de las levaduras de panificación, como la *Saccharomyces cerevisiae*, se observa que la máxima actividad de fermentación y producción ocurre en un rango de pH entre 4 y 6. Por otro lado, las levaduras de *Saccharomyces cerevisiae* destinadas a la

producción de vino muestran una fermentación eficaz en un pH que oscila entre 3.2 y 3.8 (Loja & Velasco, 2023).

### **2.6.1.1. *Kluyveromyces marxianus***

La levadura *K. marxianus* es un microorganismo con notables habilidades que la hacen valiosa en diversos campos industriales. Su capacidad para asimilar una variedad de fuentes de carbono a altas temperaturas, superiores a los 45 °C, la distingue como un organismo termotolerante. Este atributo se convierte en una ventaja significativa, ya que permite su crecimiento en condiciones que podrían resultar inhóspitas para otras levaduras. Una de las características destacadas de *K. marxianus* es su capacidad para secretar enzimas, lo cual la convierte en una elección ideal para la producción de fructanasas. Este aspecto la ha convertido en un componente clave en la fabricación de jarabe de fructosa, una sustancia ampliamente utilizada en la industria alimentaria y de bebidas. Su aplicabilidad industrial se ve impulsada por diversas propiedades, como su rápida velocidad de crecimiento, termotolerancia, habilidad para asimilar una amplia gama de sustratos y la secreción de enzimas líticas. Además, destaca por su capacidad para llevar a cabo la fermentación y producir etanol, lo cual la convierte en un componente valioso en la producción de bebidas alcohólicas. En la industria láctea, *K. marxianus* desempeña un papel crucial debido a su capacidad para degradar la lactosa, facilitando la maduración de quesos. Asimismo, se utiliza en la fabricación de productos lácteos fermentados como el kéfir, aprovechando sus propiedades para mejorar la calidad y características organolépticas de estos productos. Otro aspecto interesante es su aplicación en la elaboración de biomasa a partir del suero de leche, contribuyendo así a la gestión eficiente de subproductos lácteos. En resumen, la versatilidad de *K. marxianus* la convierte en una herramienta invaluable en diversos procesos industriales, desde la producción de jarabe de fructosa hasta la maduración de quesos y la elaboración de bebidas alcohólicas (Loja & Velasco, 2023).

### **2.6.1.2. *Saccharomyces cerevisiae***

Es una levadura heterótrofa, es un hongo ascomiceto que obtiene la energía a partir de la glucosa y tiene una elevada capacidad fermentativa (Suárez et al., 2016). Generalmente es empleada para la elaboración de pan, cervezas, vino y alcohol. También presenta otras aplicaciones como aditivo para alimentos puesto que la *Saccharomyces cerevisiae* es considerada como microorganismo “GRAS” (Generally Recognized as Safe) (Suárez et al., 2016).

Este tipo de levaduras se basa en “hacer-acumular-consumir”. Se basa en el efecto “Crabtree”, que consiste en que *Saccharomyces cerevisiae*, incluso en condiciones

aeróbicas, no utiliza la maquinaria respiratoria para metabolizar sacáridos y promover el crecimiento de biomasa, sino que produce etanol y otros compuestos de dos carbonos. La consecuencia de este hecho es que *Saccharomyces cerevisiae* produce y acumula etanol (que es tóxico o estático para la mayoría de las otras especies microbianas capaces de competir con él por los compuestos de azúcar) y, por tanto, elimina la competencia. Una vez que *Saccharomyces cerevisiae* ha limpiado el nicho ecológico particular de la mayoría de sus competidores, continúa consumiendo el etanol producido, promoviendo así su propio crecimiento (Parapouli et al., 2020).

## 2.7. Fermentación

La fermentación alcohólica es un proceso bioquímico que permite la degradación de azúcares en alcohol y en dióxido de carbono. Las principales responsables de esta transformación son las levaduras. A pesar de parecer, a nivel estequiométrico, una transformación simple, la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de bióxido de carbono es un proceso muy complejo, pues al mismo tiempo la levadura utiliza la glucosa y nutrientes adicionales para reproducirse (Javier Vázquez et al., 2007).

### 2.7.1. Parámetros de la fermentación

#### 2.7.1.1. pH

Interviene en el crecimiento microbiano, siendo de esta manera que los microorganismos tienen un pH óptimo en donde poseen una alta velocidad tanto en el crecimiento como en el rendimiento (Guncay & Silva, 2018). La mayoría de las levaduras son relativamente acidófilas. Por lo tanto, al tener un desarrollo de bacterias lácticas al aumentar el pH se tiene como consecuencia un descenso en la producción de etanol. De esta manera, el mosto debe mantenerse en un pH ácido para garantizar el desarrollo de las levaduras fermentativas (Constante, 2015). Cuanto menor sea el pH, más lejos del pH óptimo estarán las células de levaduras para la bioconversión de los azúcares fermentables. No obstante, los valores de pH bajos protegen la batición de la contaminación por bacterias, otorgando así un rango como pH ideal para la fermentación con valores entre 3.7 y 4.6 (Rojas et al., 2011).

#### 2.7.1.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores importantes en la fermentación ya que no solo afecta el tiempo del proceso y la concentración final de etanol, sino que también puede afectar también las propiedades organolépticas de la bebida (Hernández et al., 2014). La

temperatura más adecuada para realizar la fermentación alcohólica se sitúa entre los 18-23 °C, esta temperatura es la que se emplea generalmente en la elaboración de vinos blancos. Las temperaturas que se encuentran por encima de 33 °C a 5 °C presentan el riesgo de parada de fermentación muy elevado, al igual que el riesgo de alteración bacteriana puesto que a estas elevadas temperaturas las membranas celulares de las levaduras dejan de ser tan selectivas, emitiendo substratos muy adecuados para las bacterias (Collado, 2001).

#### **2.7.1.3. Tiempo de agitación**

El tiempo de agitación influye en la velocidad de fermentación y en las características del producto final. Se presentan sabores desagradables cuando existe un tiempo prolongado de fermentación. Por otra parte, se recomienda la agitación a una determinada velocidad ya que esta mantiene las células en suspensión y facilita el contacto con los azúcares reductores (Gómez et al., 1997).

#### **2.7.1.4. Velocidad de agitación**

La variable velocidad del agitador es significativa para la formación de biomasa, cuya expresión se da en revoluciones por minuto (rpm). Además, la variable velocidad de agitación es significativa ya que es importante tener en cuenta que un incremento excesivo de este parámetro, unido al flujo de aire empleado, puede traer consigo un incremento en la formación de espuma, así como un consumo mayor de antiespumante (Rodríguez et al., 2000).

#### **2.7.1.5. Oxígeno**

La fermentación es un proceso metabólico que ocurre en ausencia de oxígeno, también conocido como anaerobiosis. La fermentación alcohólica es realizada por ciertos microorganismos, especialmente levaduras, y se utiliza comúnmente en la producción de alimentos y bebidas como el pan, la cerveza y el vino. En este proceso, las levaduras descomponen los azúcares, como la glucosa, en ausencia de oxígeno, produciendo etanol (alcohol) y dióxido de carbono como productos finales. Aunque la fermentación alcohólica no es tan eficiente en términos de liberación de energía como la respiración aeróbica (donde se utiliza oxígeno), proporciona a las levaduras una forma de generar energía en condiciones anaeróbicas (Fernández, 2005).

#### **2.7.1.6. Concentración de levadura**

El efecto del etanol en la célula es una combinación de inhibición del crecimiento y disminución de la viabilidad, puede actuar como inhibidor de la fermentación a partir de un 8 % peso/volumen. (Riegel, 1954) afirma que no es recomendable terminar la fermentación con un grado alcohólico muy elevado (Suárez et al., 2016). El etanol al ser un producto de la

fermentación puede intervenir en la ruta metabólica como resultado de la retroinhibición, no obstante, la acción inhibidora que tiene el etanol es debido que al aumentar la concentración de este va a intervenir en el metabolismo de las levaduras y reduce de esta manera la actividad (Puig i Vayreda, 2016). El etanol afecta a las tasas de crecimiento y fermentación máxima, es decir que es un inhibidor no competitivo (Constante, 2015).

#### 2.7.1.7. Concentración de sustrato

La eficiencia de la producción de etanol es dependiente de la concentración de sustrato suministrada al proceso. La pared celular de las levaduras facilita el paso de nutrientes y permite una respiración normal de la levadura. Sin embargo, cuando la presión osmótica se ve alterada, la célula puede experimentar dificultades en su proceso de respiración, especialmente cuando la concentración de azúcares supera el 22 %. Se ha observado que el rango óptimo de funcionamiento se sitúa entre el 10 % y el 18 % de concentración de azúcar, según lo indicado por (Garzón Castaño & Hernández Londoño, 2009).

### 2.8. Etanol

El etanol es una sustancia química natural presente en muchos los productos, por lo que su medición cuantitativa no solo es importante en la fabricación de vinos, cervezas y bebidas alcohólicas, sino también en las bebidas sin alcohol o con bajo contenido alcohólico, así como en jugos de frutas y otros alimentos. La determinación precisa del contenido de etanol es especialmente crucial en las bebidas alcohólicas, ya que el conocimiento del porcentaje de etanol sirve como un indicador de calidad significativo en dichas bebidas (González, 2013).

El etanol es un factor importante para el crecimiento y desarrollo en la levadura; el efecto del etanol en la célula es una combinación de inhibición del crecimiento y disminución de la viabilidad, puede actuar como inhibidor de la fermentación a partir de un 8 % (Garrido et al., 2016).

#### 2.8.1. Cuantificación de etanol

##### 2.8.1.1. Determinación de etanol mediante espectrofotometría enzimática

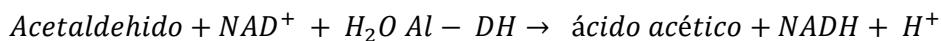
La cuantificación del etanol mediante este método implica dos reacciones enzimáticas. En la primera reacción, catalizada por el alcohol deshidrogenasa (ADH), el etanol se oxida a acetaldehído mediante el dinucleótido nicotinamida-adenina ( $NAD^+$ )

*Ecuación 1 Oxidación de etanol a acetaldehído*



Esta reacción establece un equilibrio entre el etanol y el NAD+, lo que conduce a la siguiente reacción. Esta segunda reacción es necesaria para capturar los productos, y consiste en la oxidación cuantitativa del acetaldehído a ácido acético en presencia de aldehído deshidrogenasa (Al-DH) y NAD<sup>+</sup>.

*Ecuación 2 Oxidación de acetaldehído a ácido acético*



Este procedimiento cuantifica la cantidad de NADH producido, utilizando una longitud de onda de 340 nm. La relación de estequiometría entre el NADH y el etanol se emplea para calcular la concentración deseada (Ferrel, 2011).

#### **2.8.1.2. Determinación de etanol mediante cromatografía de gases**

Esta técnica analítica se basa en separar los componentes de una muestra según su volatilidad y solubilidad, características propias de cada sustancia líquida a analizar. Resulta ideal para cuantificar compuestos orgánicos volátiles gracias a su alta sensibilidad. Sin embargo, presenta limitaciones para analitos que no son estables a la temperatura de volatilización requerida, y se aplica principalmente a compuestos con puntos de ebullición inferiores a los 400 °C. En la práctica, la muestra se volatiliza y se introduce en la cabeza de una columna cromatográfica. Dado que el etanol es estable a la temperatura de volatilización, su determinación se realiza sin inconvenientes. Dependiendo del cromatógrafo utilizado, se emplea un gas inerte (fase móvil) como helio, nitrógeno o hidrógeno, que no interactúa con la muestra y se utiliza solo con el propósito de transportar el analito (Orellana, 2018).

#### **2.8.1.3. Determinación de etanol mediante el *método de Winnick o Microdifusión***

Cuando una sustancia volátil está en una mezcla con un líquido puro, ambos expuestos al mismo aire, la parte volátil tiende a pasar de la mezcla al aire o fase gaseosa y luego a disolverse en el líquido puro, alcanzando un equilibrio. Este proceso se basa en una reacción química donde el etanol interactúa con el dicromato de potasio en ácido sulfúrico. Al llegar a un equilibrio en la reacción, se produce un cambio de color del compuesto, indicado por el paso de un tono naranja brillante a una gama que va de ocre a azul. Esta transformación permite determinar la cantidad de dicromato de potasio no reaccionado mediante técnicas como espectrofotometría o titulación con tiosulfato de sodio, utilizando el almidón como indicador de la presencia de yodo en la reacción (Hernández, 2015).

## 2.9. Modelado cinético

Los modelos cinéticos comprenden expresiones matemáticas que vinculan el comportamiento de una o más variables de interés a lo largo del tiempo, basándose en datos experimentales. La aplicación de estos modelos matemáticos para el modelado cinético de la fermentación alcohólica resulta útil en el diagnóstico de procesos lentos o estancados, así como en la evaluación y selección de condiciones operativas óptimas y en el estudio del impacto de la genómica de la levadura en dicho proceso. En el contexto de la fermentación alcohólica, algunas de las variables más relevantes incluyen las tasas de producción de metabolitos (como alcohol, glicerol, ácidos orgánicos), el consumo de sustratos (como azúcares, nitrógeno, oxígeno) y la tasa de crecimiento del microorganismo en el biorreactor, junto con el rendimiento y la productividad (Blanco, 2016).

### 2.9.1. Modelos matemáticos

#### 2.9.1.1. Modelo logístico

La función logística, una expresión matemática presente en diversos contextos como modelos de crecimiento poblacional, propagación de epidemias y difusión en redes sociales, representa una ecuación común en la descripción macroscópica del crecimiento celular, abarcando tanto las fases exponenciales como las estacionarias. Originalmente, la ecuación se plantea como un modelo independiente del sustrato, considerando la inhibición del crecimiento evidente en procesos de fermentación por lotes (Blanco, 2016).

*Ecuación 3 Oxidación de etanol a acetaldehído*

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{max} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right) * X$$

En donde:

- $X$  es la concentración de la biomasa celular en el tiempo  $t$ ,
- $\mu_{max}$  es la velocidad específica máxima de crecimiento
- $X_{max}$  es la concentración celular máxima.

#### 2.9.1.2. Modelo de Gompertz

Contempla parámetros similares al modelo logístico, como la tasa de crecimiento (que incluye factores de nacimiento y mortalidad celular) y la saturación del sistema, que representa la capacidad máxima de crecimiento. La distinción principal radica en que la tasa de crecimiento

se ve influenciada por una relación logarítmica entre la saturación del sistema y el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo (Quinteros, 2018).

*Ecuación 4 Modelo de Gompertz.*

$$u(x) = \alpha * e^{\beta*x}$$

donde:

- $\alpha$  y  $\beta$  son constantes
- $u$  mortalidad a la edad x

#### 2.9.1.3. **Modelo de Gompertz modificado**

La función de *Gompertz* se utilizó inicialmente para describir la distribución de edades en la población, posteriormente se modificó y utilizó para modelar el crecimiento de microorganismos. La derivación como ecuación de predicción de crecimiento poblacional pasó a ser conocido como el “*Modelo de Gompertz modificado*”, el cual es una función matemática que tiene un lento inicio y final, mientras que su desarrollo intermedio es rápido. A diferencia del modelo logístico, es asimétrico, siendo una función exponencial doble. Este modelo describe el aumento progresivo en función de la concentración máxima de biomasa, la velocidad máxima de producción de biomasa y el tiempo (Orellana, 2018).

*Ecuación 5 Modelo de Gompertz modificado.*

$$P = P_{max} * \exp \exp 1 \left\{ - \exp \exp 1 \left( \frac{r_{p.m} * \exp \exp 1}{P_{max}} \right) * (t_l - t) + 1 \right\}$$

Donde:

- $P$ : Concentración de bioetanol, g/L
- $P_{max}$ : Concentración máxima de bioetanol, g/L
- $r_{p.m}$ : Velocidad máxima de producción de bioetanol, g/L\*h
- $t$ : Tiempo de fermentación, h
- $t_l$  : Tiempo de Fase lag
- $\exp \exp 1$  : Número de Euler (2.7182818284 ...)

#### 2.10. Escalado

El escalamiento se caracteriza por la formulación de criterios y reglas numéricas que establecen las unidades de medida relevantes para definir un sistema grande basándose en uno pequeño, y viceversa. De este modo, a partir de la recopilación de datos en un entorno

de laboratorio, es posible emplear una técnica de escalamiento apropiada para definir un proceso a nivel piloto, el cual a su vez sirve como base para establecer un diseño para una planta industrial (Muñoz, 2017).

### 2.10.1. Principio de similitud

El principio de similitud hace referencia a la relación que existe entre sistemas físicos y el tamaño de estos, siendo básico en el escalamiento de procesos químicos y biológicos. Los sistemas físicos se caracterizan por tres cualidades: tamaño, forma y composición. Las tres variables son independientes; por ejemplo, dos objetos pueden ser diferentes en tamaño, pero tener la misma forma y composición. De acuerdo con la naturaleza de las variables, la similitud puede ser geométrica, dinámica y cinética (Oliveros, 2009).

### 2.10.2. Similitud Geométrica

Ambas estructuras deben ser físicamente idénticas para lograr una similitud geométrica. Para que esta similitud exista, el modelo debe ser una representación precisa a escala del prototipo. Aunque idealmente se busca evitar distorsionar el modelo, en muchos casos esto resulta inevitable en la práctica. Un modelo se considerará no distorsionado si la escala geométrica se mantiene consistente en todas las dimensiones (Aldana & Pérez, 2010).

La distorsión física ocurre cuando la escala geométrica difiere en alguna dirección, siendo comúnmente esta dirección la vertical. Para lograr similitud física, se reduce el tamaño del prototipo a una escala razonable. Las magnitudes relacionadas con la geometría entre el modelo y el prototipo pueden expresarse en función de sus longitudes, áreas y volúmenes homólogos, como se indica en las ecuaciones (Aldana & Pérez, 2010).

*Ecuación 6 Relación de longitud prototipo/modelo.*

$$\frac{L_p}{L_m} = L_r$$

Donde:

- $L_p$ : Longitud del reactor prototipo, m
- $L_m$ : Longitud del reactor modelo, m
- $L_r$ : Relación de longitud relativo adimensional

*Ecuación 7 Relación de área prototipo/modelo.*

$$\frac{A_p}{A_m} = A_r^2$$

Donde:

- $A_p$ : Área del reactor prototipo,  $m^2$
- $A_m$ : Área del reactor modelo,  $m^2$
- $A^2 r$ : Relación de área relativa adimensional

*Ecuación 8 Relación de volumen prototipo/modelo.*

$$\frac{V_p}{V_m} = A^3 r$$

Donde:

- $V_p$ : Volumen del reactor prototipo,  $m^3$
- $V_m$ : Volumen del reactor modelo,  $m^3$
- $V^3 r$ : Relación de volumen relativo adimensional

#### 2.10.3. Similitud Dinámica

La semejanza dinámica se relaciona con las fuerzas que aceleran o retardan masas en movimientos en sistemas dinámicos. Las fuerzas de una misma clase (gravitacional, centrífuga, etc.) que actúan sobre partículas correspondientes en tiempos correspondientes, se denominan fuerzas correspondientes (González, 2000).

Dos movimientos son dinámicamente similares si: las razones de las masas de los objetos involucrados son iguales y si las razones de la fuerza que afectan al movimiento son iguales (Calero, 2012).

#### 2.10.4. Similitud Cinemática

Se define semejanza cinemática como el conjunto de relaciones que existen entre escalas cuando se analizan sistemas en movimiento, lo que añade la dimensión del tiempo a las tres coordenadas espaciales. Entonces, dos sistemas que son geométricamente semejantes serán cinemáticamente semejantes cuando partículas correspondientes se muevan sobre trayectorias geométricamente semejantes, en intervalos de tiempo correspondientes (Páez, 2011).

Entre modelo y prototipo existe semejanza cinemática si la trayectoria de las partículas móviles homologadas es geométricamente semejante y si las relaciones entre las velocidades de las partículas homologas son iguales (Calero, 2012).

### 2.11. Reactor tipo *Batch*

Un reactor se refiere a cualquier espacio donde la materia circula, intercambia y transforma, principalmente con el propósito de producción a nivel industrial. Un reactor del tipo *Batch*,

también conocido como reactor discontinuo, intermitente o de tanque agitado, se caracteriza por carecer de flujos de entrada o salida, siendo simplemente un recipiente con un agitador para homogeneizar la mezcla. Estos reactores son altamente flexibles en su uso, ya que son fáciles de operar y tienen un bajo costo de instrumentación. Se emplean comúnmente a nivel industrial para pequeñas producciones o pruebas piloto a nivel de laboratorio (Valencia, 2021).

### 3. Metodología

#### 3.1. Materia prima

##### 3.1.1. Uvilla

La uvilla, originaria de la ciudad de Ambato en la Provincia de Tungurahua, fue adquirida en el mercado “El Arenal” ubicado en la ciudad de Cuenca debido a su proximidad y disponibilidad. Se seleccionó la fruta que presentaba características organolépticas adecuadas para su uso, tales como buen color, sabor, olor y ausencia de golpes o aberturas, lo que indicaba un correcto estado de maduración, evidenciado por su color amarillo y sabor característico.

##### 3.1.2. Levaduras

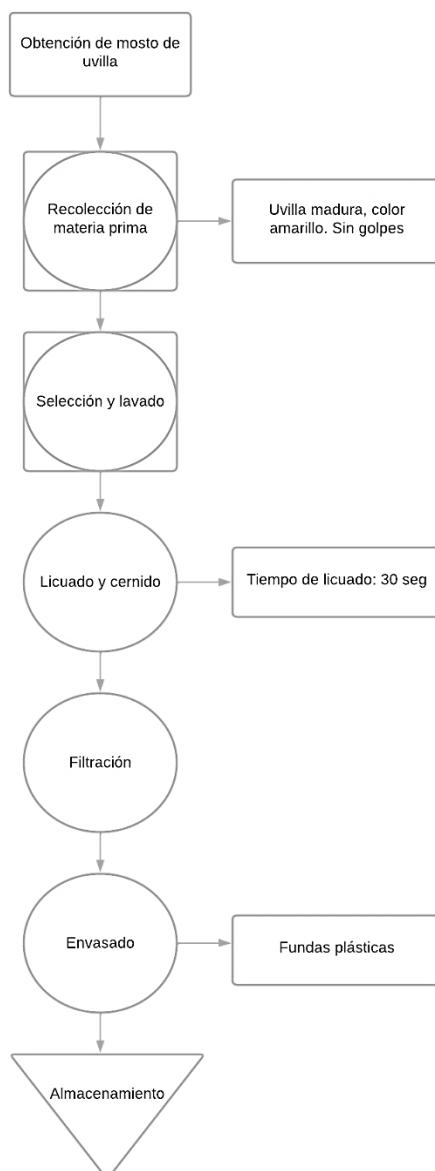
Las Levaduras que fueron seleccionadas son de la familia *Saccharomyces Cerevisiae*, provienen de la marca *Fermivin*, las cuales vienen en presentaciones en sobres de 25 g. También se hace uso de la levadura fresca de la marca *Levapan* en presentación de 500 g. A continuación, se detallan las principales características de cada levadura, según lo expuesto por el proveedor.

- ***Fermivin Champion***: se caracteriza por ser una levadura fructófila. Tiene una tolerancia al alcohol muy alta y comienza a fermentar muy rápidamente incluso en condiciones difíciles. Posee una resistencia al alcohol de un 18 %. Se recomienda su uso para la elaboración de vinos blancos, tintos, rosados y espumosos.
- ***Fermivin LS2***: es adecuada para la fermentación de vinos espumosos incluso en condiciones difíciles (temperaturas bajas, mostos muy clarificados, turbidez menor de 80 NTU), con un consumo total de los azúcares. Posee una buena capacidad para la elaboración de vinos espumosos y sidra. Resistencia al alcohol de 16 %.
- ***Fermivin PDM***: lleva a cabo unas fermentaciones alcohólicas rápidas y completas en la mayoría de las condiciones de vinificación: amplio intervalo de temperaturas y grados alcohólicos altos. Se adapta perfectamente a la elaboración de vinos tintos, blancos y vinos frutales. Su resistencia al alcohol es de un 16 %. Se recomienda su uso para la elaboración de vinos blancos, tintos, rosados y espumosos.
- ***Levapan fresca***: es de fácil manipulación, aunque presenta limitaciones en cuanto a la fermentación y la calidad sensorial que aporta al vino, ya que su uso comúnmente se asocia a la elaboración de pan.

### 3.2. Elaboración del mosto a partir de la uvilla

A continuación, se detalla los procesos para la elaboración del mosto. Se realiza la recolección de la fruta “*physalis peruviana*” uvilla. Se procede a seleccionar las uvillas realizando una separación entre las que presenten golpes, rayones, color diferente al amarillo, olor desagradable, etc. de las que se encuentren en perfectas condiciones físicas (color amarillo, olor característico a uvilla y buena forma). Las uvillas que presentaron perfectas condiciones físicas fueron lavadas, secadas y pesadas. Para el licuado se usó una relación uvilla/agua de 1:1.1. Luego de cernir se dividió el volumen en dos partes iguales. Se almacenó en el congelador a una temperatura menor a 4 °C. El procedimiento está explicado en el diagrama de flujo 1.

Figura 1 Diagrama de flujo de la elaboración del mosto a partir de la uvilla.



### 3.3. Elaboración del vino de uvilla

A continuación, se detalla los procesos para la elaboración del vino. Se descongeló el mosto y posteriormente se filtró. Para el análisis fisicoquímico del mosto, se midió los sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) y el pH. Según los resultados obtenidos de sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), se realizaron los cálculos correspondientes para la adición de azúcar con la ecuación 9.

*Ecuación 9 Azúcar añadida.*

$$\text{Azúcar añadida} = \frac{Pj(Bd - Bm)}{100 - Bd}$$

Donde:

- Pj: peso del mosto
- Bd:  $^{\circ}\text{Brix}$  deseados
- Bm:  $^{\circ}\text{Brix}$  del mosto

La fermentación se llevó a cabo en un reactor tipo *Batch* “Reactor 1 (reactor prototipo)”, el mismo permitió controlar la temperatura y mantuvo una agitación constante. Se realizaron 8 ensayos, 2 de ellos fueron preliminares en los que se usó levadura de pan fresca, con el fin de determinar el tiempo de duración de la fermentación. La dosificación de las levaduras vinílicas se estableció de acuerdo con las especificaciones del proveedor “Fermivin”, lo cual, se encuentra especificado en la siguiente tabla:

*Tabla 2 Condiciones de los tipos de levadura utilizados.*

Tipo de levadura	Cantidad (g/L)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
<i>Fermivin Champion</i>	0.2	14-35
<i>Fermivin LS2</i>	0.2	14-28
<i>Fermivin PDM</i>	0.2	13-30

Fuente: Fermivin

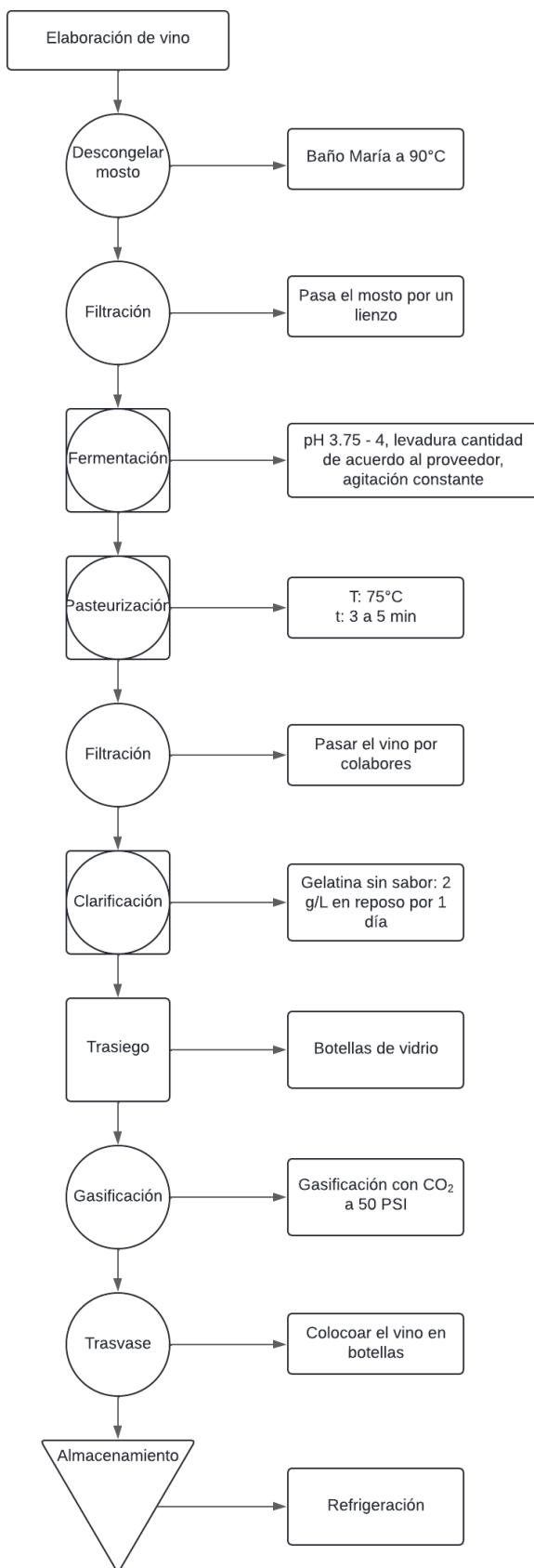
Para la levadura de pan se realizó dos ensayos preliminares, donde se utilizó como referencia 2 g por L de mosto, en ensayos posteriores se agregó 0.2 g, siendo la misma dosificación de las levaduras vinílicas, con el objetivo de que todos los ensayos se encuentren en las mismas condiciones. El proveedor “Fermivin” en sus instrucciones establece lo siguiente: la levadura se debe activar en un volumen de mosto 10 veces mayor a la cantidad, a esto se debe colocar una cantidad mínima de azúcar, a una temperatura de 30  $^{\circ}\text{C}$ . Siguiendo estos pasos, la levadura se dejó reposar durante 20 minutos en un vaso de precipitación, lo que permitió su correcta activación.

Se colocó el mosto en el reactor a temperatura ambiente, el bicarbonato de sodio (en el caso de ser necesario para disminuir la acidez, razón por lo que se usó solamente en los primeros ensayos), se agitó y por último se agregó la levadura activada y 0.25 g de nutriente, finalmente se cerró herméticamente el reactor y se programó la agitación a 30 rpm para los cuatro tipos de levaduras de la familia *Saccharomyces cerevisiae* y la temperatura de acuerdo con las especificaciones del fabricante “Fermivin”, que fue de 20 °C para todas.

Además, la medida de los sólidos solubles (°Brix), se realizó a diferentes horas después de iniciada la fermentación, hasta cuando las mediciones de los sólidos solubles (°Brix) empezaron a ser constantes. El pH únicamente fue medido al inicio de la fermentación y al culminar la misma.

Una vez terminada la fermentación, el vino se pasteurizó para desactivar la levadura y que este deje de consumir los azúcares, asegurando que no se llegue a la ebullición ni se elimine alcohol, mientras se controla la cantidad de espuma producida por la acción residual de la levadura. Luego pasó el vino a un proceso de filtración para continuar al proceso de clarificación. Posteriormente, se realizó el trasiego. Se ingresó el vino en un Cornelius de 20 L en el que se inyecta el dióxido de carbono con ayuda de un regulador. Después fue retirado del Cornelius, envasado y en refrigerado. El proceso se explica en el diagrama de flujo que se observa en la Figura 2.

Figura 2 Diagrama de flujo de la elaboración del vino de uvilla



### 3.3.1. Análisis bromatológico del vino de uvilla

Para verificar que el producto elaborado es adecuado para el consumo humano se realizó dos análisis: acidez total y grado alcohólico, cabe mencionar que, la norma INEN 374 “Bebidas alcohólicas. Vino de frutas”. Establece los valores mínimos y máximos permisibles para los ensayos antes mencionados.

#### Acidez total

Dado que la Norma INEN 374 ha sido actualizada y ahora requiere que la acidez total se exprese en términos de ácido tartárico, se decidió determinar la acidez total de acuerdo con la Norma INEN 341 debido a la falta de reactivos en el laboratorio de la Universidad de Cuenca y considerando que el ácido tartárico se encuentra en gran cantidad en la uva. Para esto, se basaron en los límites establecidos por la versión anterior de la norma 374.

Se determinó la acidez total, por medio de titulación con hidróxido de sodio, colocando 5 gotas de fenolftaleína como indicador.

*Ecuación 10 Acidez total.*

$$\text{Acidez total: } 2.4 * \frac{V}{G}$$

Donde:

- Acidez total: expresada como ácido málico en g por 100 cm<sup>3</sup> de alcohol anhidro.
- V: volumen de solución 0.1 N de NaOH usado en la titulación, en cm<sup>3</sup>.
- G: grado alcohólico de la muestra en °GL.

#### Grado Alcohólico

Para la determinación del grado alcohólico se empleó la Norma INEN 374, en donde indica que el procedimiento a seguir para este análisis se debe basar en la Norma INEN 360, a cual establece el método del picnómetro, especificando el uso de un picnómetro de 50 ml, no obstante, el laboratorio de la Universidad de Cuenca no dispone uno con cuya capacidad, en consecuencia, se empleó un picnómetro de 2 ml, dando resultados erróneos, por esa razón, se estableció medir el grado alcohólico, con el alcoholímetro, usando una muestra previamente destilada a través de destilación fraccionada, fundamentada en la norma INEN 340.

Siguiendo el procedimiento que indica la norma INEN 340 se transfirió 100 ml de vino a un matraz de destilación, en donde posteriormente se destiló la muestra. La cantidad de destilado recolectado se aforó con agua destilada. Se introdujo el alcoholímetro haciéndole girar suavemente para la lectura del grado alcohólico.

### 3.4. Análisis organoléptico

En esta parte se realizó un análisis sensorial de los vinos elaborados a partir de uvilla usando tres diferentes levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*, mediante una prueba de catación. Esta fue llevada a cabo en el laboratorio de cárnicos de la Universidad de Cuenca, con la colaboración de estudiantes de décimo ciclo de la carrera de Ingeniería Química. Este grupo fue seleccionado ya que, al ser el ciclo superior, los estudiantes presentan sólidos conocimientos de las distintas asignaturas impartidas, de manera que pueden determinar e identificar diferencias en las características organolépticas de los vinos de forma correcta.

Los estudiantes de décimo ciclo son un total de 54, de este número de debe determinar un tamaño de muestra, la cual se puede calcular con la siguiente fórmula:

*Ecuación 11 Tamaño de muestra.*

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N - 1) + Z^2pq}$$

Donde:

- n = número de muestra
- N = tamaño de la población
- p = total de encuestas positivas
- q = total de encuestas negativas
- Z = constante de acuerdo al nivel de confianza
- E = error

Se llevó a cabo una encuesta de cata utilizando una escala que abarca desde "Desagradable" hasta "Muy agradable" con una calificación de 1 a 5 respectivamente, todo esto en base a (Villagómez, 2013). Esta encuesta se diseñó para evaluar qué levadura conservó mejor las propiedades organolépticas del vino de uvilla. Los participantes respondieron preguntas similares a las de una hoja de catación, considerando tres aspectos principales: olor, sabor y color del vino. Es importante destacar que los catadores no eran expertos, lo cual podría

haber afectado la precisión de los resultados. Sin embargo, los datos proporcionan una perspectiva útil sobre la preferencia general.

Las muestras de vino se presentaron en vasos desechables transparentes, cada uno etiquetado con el nombre de una de las tres levaduras utilizadas en la elaboración: "Levapan", "PDM" y "Champion". Esto facilita que los estudiantes diferencien correctamente las muestras. Durante la cata, los estudiantes contarán con galletas de sal "Nestlé" y agua en un vaso, diseñados para limpiar el paladar entre cada muestra de vino. Este proceso mejora la experiencia sensorial, permitiendo una mejor apreciación de cada detalle del vino evaluado.

### 3.5. Escalado

El escalado es un proceso complejo que implica la ampliación de un reactor a una escala mayor manteniendo las mismas condiciones de operación y eficiencia. Para la realización del escalado medimos dos reactores, el Reactor 1 (Reactor prototipo) y el Reactor 2 (Smart Gx de la marca Biotron) para realizar una recopilación de datos, de la cual se obtuvo que las medidas son las que se presentan a continuación en la tabla 4.

*Tabla 3 Medidas de los reactores utilizados para el escalado.*

Medida	Nomenclatura	Reactor 1 (Prototipo)	Reactor 2 (Biotron GX batch reactor)	Reactor 3 (1000 L)
HL	Altura del líquido	12	18.4	141
Dt	Diámetro del tanque	12	13.26	94
Di	Diámetro agitador	3.9	6.018	29
Hi	Altura desde el fondo del tanque hasta el agitador	3.9	1.6	33
Wi	Alto agitador	0.8	1.5	6
Wb	Ancho deflectores	0.98	1.4	9
Li	Ancho agitador	4	2.16	7

Seguido de un análisis de parámetros comprendiendo la forma en que estos afectan a la operación de cada reactor se realiza el escalado mediante fórmulas establecidas obteniendo de esta forma las diferentes relaciones entre cada reactor tal y como se puede observar en la tabla 5 asegurando que las condiciones de reacción y la conversión sean las mismas que en el otro reactor.

Tabla 4 Relaciones de los reactores utilizados

Relación	Reactor 1 (Prototipo)	Reactor 2 (Biotron GX batch reactor)	Reactor 3 (1000L)
HL/Dt	1.00	1.39	1.50
Wb/Dt	0.08	0.11	0.10
Wi/Di	0.21	0.25	0.21
Di/Dt	0.33	0.45	0.31
Hi/Dt	0.33	0.12	0.35
Li/Di	1.03	0.36	0.24

### 3.6. Modelado cinético

#### 3.6.1. Cuantificación de bioetanol

Para la determinación de bioetanol se parte de los resultados obtenidos del análisis organoléptico, en el cual se define por nivel de aceptación que tipo levadura da las mejores propiedades al vino, y con ella llevar a cabo esta parte experimental.

Se realiza una fermentación en dos reactores diferentes, reactor 1(prototipo) y reactor 2 (Biotron GX batch reactor).

#### 3.6.2. Determinación de bioetanol *Método de Winnick o Microdifusión*

Para determinar la curva de producción de bioetanol se evaluó el contenido de bioetanol mediante el Método de Winnick o Microdifusión a lo largo de la fermentación alcohólica, con toma de muestras cada 6 horas durante las primeras 48 horas de experimentación y después de esto cada 8 horas hasta que se cumplan 72 horas de fermentación. Las muestras fueron tomadas y debidamente etiquetadas en tubos de plástico para centrífuga.

Las muestras contenidas en los tubos se colocaron en la Centrífuga (Wincom, 80-3) a 4000 RPM, posteriormente se tomó 1 ml y se aforó a 100 ml con agua destilada. Para determinar el factor de dilución se realizaron pruebas previas con diluciones de 1:50 y 1:100, obteniendo mejores resultados con esta última. De esta manera se procedió con la determinación de bioetanol siguiendo el procedimiento de Orellana (2018).

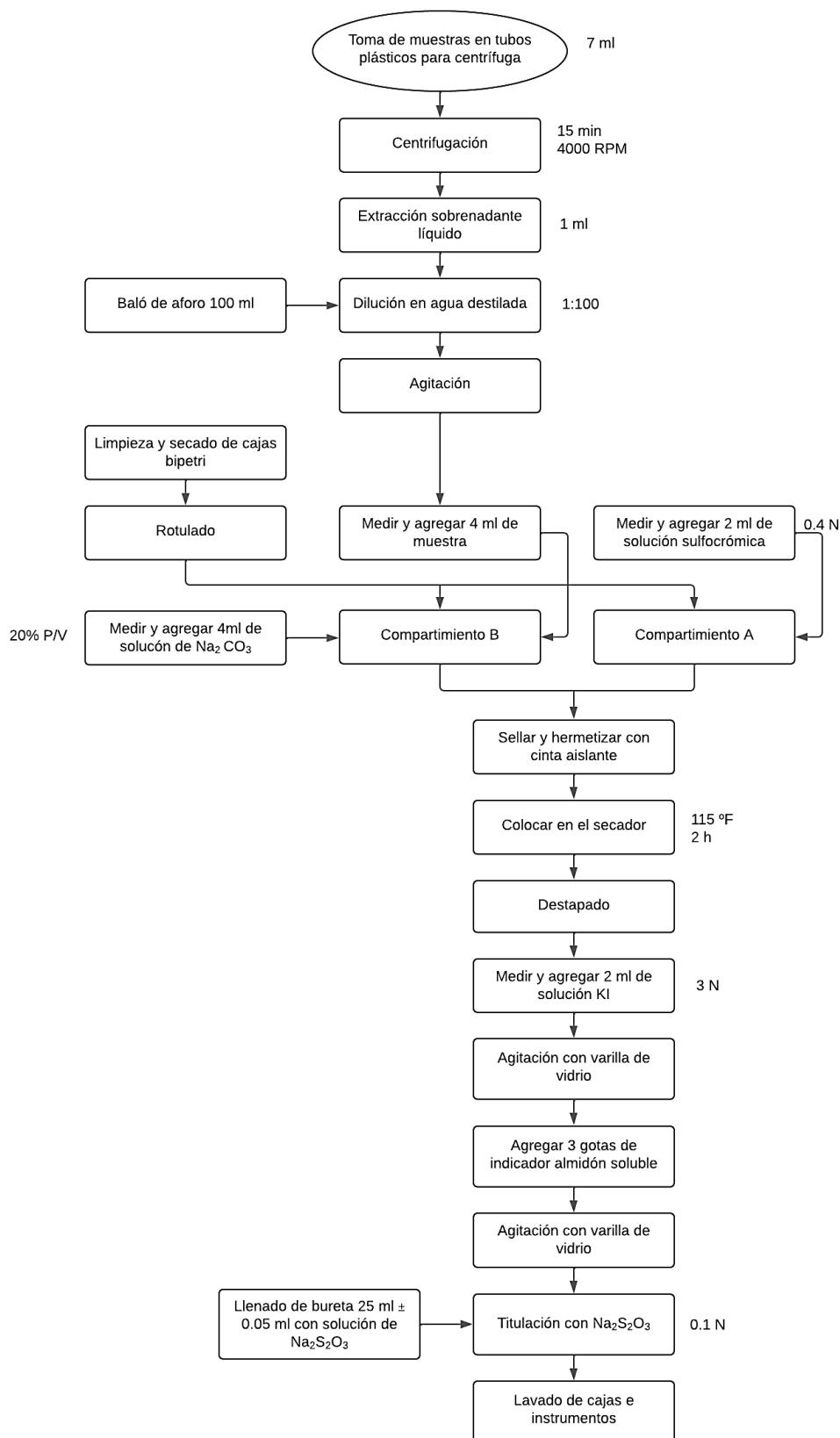
Se colocó 2 ml de una solución de dicromato de potasio 0.4 N preparada en una solución de ácido sulfúrico 10 N en el compartimento A. En el compartimento B se añadió 4 ml de la muestra aforada a 100 ml. Después se adicionó 4 ml de la solución de carbonato de potasio

al 20 % p/v en el compartimiento B. Luego se cerró herméticamente la caja bipetri y se introdujo dentro del secador.

Posteriormente se observó la coloración del compartimiento A de la caja bipetri (si el color es amarillo la muestra se considera libre de bioetanol o con una cantidad medible, si el color es azul, se debe repetir el análisis utilizando diluciones de la muestra. Si el color difiere hacia amarillo ocre, verde o verde azulado se debe proceder con la titulación).

En el compartimiento A se agregó 2 ml de solución de KI 3N y se agitó. De solución indicadora de almidón soluble se adicionó 3 gotas en el compartimiento A. Finalmente se tituló con solución de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta que se observó un cambio de coloración de café a un nítido azul marino. El procedimiento está explicado en el diagrama de flujo en la figura 3.

Figura 3 Diagrama de flujo del Método de Winnick o Microdifusión.



Fuente: (Orellana, 2018)

### 3.6.2.1. Cálculo de etanol

De acuerdo con la estequiometría de la reacción, la diferencia que hay entre el volumen de tiosulfato de sodio gastado en blanco y la muestra problema multiplicado por el factor 11.15 y por la normalidad del tiosulfato de sodio 0.1 N nos da como resultado los mg de bioetanol en 1 ml de muestra (Orellana, 2015).

Se calculó el contenido de bioetanol en la muestra con la siguiente ecuación, donde el resultado se expresa en g/L.

*Ecuación 12 Contenido de bioetanol (g/L)*

$$\text{Etanol} = \frac{N * (Vb - Vm)}{VM} * 11.15$$

Donde:

- N: Normalidad del tiosulfato.
- Vb: Volumen de tiosulfato consumidos en la titulación del blanco.
- Vm: Volumen de tiosulfato consumidos en la titulación de la muestra.
- VM: Volumen de la muestra.
- 11.15: Peso molecular del etanol / 4 (reacción Redox)

### 3.6.3. Modelo cinético ajustado a la ecuación de *Gompertz modificado*

Para el ajuste del modelado cinético mediante la ecuación de *Gompertz modificado* se requiere las concentraciones de bioetanol de cada uno de los experimentos obtenidos por el Método de Microdifusión. Se utilizó el software MATLAB R2023b en el que se escribió un código de la rutina “Método de mínimos cuadrados no lineales de *Levenberg-Marquardt*”, el cual modela la ecuación de *Gompertz modificado*, proporcionándonos una curva y el valor del coeficiente de correlación de cada experimento. El código se puede ver en los anexos 2, 3 y 4.

*Ecuación 13 Modelo Gompertz modificado*

$$P = P_{max} * \exp \exp \left\{ - \exp \exp 1 \left( \frac{r_{p.m} * \exp \exp 1}{P_{max}} \right) * (t_l - t) + 1 \right\}$$

Donde:

- P: Concentración de bioetanol, g/L
- $P_{max}$ : Concentración máxima de bioetanol, g/L
- $r_{p.m}$ : Velocidad máxima de producción de bioetanol, g/L\*h
- t: Tiempo de fermentación, h
- $t_l$ : Tiempo de Fase lag
- $\exp \exp 1$ : Número de Euler

En el código a más de ingresar los datos de concentración de bioetanol expresado en g/L, se ingresó también el valor del tiempo en la fase de latencia, que en este caso se tomó como 2 horas, la concentración máxima de bioetanol corresponde al valor más alto que se registre con la parte experimental.

#### 4. Resultados y Discusión

##### 4.1. Resultados de los ensayos para la obtención de vino a partir de uvilla

La siguiente tabla presenta las condiciones iniciales y las cantidades utilizadas en cada uno de los ensayos para la fermentación. Se especifican las cantidades de uvilla y agua, levadura y azúcar empleadas, así como el pH y grados °Brix.

*Tabla 5 Formaciones de ensayos para la fermentación*

		Ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de levadura	-	Levapan	Levapan	Champion	LS2	LS2	PDM	Levapan	Levapan
Cantidad de levadura	G	2	2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Uvilla	Kg	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agua	L	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Cantidad de Mosto	L	1.5	1	1	1	1	1	1	1
pH	-	3.3	3.36	3.32	3.6	3.46	3.5	3.4	3.49
Brix inicial jugo	°Brix	4.1	4.1	4.3	4.2	3.8	4.4	4.3	4.9
Brix ajuste	°Brix	24	18	20	22	20	20	20	20
Azúcar	G	467.9	164.6	167.2	215.8	189.28	188.95	178.17	152.7

Se realizaron dos ensayos preliminares con levadura de pan marca *Levapan*, esto con el objetivo de determinar el tiempo aproximado de fermentación y los °Brix con los que se obtenga un sabor dulce. Para la dosificación de la levadura se tomó como referencia el trabajo de Loja & Velasco (2023) donde usan 2 g/L, dando los siguientes resultados:

Tabla 6 Resultados ensayos preliminares

Parámetros		Ensayo preliminar 1	Ensayo preliminar 2
Tipo de levadura		<i>Levapan</i>	<i>Levapan</i>
Brix Ajuste	°Brix	24	18
Brix Final	°Brix	16.4	10
Tiempo de fermentación	Horas	86	70
pH final	-	3.22	3.26

Como se puede observar en los datos, el tiempo de fermentación a una misma dosis de levadura es mucho mayor si se ajusta a más altos grados brix ya que las levaduras necesitan más tiempo para consumir mayor cantidad de azúcar del mosto. Además, estos ensayos preliminares fueron de utilidad para definir que la relación uvilla/agua de 1:1.1 se usaría en todos los ensayos y que de la misma manera los grados °Brix ajustado a 20.

El ajuste de grados Brix a 20 en todos los ensayos se basó en los estudios previos de Maldonado (2019), en donde se elabora un vino de uvilla y naranja en diferentes proporciones, obteniendo los mejores los mejores resultados en cuanto aceptación con un ajuste de 21. Un parámetro importante para considerar el ajuste a 20 grados Brix se tomó en cuenta lo estipulado en la Norma INEN 374 con respecto al contenido de azúcar en los vinos de frutas, en donde se establece que un vino dulce debe tener un contenido mínimo de 50.1 g/L y sin un valor como máximo. Por lo tanto, con un ajuste de 20 grados Brix se cumple con este parámetro.

Además, se tomó en consideración los resultados que presentaron otros estudios como el de Bedoya et al. (2005), en el cual se hacen pruebas a distintos grados Brix para un vino a partir de naranja dulce, donde a 20 grados Brix se adapta mejor la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. De igual manera Lucero (2015) menciona que los grados brix propios de la fruta no son suficientes para generar la producción de alcohol, por lo que es necesario el ajuste, alcanzando una buena aceptación a 20 grados y con un buen rendimiento en cuenta a costos de producción.

En los siguientes ensayos se tomó en consideración la recomendación del proveedor para las levaduras vinílicas en el que se especifica que se debe usar una cantidad de 0.2 g/L, este valor se mantuvo constante también para la levadura *Levapan*, con el fin de que todas las pruebas estuviesen a las mismas condiciones. Otros parámetros que se mantuvieron en todos los ensayos fueron la velocidad de agitación a 30 rpm, temperatura a 25 °C y el nutriente de levadura de 0.25 g/L. Con estas condiciones se obtuvo:

Tabla 7 Resultados ensayos 3,6,7 y 8.

Parámetros		Ensayo 3	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8
Tipo de levadura		<i>Champion</i>	<i>PDM</i>	<i>Levapan</i>	<i>Levapan</i>
Brix Ajuste	°Brix	20	20	20	20
Brix Final	°Brix	13.6	13.8	15.7	14.1
Tiempo de fermentación	Horas	50	52	51	53
pH final	-	3.27	3.4	4.41	3.32

En los ensayos 4 y 5 se usó la levadura *LS2* del mismo proveedor “Fermivin” la cual durante la fermentación presentó gran cantidad de espuma, un olor muy fuerte y una viscosidad no deseada en el vino, debido a estas razones se descartó esta levadura. Las características de la levadura *LS2* nos indican que son ideales para vinos espumosos incluso en condiciones difíciles, sin embargo, también posee una buena capacidad para la elaboración de sidra. Por la particularidad de la uvilla de ser ligeramente ácida, podemos suponer que en este caso la levadura formó una sidra, motivo por el que no se obtuvo la consistencia, sabor y olor deseado del vino.

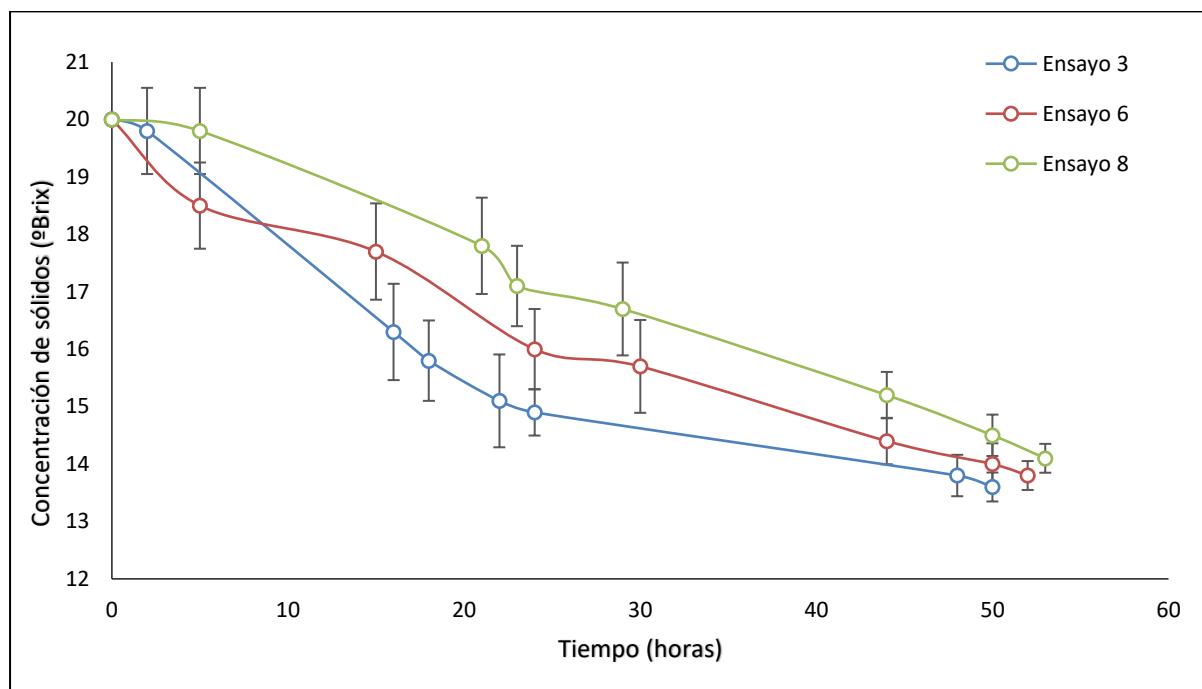
Una situación similar ocurrió en el ensayo 7 en el que se usó levadura *Levapan*, en este caso se llegó a cumplir el tiempo de fermentación, pero no hubo una reducción de grados Brix a diferencia de otros ensayos como el 3 y 6, las propiedades del vino que se obtuvo fueron iguales a los ensayos 4 y 5 por el olor, aunque la consistencia fue menos viscosa no era lo deseado, por lo que se repitió el ensayo.

En el artículo de Bullé Rêgo et al. (2022), se destaca la importancia de controlar la contaminación durante el proceso de elaboración del vino, particularmente en las etapas de fermentación alcohólica y maloláctica. Uno de los principales factores a considerar es la baja producción de compuestos sensorialmente indeseables, como acetaldehído, acetoína y ácido acético. La presencia de compuestos indeseables puede provocar la formación excesiva de gas durante el embotellado, la aparición de sabores desagradables, turbidez, películas superficiales y formación de sedimentos. En el ensayo 7, el fallo pudo deberse a una serie de factores relacionados con la contaminación microbiana y química. Es posible que no se haya logrado un control adecuado de los microorganismos no deseados, lo que llevó a una producción elevada de compuestos indeseables como acetaldehído y ácido acético. Estos compuestos no solo pueden afectar negativamente el sabor del vino, sino que también pueden contribuir a la formación de gas y sedimentos.

Los resultados esperados se obtuvieron con los ensayos 3, 6 y 8 con las levaduras *Champion*, *PDM* y *Levapan* respectivamente, en los que se registró un pH en un rango de 3.4 a 3.27, y de igual forma se llegó a grados Brix finales de entre 14.1 a 13.6 en tiempos de fermentación

similares. En la siguiente figura se puede observar la disminución de los sólidos solubles con respecto al tiempo:

Figura 4 Disminución de sólidos solubles.



Se puede observar que en las primeras horas ya empieza una reducción de los sólidos, para todas las levaduras. En el caso del ensayo 3 que usa la levadura *Champion*, se puede notar una reducción más estable y constante a lo largo de la fermentación lo que se aprecia en su curva. Para el ensayo 6 donde se hace uso de la levadura *PDM*, la reducción de los grados Brix es mucho más rápida durante las primeras 10 horas con respecto a los otros ensayos, después de este tiempo su reducción es más lenta. El ensayo 8 se realizó con levadura *Levapan*, en donde si bien los grados Brix disminuyen a una relación constante, esta es lenta a diferencia de los otros ensayos, llegando a un valor ligeramente mayor y con más tiempo de fermentación.

En el estudio de Villareal (2022), se señala que los sólidos solubles durante la fermentación para producir vino de uvilla disminuyeron de 24 a 12.7 Brix, lo que representa una diferencia de 11.3 Brix. Esta reducción es superior a la observada en los ensayos 3, 6 y 8 de esta investigación, donde la disminución fue de hasta 7 Brix. La diferencia puede deberse a las condiciones de fermentación, ya que en el estudio mencionado la fermentación fue natural, con una duración aproximada de unos treinta días.

Además, otros factores influyentes incluyen el tipo de levadura utilizada, que en ambos casos es de la familia *Saccharomyces cerevisiae*, aunque en cantidades superiores a 0.5 g en el

estudio de Villareal. Sin embargo, el principal factor que pudo haber causado esta diferencia en la reducción de los grados Brix es la relación uvilla/agua. En el estudio antes mencionado empleó un 20 % de uvilla, mientras que en esta investigación la proporción fue de 1:1.1, es decir, aproximadamente un 50 % de uvilla.

Por otro lado, al comparar la reducción de grados Brix en vinos elaborados con distintas frutas, como el caso del mortiño, Ruiz (2011) detalla que el mosto fue ajustado a 21 Brix, utilizando una mezcla de fruta, agua y azúcar. La fermentación se realizó de manera natural durante un período de 54 a 76 días, debido a las condiciones de temperatura de 16 °C. La levadura utilizada fue de la especie *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*. Bajo estos parámetros, se logró una reducción de los grados Brix hasta 7.

Tanto en el estudio de Villareal (2022) como en el de Ruiz (2011), el valor final de los grados Brix fue de 7, a pesar de emplearse frutas y levaduras diferentes. Sin embargo, un factor en común entre ambos estudios es que la fermentación fue llevada a cabo de manera natural, mientras que en esta investigación se emplea un biorreactor.

El uso de un biorreactor en la elaboración de vino ofrece ventajas significativas, ya que, al ser un sistema hermético, permite un control preciso de parámetros críticos como la temperatura, lo que asegura una fermentación más eficiente y controlada. Además, protege el mosto de la contaminación por microorganismos indeseados que podrían afectar las propiedades organolépticas del vino, como el sabor, color y aroma, y también otros aspectos clave como la acidez total. Un factor clave es el tiempo, en los estudios de Villareal (2022) y Ruiz (2011), la fermentación natural toma más de 30 días, mientras que en un biorreactor este tiempo se reduce considerablemente a aproximadamente 3 o 4 días, como se observó con las tres levaduras "Champion", "PDM" y "Levapan" utilizadas en esta investigación.

#### **4.1.1. Resultados acidez total y grado alcohólico**

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de acidez total y grado alcohólico en los ensayos 3,6 y 8.

*Tabla 8 Resultados de acidez total y grado alcohólico.*

Ensayos	Tipo de levadura	Acidez total como ácido málico (g/L)	Grado alcohólico (°GL)
3	<i>Champion</i>	5.06	12
6	<i>PDM</i>	4.54	15
8	<i>Levapan</i>	7.52	6

En el presente estudio, los resultados de la acidez total, expresada como ácido málico, para el vino blanco espumoso de uvilla elaborado con tres tipos de levaduras de la familia *Saccharomyces cerevisiae*, se encuentran dentro del rango de 4 a 16 g/L estipulado por la norma. De manera similar, en el estudio de Cevallos et al. (2022), se reportan valores de acidez total en un vino de pseudofruto de marañón, elaborado con diferentes proporciones de agua y fruta, así como distintos niveles de grados Brix, siguiendo también la Norma INEN 374 para asegurar la calidad del producto. El tratamiento ajustado a 21 grados Brix mostró una acidez total de 4.53 g/L, casi idéntica al valor de 4.54 g/L obtenido con la levadura *PDM* en esta investigación y poco lejano a los 5.06 g/L con la levadura *Champion*.

A diferencia de las levaduras *Champion* y *PDM* que pertenecen al mismo fabricante “*Fermivin*”, la levadura *Levapan* presentó una acidez total más alta de 7.52 g/L, este resultado tiene relación con la investigación de Tapia (2022) del proceso de elaboración de un vino de níspero en la que no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos y se obtuvo un valor final en los cuatro diferentes tipos vinos de entre 8.15 a 8.81 g/L expresado como ácido málico, los mismos que fueron ajustados a 22 grados Brix.

La Norma INEN 374 establece que el grado alcohólico permitido para vinos de frutas debe encontrarse entre 5 y 18 °GL, rango que se cumple con las tres levaduras utilizadas en este estudio. Al igual que con la acidez total, las levaduras *Champion* y *PDM*, que provienen del mismo fabricante, presentaron grados alcohólicos similares de 12 y 15 °GL, respectivamente. En cambio, la levadura *Levapan* produjo un valor de 6 °GL, cercano al límite mínimo permitido por la norma. Esto se debe a que *Levapan* no es una levadura vinífera, lo que explica por qué el vino resultante no alcanza la misma calidad que con las otras levaduras.

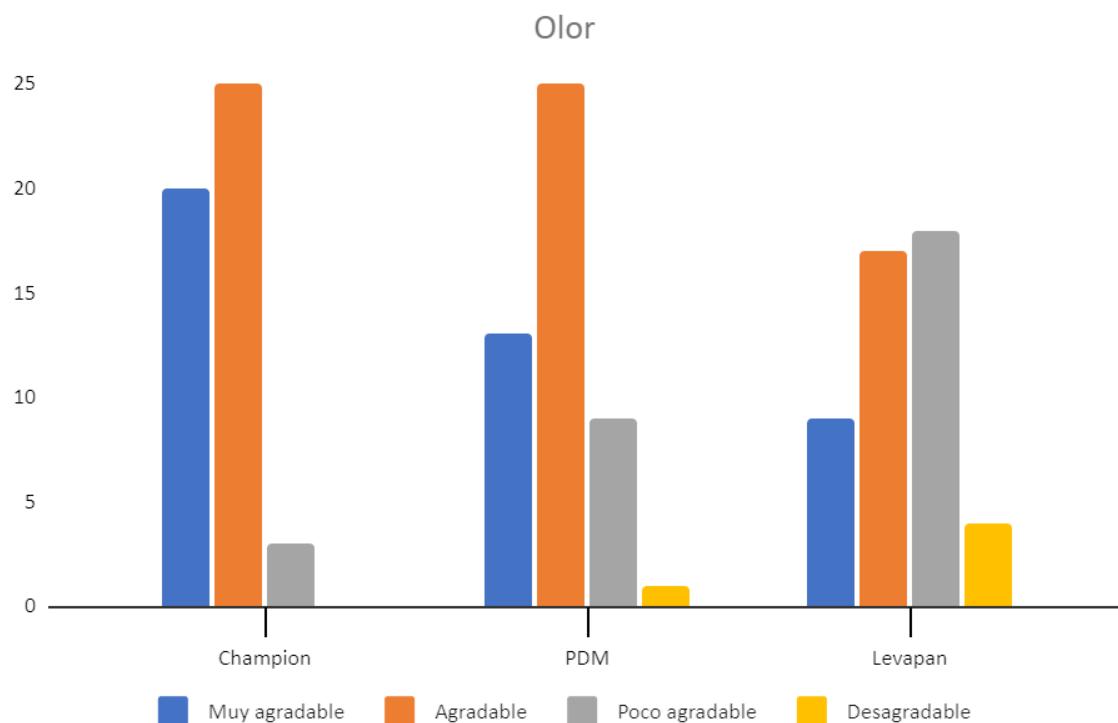
En el estudio de Villareal (2022), donde se elabora un vino blanco a base de uvilla mediante fermentación natural, el mosto fue ajustado a 24 grados Brix, obteniendo un grado alcohólico de 10.11 °GL, valor que también está dentro del rango estipulado por la Norma INEN. De manera similar, en la investigación de Maldonado (2019), el mosto fue ajustado a 21 grados Brix, aunque en este caso se emplearon uvilla y naranja en la mezcla. El mejor tratamiento en ese estudio alcanzó un grado alcohólico de 18.4 °GL, cumpliendo también con la normativa.

En resumen, tanto en esta investigación como en los estudios mencionados, se observa que al ajustar el mosto entre 20 y 24 grados Brix, es posible obtener un grado alcohólico que cumpla con el rango estipulado por la norma, asegurando así los estándares de calidad del producto.

#### 4.2. Resultados análisis organoléptico

**Pregunta 1. Olor:** se realizan pruebas de olor, cuya calificación se basa en un rango de ponderación ordenado de la siguiente forma: muy agradable, agradable, poco agradable y desagradable. Siendo 1 la calificación más baja correspondiente a “desagradable” y 4 la calificación más alta correspondiente a “muy agradable”.

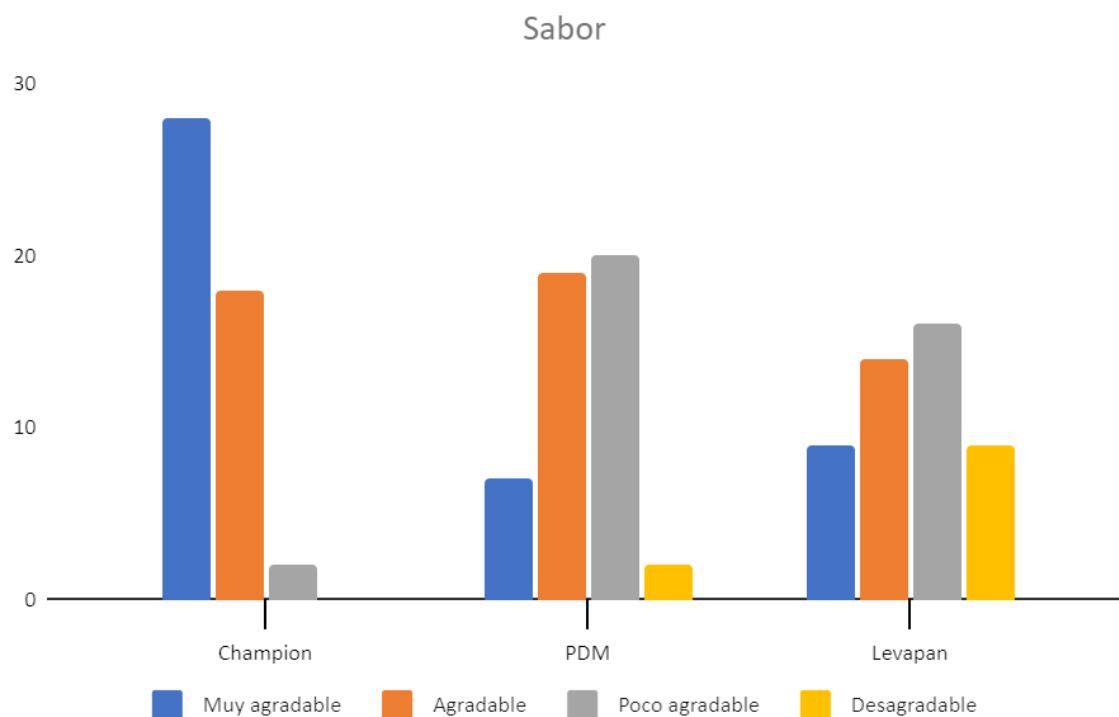
Figura 5 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “olor”.



Con respecto al olor, se observa que el vino con levadura “Champion” no presenta calificación en la categoría “desagradable” predominando la categoría “Muy agradable” con un conteo de 25 votos al igual que la levadura “PDM”, sin embargo, esta tiene un voto en la categoría “desagradable”. Por otra parte, la levadura “Levapan” tuvo un mayor conteo en la categoría “poco agradable” y menor conteo en la categoría “desagradable” con 4 votos.

**Pregunta 2. Sabor:** se realizan pruebas de sabor, cuya calificación se basa en un rango de ponderación ordenado de la siguiente forma: muy agradable, agradable, poco agradable y desagradable. Siendo 1 la calificación más baja correspondiente a “desagradable” y 4 la calificación más alta correspondiente a “muy agradable”.

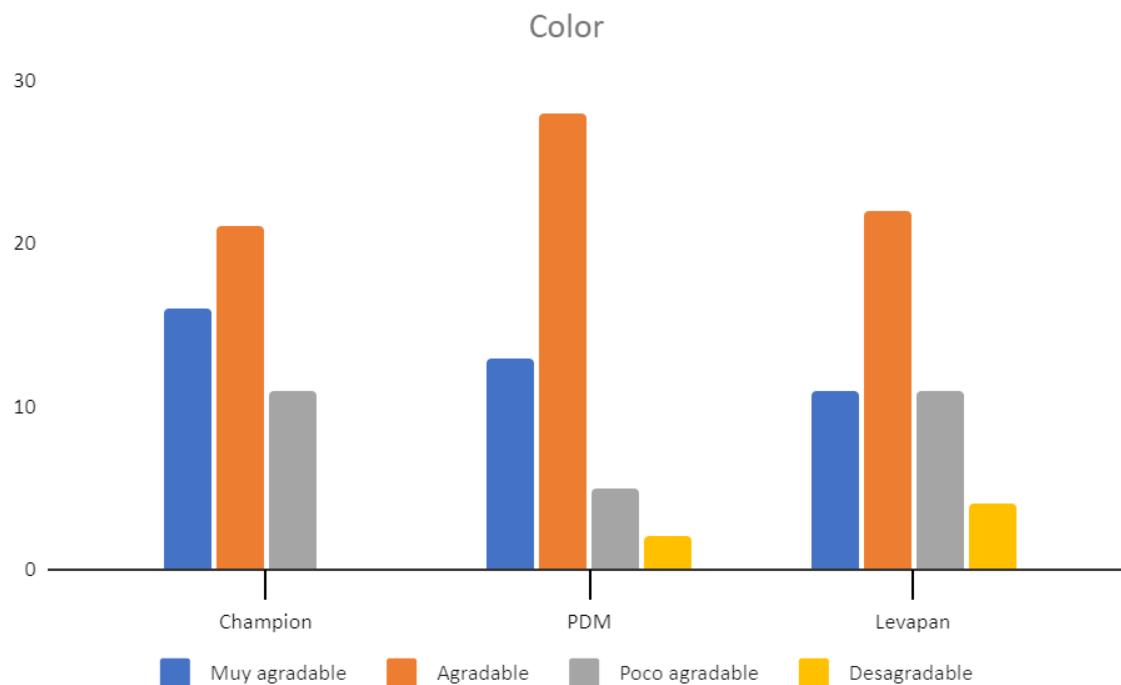
Figura 6 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “sabor”.



En base a los resultados obtenidos en la pregunta que evalúa el sabor de los diferentes vinos que participaron en la cata se pudo determinar el vino elaborado con la levadura “Champion” obtuvo una mayor predominancia en la categoría “Muy agradable” con un conteo de 24 votos a favor y ningún voto en la categoría “desagradable”. Por otra parte, en el vino elaborado con la levadura “PDM” predominó con un mayor conteo de votos la categoría “poco agradable” y un menor conteo de votos en la categoría “desagradable”. Seguida de la levadura de “Levapan” cuya predominancia fue de un conteo de 16 votos en la categoría “poco agradable” y un empate en las categorías “agradable y desagradable” con 9 votos.

**Pregunta 3. Color:** se realiza pruebas de color, cuya calificación se basa en un rango de ponderación ordenado de la siguiente forma: muy agradable, agradable, poco agradable y desagradable. Siendo 1 la calificación más baja correspondiente a “desagradable” y 4 la calificación más alta correspondiente a “muy agradable”.

Figura 7 Representación de los resultados de la cata de vino correspondiente al parámetro “color”.



En base a los resultados obtenidos en la pregunta 3 se pudo determinar que el vino que utilizó la levadura “*Champion*” para su elaboración obtuvo una mayor calificación con un conteo de 16 votos en la categoría “muy agradable” y cero votos en la categoría “desagradable” siendo esta su menor calificación. Por otra parte, el vino que utilizó la levadura “*PDM*” al igual que el vino que utilizó la levadura “*Levapan*” presentaron mayor predominancia en la categoría “Agradable” y menor predominancia en la categoría “desagradable”.

Con parámetros de: Sabor, color, olor y aceptabilidad. Esto para tener un análisis completo y estructurado. Si bien nuestro método no es el mismo, los parámetros “sabor, color, olor y aceptabilidad” analizados si lo son; esto ya que es un modelo de encuesta que se ajusta a los requerimientos para un correcto análisis sensorial del vino de uvilla.

#### 4.3. Resultados Escalado

La metodología del escalado nos permitió definir los principales parámetros de diseño de un reactor. Encontrando de tal forma que para las condiciones establecidas entre ambos reactores se diseña un reactor de capacidad de 1000 L con las características presentadas a continuación:

*Tabla 9 Parámetros de diseño de un reactor a partir de los parámetros establecidos en el reactor 1 (prototipo) y el reactor 2 (Biotron GX batch reactor).*

Medida	Reactor 1 (Prototipo)	Reactor 2 (Biotron GX batch reactor)	Reactor 3 (1000L)
HL	12	18.4	141
Dt	12	13.26	94
Di	3.9	6.018	29
Hi	3.9	1.6	33
Wi	0.8	1.5	6
Wb	0.98	1.4	9
Li	4	2.16	7

La altura del líquido en el Reactor 2 es mayor que en el Reactor 1, lo que sugiere un mayor volumen de operación y puede afectar el tiempo de residencia de los reactivos. Esto podría requerir ajustes en la velocidad del agitador para asegurar una mezcla homogénea. El Reactor 2 también tiene un mayor diámetro, lo que influye en la dinámica de fluidos y puede necesitar un agitador más eficiente para evitar la formación de vórtices. El diámetro del agitador en el Reactor 2 es mayor y debe estar proporcional al tamaño del tanque para mantener una mezcla eficiente.

La altura del agitador desde el fondo del tanque es menor en el Reactor 2, lo que puede mejorar la circulación y reducir las zonas muertas. Además, el agitador en el Reactor 2 es casi el doble de alto, aumentando el área de contacto con el fluido, aunque puede requerir más energía para operar. Los deflectores en el Reactor 2 son más anchos, lo que ayuda a prevenir la formación de vórtices y mejora la mezcla, aunque también aumenta la resistencia al flujo. El ancho del agitador en el Reactor 1 es mayor, lo que puede influir en la eficiencia de la mezcla y la cobertura del área del tanque. Es crucial mantener una proporción adecuada entre el ancho del agitador y las dimensiones del tanque para asegurar una mezcla homogénea.

Posteriormente, se determinó la relación del reactor diseñado, es decir el reactor 3, a partir de los parámetros establecidos en el reactor 1 y el reactor 2 asegurando que las condiciones de reacción y la conversión sean las mismas que en el otro reactor tal y como lo indica la tabla 10.

Tabla 10 Relación del reactor diseñado a partir de los parámetros establecidos en el reactor 1 (prototipo) y el reactor 2 (Biotron GX batch reactor).

Relación	Reactor 1 (Prototipo)	Reactor 2 (Biotron GX batch reactor)	Reactor 3 (1000L)
HL/Dt	1.00	1.39	1.50
Wb/Dt	0.08	0.11	0.10
Wi/Di	0.21	0.25	0.21
Di/Dt	0.33	0.45	0.31
Hi/Dt	0.33	0.12	0.35
Li/Di	1.03	0.36	0.24

La relación HL/Dt en el Reactor 2 es mayor que en el Reactor 1, lo que indica una mayor altura del líquido en relación con el diámetro del tanque. Una mayor relación HL/Dt puede aumentar el tiempo de residencia de los reactivos, mejorando potencialmente la conversión de las reacciones químicas. Sin embargo, también puede requerir una mayor potencia de agitación para asegurar una mezcla homogénea en toda la columna de líquido.

La relación Wb/Dt es mayor en el Reactor 2, lo que sugiere que los deflectores son relativamente más grandes en comparación con el diámetro del tanque. Deflectores más anchos ayudan a romper los patrones de flujo circulares, mejorando la mezcla y previniendo la formación de vórtices. Sin embargo, también aumentan la resistencia al flujo, lo que puede requerir ajustes en la velocidad del agitador. La relación Wi/Di es mayor en el Reactor 2, lo que indica un agitador más alto en relación con su diámetro.

Un agitador más alto puede mejorar la eficiencia de la mezcla al aumentar el área de contacto con el fluido. Sin embargo, esto también puede incrementar la potencia requerida para la agitación. La relación Di/Dt es mayor en el Reactor 2, lo que sugiere un agitador más grande en relación con el diámetro del tanque. Un agitador de mayor diámetro puede mejorar la mezcla en tanques más grandes, asegurando una distribución homogénea de los reactivos.

Si bien, esto puede requerir más energía para mantener una agitación adecuada. La relación Hi/Dt es significativamente menor en el Reactor 2, indicando que el agitador está colocado más cerca del fondo del tanque. Colocar el agitador más cerca del fondo puede mejorar la recirculación del líquido y reducir las zonas muertas, aumentando la homogeneidad de la mezcla. Sin embargo, podría aumentar el riesgo de sedimentación de partículas si las hay. La relación Li/Di es mayor en el Reactor 1, lo que indica un agitador más ancho en relación con su diámetro. Un agitador más ancho puede cubrir una mayor área del tanque, mejorando

la eficiencia de la mezcla. En el Reactor 2, una menor relación puede sugerir un diseño optimizado para reducir la resistencia al flujo y el consumo de energía.

La menor relación  $Hi/D_t$  en el Reactor 2 sugiere que el agitador está ubicado más cerca del fondo del tanque en comparación con el Reactor 1. Esta ubicación puede mejorar la recirculación del líquido y reducir las zonas muertas. La literatura respalda esta observación; por ejemplo, un estudio de (Aparco et al., 2020) mostró que posicionar el agitador más cerca del fondo puede aumentar la homogeneidad en mezclas de líquidos viscosos, mejorando la eficiencia de la transferencia de energía y minimizando zonas muertas.

Sin embargo, este diseño también puede aumentar el riesgo de sedimentación de partículas. Según (Cara et al., 2020), un agitador ubicado más cerca del fondo puede provocar acumulaciones de sólidos, especialmente en sistemas donde la sedimentación es una preocupación importante.

La mayor relación  $Li/D_i$  en el Reactor 1, indicando un agitador más ancho en relación con su altura, puede contribuir a una mezcla más eficiente. Esto es consistente con los hallazgos de (Ricaurte, 2016), quien redacta que los agitadores con una mayor relación  $Li/D_i$  cubren una mayor área del tanque, lo que mejora la homogeneidad de la mezcla y es especialmente efectivo en líquidos con propiedades heterogéneas.

En contraste, la menor relación  $Li/D_i$  en el Reactor 2 podría sugerir un diseño optimizado para reducir la resistencia al flujo y el consumo de energía. Esto coincide con la investigación de (Merizalde, 2022) quien redacta que los agitadores con una relación  $Li/D_i$  más baja pueden ser más eficientes en términos de consumo energético al minimizar la resistencia al flujo dentro del tanque.

Estos resultados sugieren que el Reactor 1, con su agitador más ancho, puede ser más adecuado para aplicaciones que requieren una mezcla intensa y una cobertura más amplia. Esto se alinea con las recomendaciones de (Castillo, 2013) quien sugiere que el diseño del agitador debe ser seleccionado en función de la necesidad de mezcla intensa y la eficiencia energética requerida. Por otro lado, el Reactor 2, con un diseño de agitador más estrecho, puede ser preferible en procesos donde el consumo de energía es una prioridad y se requiere minimizar la resistencia al flujo.

Además de la eficiencia de mezcla y el consumo de energía, es importante considerar la viscosidad del líquido y la presencia de sólidos en suspensión. El estudio de (Rheonics, 2021)

resalta cómo la viscosidad y la concentración de sólidos pueden influir en la selección del diseño del agitador, afectando tanto la eficiencia de mezcla como el riesgo de sedimentación.

#### 4.4. Resultado modelado cinético

Se llevó a cabo un estudio comparativo de la fermentación de uvilla en dos biorreactores distintos bajo las mismas condiciones experimentales. Se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* "Champion" de la marca *Fermivin*, la cual fue la que presentó mayor aceptación en el análisis organoléptico. Ambos reactores operaron a las condiciones mencionadas en la tabla 11.

Tabla 11 Formulación del mosto para la cuantificación de bioetanol.

Parámetros		
Cantidad de levadura	0.2	G
pH	3.3	-
Agitación	30	Rpm
Brix Inicial Jugo	4.1	°Brix
Brix Ajuste	20	°Brix
Temperatura	25	°C

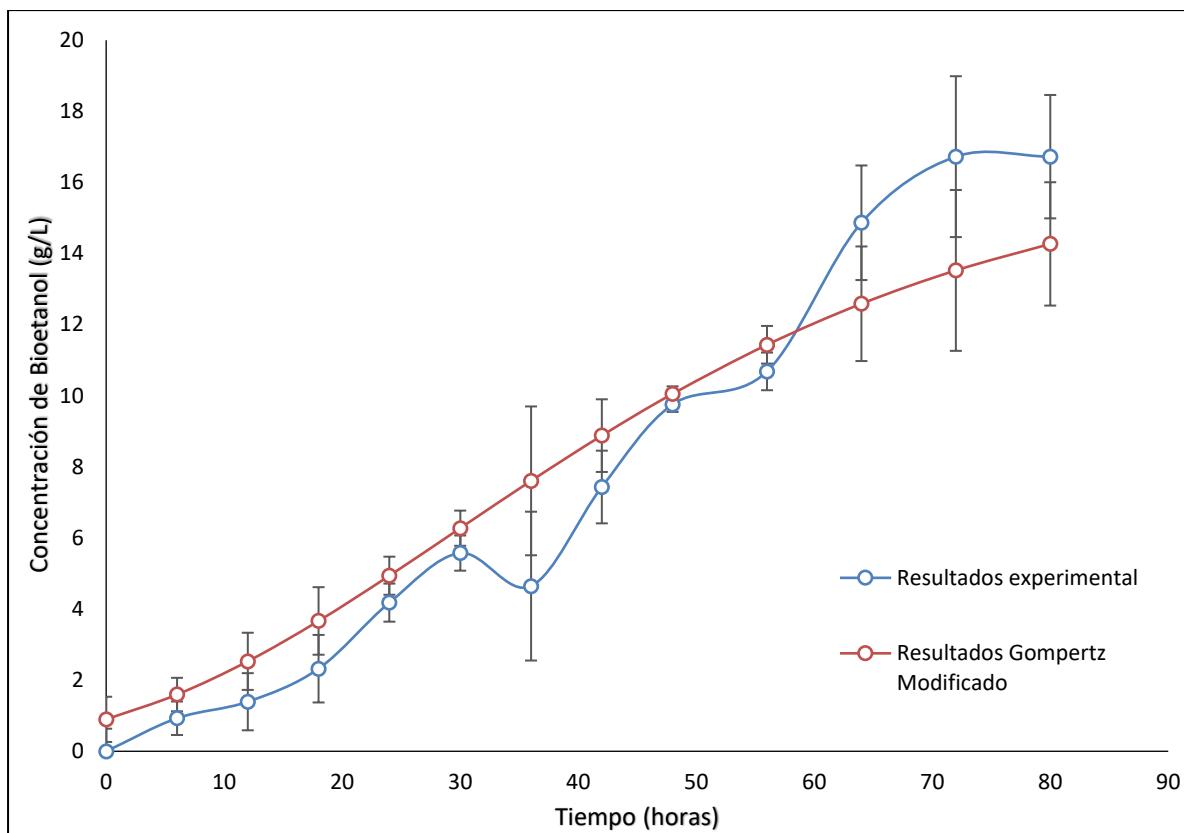
##### 4.4.1. Análisis resultados experimentales

A continuación, se presentan los resultados de la determinación de la concentración de bioetanol para cada muestra. La titulación se realizó por triplicado y se calculó el promedio del volumen de titulante utilizado en cada caso. Con estos valores promedios, se determinó la concentración de bioetanol resultante de la fermentación en el reactor 1 (prototipo) y de la misma manera en el reactor 2 (Biotron GX batch reactor).

Debido a que la titulación se realizó con una bureta graduada de 25ml, la cual nos da valores aproximados en la medición se desconoce el valor exacto de cada una por lo que se realizará un promedio entre los 3 valores reportados en el ensayo y se tomará este dato como valor real en el respectivo punto.

De acuerdo con este promedio se procedió a calcular el valor de la concentración de bioetanol en la muestra de acuerdo con la ecuación 13, cuyos resultados experimentales para el reactor prototipo se presentan en los anexos 5 y 6. Adicional a esto se midió los grados Brix de la muestra para corroborar que estos lleguen a ser constantes y finalizar la fermentación.

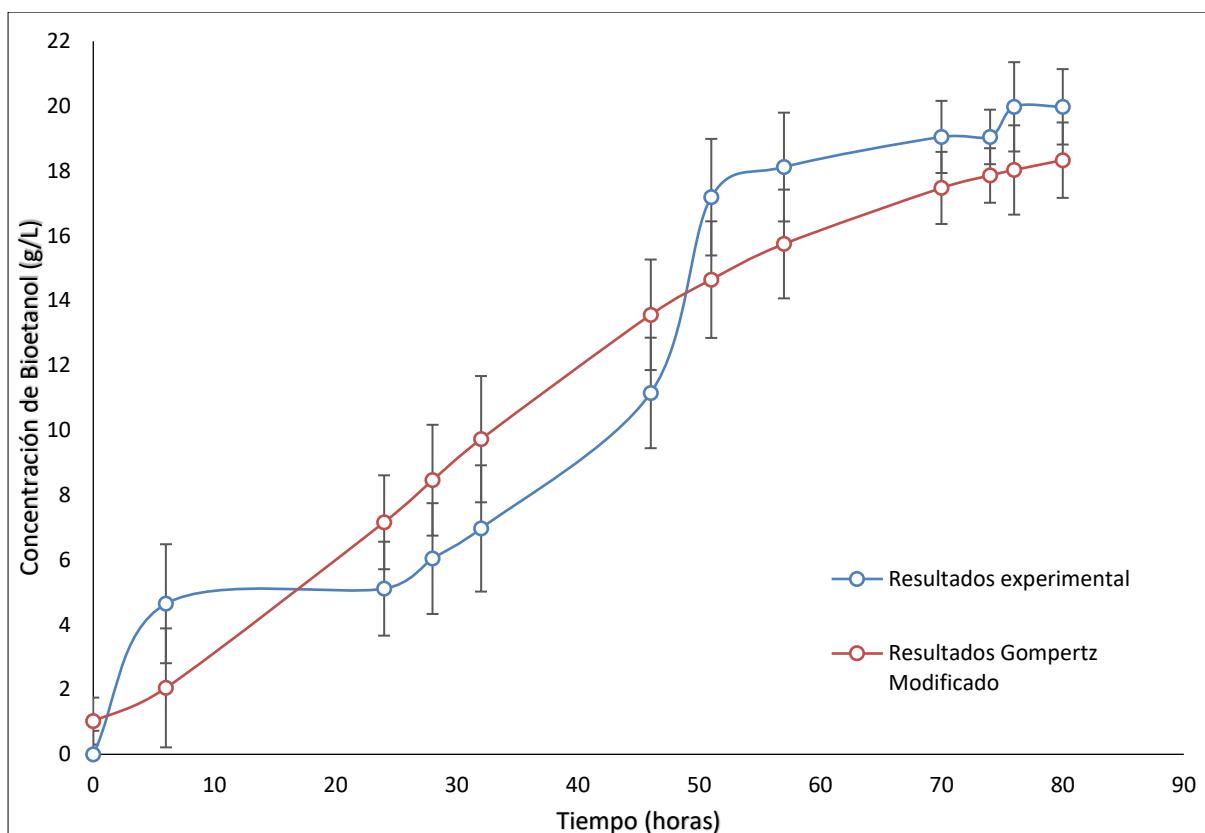
Figura 8 Curva de concentración de bioetanol experimental y curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado reactor prototipo.



En la figura 8 se puede observar cómo la concentración experimental de bioetanol aumenta progresivamente a medida que avanza la fermentación. Cada punto de la gráfica ilustra este incremento, aunque se observan ligeras desviaciones de la curva, especialmente en el punto 7. Estas desviaciones pueden atribuirse a errores experimentales cometidos por los investigadores durante la implementación del *Método de Microdifusión*.

El experimento se llevó a cabo durante un total de 80 horas, alcanzando una concentración máxima de bioetanol de 16.73 g/L a las 72 horas. A partir de este punto, la producción de bioetanol se mantuvo estable. Paralelamente, los grados Brix disminuyeron hasta alcanzar un valor mínimo de 12.4. Estos valores se pueden revisar en las tablas de los anexos 5 y 6 y la gráfica del anexo 7.

Figura 9 Curva de concentración de bioetanol experimental y curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado en Biotron GX batch reactor.



De manera similar al reactor 1, la figura 9 del reactor 2 muestra un aumento progresivo en la concentración experimental de bioetanol a medida que avanza la fermentación. Aunque cada punto de la gráfica refleja este incremento, se observan ciertos puntos en los que la producción de bioetanol se mantiene estable a pesar del tiempo transcurrido. Estas desviaciones pueden atribuirse no sólo a errores experimentales durante la implementación del *Método de Microdifusión*, sino también a diferencias en la toma de muestras. En el reactor 1, las muestras se tomaron cada 6 horas de manera más precisa, mientras que en el reactor 2, las muestras no se tomaron a intervalos establecidos, lo que también explica las secciones lineales observadas en la gráfica.

El experimento duró un total de 80 horas, alcanzando una concentración máxima de bioetanol de 19.98 g/L a las 76 horas. No obstante, a partir de las 70 horas, se obtuvo un valor muy cercano a la concentración máxima con una cantidad de 19.98 g/L. A partir de este punto, la producción de bioetanol se mantuvo estable. De igual forma los grados Brix disminuyeron hasta alcanzar un valor mínimo de 12,1. Los resultados experimentales para el Biotron GX batch reactor se presentan en tablas los anexos 8 y 9 y gráfica del anexo 10.

En el estudio de Orellana (2018), se cuantificó el bioetanol producido a partir del mucílago de cacao CCN-51 en un reactor Batch, utilizando el *Método de Microdifusión de Winnick*. En ese trabajo, se realizaron varios ensayos con concentraciones de levadura entre 1 y 3 g/L, obteniendo concentraciones máximas de bioetanol que variaron entre 16.31 y 22.06 g/L. El mejor resultado se obtuvo con una concentración de 3 g/L de levadura, un mosto ajustado a 17 grados Brix y un tiempo de fermentación de 59 horas, alcanzando una concentración máxima de 21.10 g/L.

Por otro lado, García et al. (2019), en su estudio sobre la cinética fermentativa de un vino tinto utilizando un reactor, observaron una concentración máxima de alcohol de 126.81 g/L tras un proceso de fermentación de 45 horas, con un mosto ajustado a 20 grados Brix y un 3.5 % de levadura con relación al peso del mosto, empleando el *Método de Microdestilación* para la cuantificación.

La concentración de alcohol en García et al. (2019) es mucho más alta que el de Orellana (2018) y el obtenido en este trabajo, la diferencia radica en el tipo de materia prima, la cantidad de levadura, grados Brix y el método de cuantificación de alcohol. Este último se evidencia en la similitud de los valores de concentración de bioetanol obtenidas en Orellana (2018) y esta investigación, los cuales para la cuantificación usan el *Método de Microdifusión de Winnick*, mientras que para García et al. (2019) se aplica el *Método de Microdestilación*.

Las diferencias observadas en el trabajo de Orellana (2018) se deben a la variación de los parámetros en cada ensayo, aunque se utilizó el mismo reactor. En el presente estudio, la variabilidad en los resultados entre los reactores se debe al equipo utilizado, ya que las condiciones experimentales fueron idénticas. No obstante, como se observa en los gráficos y tablas, el reactor Biotron GX *Batch* permitió obtener la concentración máxima más alta de bioetanol.

Tanto en el estudio de Orellana (2018) como en el de García et al. (2019), se evidencia que la concentración de etanol aumenta conforme avanza la fermentación y disminuyen los grados Brix debido al consumo de azúcares, un fenómeno que también se refleja en los resultados de esta investigación.

#### **4.4.2. Curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado**

Se exponen a continuación los resultados de la determinación de la concentración de bioetanol, ajustados al modelo de la ecuación de *Gompertz modificado* mediante el software

MATLAB. La desviación estándar fue calculada utilizando estos datos y los datos experimentales en el programa Excel, y se presentan en las tablas de los anexos 11 y 12.

Como se puede observar en la figura 8 para el reactor 1 (prototipo), la curva de los datos experimentales presenta puntos que se desvían de la tendencia general, lo cual podría deberse al nivel de precisión del *Método de Microdifusión*. En contraste, la curva de los datos modelados sigue claramente la tendencia típica de la ecuación de *Gompertz modificado*. Existe una notable similitud entre ambas curvas, la cual se evaluará mediante las diferencias entre los coeficientes de correlación  $R^2$ , el cual para este reactor prototipo es de 0.909.

A pesar de esta similitud, algunos puntos muestran una alta desviación estándar, como los puntos 7, 12 y 13, que se pueden apreciar claramente en la gráfica y en la tabla del anexo 11, por lo alejados que están de la curva de datos modelados. En cambio, el punto 9, que corresponde a la muestra 8, presenta la menor desviación estándar, casi sobreponiéndose al valor de la curva ajustada.

En este caso para el reactor 2 en la figura 9, al igual que el reactor 1 la concentración de bioetanol aumenta progresivamente con el tiempo hasta alcanzar un punto máximo, después del cual se estabiliza. Esto es consistente con el comportamiento típico de la fermentación, donde la producción de etanol incrementa hasta que se consume todo el azúcar. Hay puntos específicos que se desvían de la tendencia esperada, y como se mencionó anteriormente con el reactor 1, se sugiere que existen variaciones en las condiciones experimentales o errores en la toma de muestras. Los coeficientes de correlación en el modelado cinético ajustados al modelo de *Gompertz modificado* fueron de 0.909 y 0.927 para el reactor 1 y el reactor 2 respectivamente en base a los datos experimentales.

Orellana (2018) utilizó la ecuación de *Gompertz modificada* para modelar la cuantificación de bioetanol, logrando ajustar la concentración máxima experimental de 21.10 g/L a un valor teórico de 22.05 g/L. De manera similar, los valores experimentales presentaron pequeñas diferencias en comparación con los ajustes del modelo, lo que indica que, aunque el *Método de Microdifusión de Winnick* puede no ser completamente preciso debido a la posibilidad de contaminación y errores experimentales, sigue siendo un método confiable.

En el estudio de Phukoetphim et al. (2017), donde se aplicó la ecuación de *Gompertz modificado* para la producción de etanol en lotes a partir de jugo de sorgo dulce, el modelo también se ajustó de manera excelente a los datos experimentales, mostrando mínimas variaciones. Por lo tanto, se concluyó que la ecuación de *Gompertz modificado* es exitosa para describir tanto el crecimiento de la levadura como la producción de etanol.

La curva modelada utilizando la ecuación de *Gompertz modificado* se ajusta bien a la tendencia general de los datos experimentales. La similitud entre las curvas de los datos experimentales y los datos modelados sugiere que el modelo es adecuado para describir el proceso de fermentación en este contexto. La desviación estándar de los puntos es un indicador importante de la precisión de las mediciones, donde se puede observar que la menor desviación estándar para estas curvas se obtiene al final de la fermentación.

#### 4.4.2.1. Resultados de los coeficientes de correlación en el modelado en MATLAB R2023b

En el estudio de la fermentación para la producción de bioetanol, se calcularon los coeficientes de correlación  $R^2$  mediante el software MATLAB R2023b, para evaluar la precisión del modelo de la ecuación de *Gompertz modificada* en dos reactores diferentes. Los valores obtenidos son los siguientes:

Tabla 12 Resultados del valor de  $R^2$  en el modelado en MATLAB R2023b de la ecuación de Gompertz modificado.

Experimento	$R^2$
Reactor prototipo	0.909
Biotron GX batch reactor	0.927

El valor del estadístico  $R^2$  es independiente para cada experimento, los resultados expuestos en la tabla 12 muestran que los datos modelados se ajustaron de buena manera al modelo de la ecuación de *Gompertz modificado* ( $R^2=0.909$ ) para el reactor 1, mientras que para el reactor 2 vemos un mayor ajuste del modelado matemático ( $R^2= 0.927$ ), sin embargo son valores cercanos por lo que se podría decir que para ambos caso el ajuste fue bastante bueno, por lo que el *Método de Microdifusión* para la cuantificación de bioetanol es recomendable por sus resultados.

Los valores obtenidos de  $R^2$  es corroborado por otros estudios donde se modela la ecuación de *Gompertz modificado* para la producción de etanol con diferentes materias primas, estos coeficientes son expuestos en la tabla 13.

Tabla 13 Valores de  $R^2$  del modelado de la ecuación de Gompertz modificado para producción de etanol a partir de distintos sustratos.

Materia prima utilizada para la fermentación	Valor de $R^2$ modelado con la ecuación Gompertz modificado	Estudio	Referencia
Mucílago de cacao	0.884	Modelado de la ecuación de Gompertz modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos dentro de un reactor tipo <i>Batch</i> a partir de mucílago de cacao CCN-51. Caso: Ecuador - zona 6	Orellana (2018)
Jugo desorgo dulce	0.998	“Kinetic models for batch ethanol production from sweet sorghum juice under normal and high gravity fermentations: Logistic and modified Gompertz models”	Phukoetphim et al. (2017)
Vino tinto	0.937	“Producción de vino tinto para la evaluación de la cinética de fermentación a partir de uva negra por medio de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ”	García et al. (2019)

Fuente: autor

Comparando estos estudios con los datos obtenidos en este trabajo de titulación se observa que, aunque los  $R^2$  son mayores a excepción de Orellana (2018), de no existe una variación significativa, por lo tanto, es acertado decir que el modelo de *Gompertz modificado* se ajusta a la producción de bioetanol bajo las condiciones óptimas de operación.

### Conclusiones

Se logró elaborar un vino espumoso de uvilla utilizando tres cepas distintas de levaduras del tipo *Saccharomyces cerevisiae*. Los parámetros de fermentación como el pH, la temperatura, la velocidad de agitación, y cantidad levadura, fueron los mismos para cada cepa, permitiendo una comparación justa de sus respectivas fermentaciones. Esto aseguró que cualquier diferencia en los resultados fuera atribuible únicamente a las cepas de levadura utilizadas.

En el análisis organoléptico, se evaluaron las características de olor, sabor y color del vino de uvilla utilizando las tres levaduras diferentes. Los resultados indicaron variaciones en la percepción sensorial según la levadura empleada. La levadura *Champion* y la *PDM* obtuvieron calificaciones más altas en términos de olor y sabor agradable, mientras que la levadura *Levapan* presentó una menor aceptación.

Basado en el análisis de acidez total, grado alcohólico y evaluación organoléptica, las levaduras *Champion* y *PDM* fueron las más adecuadas para la elaboración de vino espumoso de uvilla. La levadura *Champion* mostró una fermentación más estable y constante, mientras que la *PDM* presentó una reducción rápida de grados Brix en las primeras horas, aunque con una reducción más lenta posteriormente.

Finalmente, la levadura más apta para la elaboración de vino espumoso de uvilla fue la levadura *Champion*, la cual fue seleccionada para la realización del escalado y modelado cinético debido a que fue la levadura que obtuvo una mejor aceptación en la cata de vino realizada con los estudiantes de 10mo ciclo pertenecientes a la carrera de Ingeniería química de la Universidad de Cuenca. Esta levadura obtuvo una acidez total de 5.06 g/L de ácido málico, una concentración de alcohol alcanza de 12 grados, los cuales están dentro del rango que estipula la Norma INEN 374. Bebidas alcohólicas. Vino de frutas.

El proceso de escalado de reactores debe considerar múltiples factores, como la transferencia de masa, la transferencia de calor, y la cinética de la reacción. Los datos muestran que el reactor 2 (Biotron GX batch reactor) tiene dimensiones ajustadas para mejorar la eficiencia de la mezcla en un volumen mayor. Sin embargo, cada ajuste en las dimensiones debe ser cuidadosamente evaluado para mantener las condiciones óptimas de operación.

Es importante realizar pruebas piloto para ajustar los parámetros operativos y asegurar que el rendimiento del reactor a escala industrial sea consistente con los resultados obtenidos en el laboratorio. La optimización de la velocidad del agitador, el diseño de los deflectores y otros aspectos relacionados con la transferencia de calor y masa son esenciales para el éxito del

escalado. El análisis de las relaciones geométricas muestra cómo las dimensiones y configuraciones de los reactores afectan su desempeño.

El modelado cinético de la fermentación para la producción de bioetanol, utilizando la ecuación de *Gompertz modificado* ajustada en MATLAB R2023b, mostró una alta precisión en la representación de los datos experimentales de ambos reactores. En el Reactor prototípico, la concentración máxima de bioetanol alcanzó 16.73 g/L a las 72 horas, con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0.909, mientras que en el Reactor Biotron Smart Gx se alcanzó una concentración máxima de 19.98 g/L a las 76 horas, con un  $R^2$  de 0.927.

Estas correlaciones indican una relación adecuada entre los datos experimentales y el modelo matemático, destacando la consistencia en la producción de bioetanol en ambos reactores. Las desviaciones estándar observadas en algunos puntos sugieren la importancia de la precisión en la toma de muestras y la consistencia en las condiciones experimentales.

## Recomendaciones

- Para mejorar la clarificación del vino, recomendamos congelar el mosto preparado y posteriormente descongelarlo mediante un baño María. Este proceso reduce el color tomate característico de la uvilla, obteniendo un mosto más claro, similar al color de un vino blanco, que varía del verde al amarillo verdoso. Además, al finalizar la fermentación y realizar la clarificación con gelatina sin sabor, el proceso se vuelve más rápido y efectivo.
- Igualmente, con respecto a la clarificación se recomienda que se lleve a cabo en refrigeración, ya que esta operación acelera y mejora el proceso.
- Las buenas prácticas de manufactura son esenciales en la elaboración del vino de uvilla abarcando desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto final con la finalidad de obtener un producto de calidad que cumpla con todos los parámetros y especificaciones establecidos en la NTE INEN 374. Bebidas alcohólicas. Vino de frutas.

## Referencias

- Agrocalidad. (2023, 26 septiembre). *Ecuador inicia exportaciones de uvilla hacia Estados Unidos – Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca.* <https://www.produccion.gob.ec/ecuador-inicia-exportaciones-de-uvilla-hacia-estados-unidos/>
- Aldana, G., & Pérez, J. (2010). Simulación del patrón de flujo y del tiempo de retención hidráulico en lagunas de estabilización y reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) a través de un modelo físico. 33(1), 48-58.
- Andrade, R., Mejía, M., & Sernaqué, E. (2005). *Proyecto de desarrollo de vino elaborado a base de uvilla y su comercialización en el mercado ecuatoriano.* <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3679>
- Angamarca, F., & Morales, E. (2011). “*Determinación del mejor tiempo de clarificación utilizando yausabara (pavonia sepium) y sábila (aloe vera) en el vino artesanal de uvilla (Physalis peruviana. L.)*” [Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial]. Universidad Técnica del Norte.
- Aparco, W., Ccoicca, P., Prado, M., & Salazar, D. (2020). *Agitación y mezclado* [Universidad tecnológica de los Andes]. <https://es.scribd.com/document/481327807/AGITACION-Y-MEZCLADO>.
- Basantes, E., Herrera, C., & Hidrobo, J. (2016). Evaluación del efecto de la asociación de coberturas vegetales vivas sobre el cultivo de uvilla (*Physalis peruviana L.*) en Huaca, provincia del Carchi, Ecuador. *Scielo*, 3(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.266>
- Bedoya, D., Gómez, E., Luján, D., & Salcedo, J. (2005). *Producción de vino de naranja dulce (Citrus sinensis Osbeck) por fermentación inducida comparando dos cepas de Saccharomyces cerevisiae.* 10(2), 26-34.
- Blanco, A. (2016). *Modelamiento cinético de la fermentación alcohólica de miel de abejas a diferentes escalas de producción* [Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59227/1026562340.2017.pdf?sequence=1>

- Bullé Rêgo, E. S., Santos, D. L., Hernández-Macedo, M. L., Padilha, F. F., & López, J. A. (2022). Methods for the prevention and control of microbial spoilage and undesirable compounds in wine manufacturing. *Process Biochemistry*, 121, 276-285. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.07.016>
- Calero, V. A. C. (2012). *Modelo hidráulico para el estudio del vertedero a vortice*. [Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1846/6/UPS-ST000834.pdf>
- Carrión, F., & Ojeda, E. (2021). *Propuesta para la elaboración de un vino rosado artesanal a base de uvas de mesa* [Tesis para obtener el título de Licenciado en Gastronomía, Universidad Técnica Particular de Loja]. [https://dspace.utpl.edu.ec/visorHub/?handle=20.500.11962\\_28538](https://dspace.utpl.edu.ec/visorHub/?handle=20.500.11962_28538)
- Castillo, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos* [Seminario de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica, Universidad del Bío-Bío]. [http://repubib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Urube\\_Vladimir.pdf](http://repubib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Urube_Vladimir.pdf)
- Castro, B., Faustino-Júnior, W., Fernandes, J., Leite, G., Soares, M., & Zanuncio, J. (2023). Edessa meditabunda (Hemiptera: Pentatomidae) feeding on Physalis peruviana (Solanaceae) in the highlands of Brazil. *Brazilian Journal Of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.248566>
- Cámara de Comercio de Guayaquil. (2022, 18 octubre). Principales exportaciones del Ecuador - Cámara de Comercio de Guayaquil. Ccg. <https://www.lacamara.org/website/principales-exportaciones-del-ecuador/>
- Cara, C., Castro, E., Romero, M., & Ruiz, E. (2020). *Guía de Operaciones, Procesos e Instalaciones Industriales*. Universidad de Jaén. <https://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/sedimentacion.html>
- Cevallos, M. J., Chompol, S., & Barre, R. (2022). *Propiedades fisicoquímicas y sensoriales del vino del pseudofruto de marañón (anacardium occidentale)*. 5(9). <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9.0043>
- Collado, Q. (2001, 27 noviembre). *Levaduras y la fermentación alcohólica (II)*. Verema. <https://www.verema.com/blog/verema/500449-levaduras-fermentacion-alcoholica-ii>

Colimba, R. (2014, 25 octubre). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de vino de uvilla en Cantón Pimampiro provincia de Imbabura.* Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5416>

Constante, G. (2015). Determinación de la osmotolerancia de nueve cepas de levaduras aisladas de frutos de mora para la aplicación industrial en procesos de fermentación alcohólica. Universidad Técnica de Ambato.

Coordinación general de información nacional agropecuaria. (2018, 6 abril). *Zonificación Agroecológica Económica del cultivo de Uvilla en el Ecuador Continental 2014 - Páginas de Flipbook 1-16 | FlipHTML5.* Ministerio de Agricultura, Ganadería, Agricultura y Pesca. <https://flipthtml5.com/ijia/qnhi/basic>

Cutipa, C. (2019). *Evaluación del efecto de diferentes cepas de levaduras Saccharomyces cerevisiae sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del vino de higo (Ficus carica).* [Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Agroindustrial, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/822/Cutipa-Ojeda-Cesar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delgado, J., Soler, J., & Peña, J. (2019). Aplicación de los modelos cinéticos Logístico Integrado y Gompertz Modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos a partir de mucílago de cacao CCN-51. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 7. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.003527>

Díaz de Simbaña, O. (2019, 19 octubre). Beneficios de la uvilla. *hcjb.* <https://hcjb.org/beneficios-de-la-uvilla/>

Domecq, M. (2023). *Vinos tranquilos: una guía completa para entender su variedad.* Miguel Domecq. <https://migueldomeq.com/vinos-tranquilos-que-son/#:~:text=Los%20vinos%20tranquilos%20son%20aquellos,sin%20contacto%20con%20el%20aire.>

Duarte, D., Lagos, T., Mejía, D., & Pabón, J. (2022). Response of Physalis peruviana L. genotypes to Fusarium oxysporum f. sp. physali under greenhouse. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 39(2), 89-107. <https://doi.org/10.22267/rcia.223902.185>

Estrada, C., & Silvana, J. (2020). *Proyecto de creación de una empresa para la producción de vino de uvilla en la ciudad de Guaranda provincia de Bolívar.* [Tesis, Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo].  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14011>

Fernández, S. I. E. (2005). *Influencia de la tecnología de vinificación en la microbiología y el desarrollo de la fermentación alcohólica.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=350>

Ferrel, M. (2011). *Determinación de etanol en bebidas refrescantes por método enzimático.* [TESIS para optar el título de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2321/Ferrel\\_qm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2321/Ferrel_qm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fuérez, A., & Mejía, A. (2023, 13 noviembre). *Aprovechamiento de la uvilla (*Physalis peruviana L.*) para el desarrollo de productos agroindustriales.* Universidad Nacional del Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11792>

Garcés, D. (2013). *Estudio para la creación de una empresa productora y comercializadora de vino de cereza en la provincia de Chimborazo* [Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de Ingeniero Comercial]. Escuela Politécnica del Ejército.

García, A., Mendoza, K., Mergruen, D., Salgado, T., Sanchez, I., & Trujillo, J. (2019). *Producción de vino tinto para la evaluación de la cinética de fermentación a partir de uva negra por medio de levadura *Saccharomyces cerevisiae** [Proyecto Integrador, Instituto Tecnológico de Toluca].  
[https://www.academia.edu/44985593/Evaluaci%C3%B3n\\_experimental\\_de\\_la\\_cin%C3%A1tica\\_de\\_fermentaci%C3%B3n\\_de\\_vino\\_tinto](https://www.academia.edu/44985593/Evaluaci%C3%B3n_experimental_de_la_cin%C3%A1tica_de_fermentaci%C3%B3n_de_vino_tinto)

García, L., Mendoza, C., & Marrugo, Y. (2016). Elaboración y caracterización fisicoquímica de un vino joven de fruta de borojó (B patinoi Cuatrec). 27(52), 507-519.

Garrido, N., Guevara, C., & Suárez, C. (2016). Levadura *saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. revisión bibliográfica. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba*, 50(1).  
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>

Garzón Castaño, S. C., & Hernández Londoño, C. (2009). Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae silvestre*, *Saccharomyces*

cerevisiae ATCC 9763 y Candida utilis ATCC 9950. Universidad Tecnológica de Pereira.

Gonzales, A. (2006). Aportes a la caracterización y evaluación agronómica de Pououma cecropiifolia C. Martius “Uvilla” en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 13(1-2), 5. <https://doi.org/10.24841/fa.v13i1-2.134>

González, F. (2013). *Determinación de etanol en productos alimenticios por métodos ópticos*. [Tesis para obtener el grado de Licenciada En Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/11957/FISMAT-L-2013-1133.pdf?sequence=1](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/11957/FISMAT-L-2013-1133.pdf?sequence=1)

González, R. (2000). Principios básicos de escalado. Editorial Universitaria.

González, A., & Torres. (2010). *Manual de cultivo de uvilla Pououma cecropiifolia Martius*. <https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/113>

Guncay, J., & Silva, M. (2018). Optimización de la producción de biomasa en procesos fermentativos del mucílago de cacao CCN – 51 aplicando la ecuación logística integrada y el modelo de Andrew y Levenspiel, bajo diferentes condiciones de operación. Universidad de Cuenca.

Hernández, A. (2015). *Producción de etanol a partir de glicerina por vía fermentativa con Saccharomyces cerevisiae y simulación del proceso a escala industrial* [Trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de: Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales]. [https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2225/Hernandez\\_Mora\\_Jorge\\_Augusto\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2225/Hernandez_Mora_Jorge_Augusto_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hernández, R., Leal, I., Morán, H., & Tarantino, G. (2014). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentación del mosto de agave cocui. *Redalyc*, 14(4). <https://www.redalyc.org/pdf/904/90433839012.pdf>

Hervas, P. (2011). *Estudio de la influencia de los grados brix del chaguar mishque para la obtención de una bebida carbonatada tipo champagne*. [Trabajo de Investigación previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3105/1/PAL259.pdf>

INEN, N. 374. (1987). Bebidas alcohólicas. Vino de frutas.

Javier Vázquez, H., Dacosta, O., & Oficina de Consejo, Desarrollo y Transferencia Tecnológica. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2007.08n4.020>

La Hora. (2023, 20 julio). *Las frutas crecen más del 60% dentro de unas exportaciones no petroleras que se desaceleran.* <https://www.lahora.com.ec/pais/frutas-brilla-crecimiento-exportaciones-economia-2023/>

Lallemand. (2024, 27 mayo). *Una mirada más profunda a los nutrientes de las levaduras enológicas* - Lallemand Wine. Lallemand Wine. <https://www.lallemandwine.com/es/south-america/referencias-y-recursos/una-mirada-mas-profunda-a-los-nutrientes-de-las-levaduras-enologicas>

Loja, E., & Velasco, M. G. (2023). *Elaboración de vino a partir del mucílago de cacao CCN-51 con tres tipos de levaduras de la familia Saccharomyces cerevisiae*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/43338/1/Trabajo-de-Titulación.pdf>

Lucero, P. (2015). *Efecto del uso de levaduras y concentración de °Brix en las características fisicoquímicas y sensoriales de vino de fresa con miel* [Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8c5bc078-f8fc-4424-a18d-eb891c624c35/content>

Maldonado, F. (2019, 1 septiembre). *Elaboración de una bebida alcohólica a base de uvilla (Physalis peruviana) para incrementar la cartera de productos en la microempresa “Asociación Manos Productivas”*. DSpace. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/870>

Merizalde, J. (2022). *Diseño y construcción de un tanque didáctico con agitador de doble camisa y serpentín para el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Facultad de Ingeniería Mecánica* [Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de ingeniero mecánico, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23150/1/CD%2012576.pdf>

- Moncivais, A. (2023, 22 agosto). *Modelaje del rendimiento específico de metano de un digestor psicrofílico con la curva modificada de Gompertz*. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/139070>
- Morejón, A., & Viznay, A. (2018). *Control microbiológico y determinación de pH, acidez y grados brix de jugos expendidos en los espacios públicos de la ciudad de Cuenca-Ecuador*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Bioquímica farmacéutica, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30388/1/trabajo%20de%20titulación.pdf>
- Muñoz, E. (2017). Escalamiento del proceso de obtención de fructooligosacáridos a partir de jugo de caña mediante síntesis enzimática con células permeabilizadas de Candida apíccola [Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad en procesos agroindustriales, Centro De Investigación Y Asistencia En Tecnología Y Diseño Del Estado De Jalisco, A. C.]. <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/58159>
- Núñez, J., Agroindustrial, I., & Chuma, W. (2018). *Evaluación del proceso de clarificación de vino de uva, artesanal e industrial, utilizando látex de papaya papaína y gel de yausabara pavonia sepium*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8484>
- Ocaña, I. (2012). *Estudio del vino de mora de castilla (Rubus glaucus Benth) elaborado a tres proporciones distintas de fruta: Agua y tres niveles de dulzor*. [Trabajo de Graduación presentado como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3071/1/AL496.pdf>
- Oliveros, E. (2009). *Escalamiento de un Bioprocesos para la producción de Taq polimerasa* [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Biotecnólogo]. Instituto Politécnico Nacional.
- Orellana, J. (2018). *Modelado de la ecuación de Gompertz modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos dentro de un reactor tipo Batch a partir de mucílago de cacao CCN-51. Caso: Ecuador - zona 6* [Tesis de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Químico, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30428>

- Páez, M. A. P. (2011). *Escalado de la producción industrial de levadura de panificación usando dos reactores modelo y un bio-reactor prototipo*. [Tesis Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico]. Escuela Politécnica Nacional.
- Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afrenda, A., & Hatziloukas, E. (2020, 11 febrero). *Saccharomyces cerevisiae and its industrial applications*. National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7099199/>
- Phukoetphim, N., Salakkam, A., Laopaiboon, P., & Laopaiboon, L. (2017). Kinetic models for batch ethanol production from sweet sorghum juice under normal and high gravity fermentations: Logistic and modified Gompertz models. *Journal of Biotechnology*, 243, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.biote.2016.12.012>
- Plantas.ec (Ed.). (2012). *Cómo cultivar y cuidar planta de la Uvilla - Vivero Plantas Ecuador*. Plantas Ecuador. <https://www.plantas.ec/data/cultivouvilla.html#:~:text=Las%20Uvillas%20se%20pueden%20cosechar,m%C3%A1s%20bayas%20durante%20varios%20meses>.
- Puig i Vayreda, E. (2016). El vino. Editorial UOC.
- Quinteros, Á. (2018). *Modelamiento matemático de la fenomenología de crecimiento de pseudomonas putida a partir de la cinética utilizando glicerol como sustrato*. [TESIS Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323341790.pdf>
- Rheonics. (2021, 23 noviembre). *Optimizing non-Newtonian mixing applications with viscosity management*. <https://es.rheonics.com/solutions-item/optimizing-non-newtonian-mixing-applications-with-viscosity-management/>
- Ricaurte, L. (2016). "Diseño y simulación de un tanque mezclador de 10,000 gAI para la elaboración de aceites lubricantes [Trabajo final de graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/36620/1/D-CD88467.pdf>
- Rodríguez, Y., Serguera, M., & Gómez, A. (2000, 1 septiembre). *Estudio del efecto de la velocidad de agitación y del flujo de aire en el crecimiento de la levadura torula en la etapa de pre-fermentación*. Gale Academic Onefile. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A146391274&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=45e9534d>

- Rojas, M. (2012). *Investigación de la historia del vino ecuatoriano y su maridaje con la gastronomía típica ecuatoriana*. [Trabajo previo a la obtención del título de Licenciada en Administración Gastronómica, Universidad Tecnológica Equinoccial]. [https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11666/1/46268\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11666/1/46268_1.pdf)
- Ruiz, H. (2011). *Desarrollo de un vino de mortiño (arándanos) en la Corporación Grupo Salinas de Ecuador* [Trabajo final para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Pública de Navarra]. <https://core.ac.uk/download/pdf/10850641.pdf>
- Salvador, J. (2016). *Mercado internacional del vino. Intentos de modelización y estrategias territoriales de comercialización en España*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Valladolid.
- Suárez, C., Garrido, N. A., & Guevara, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. 50(1), 20-28.
- Tapia, A. (2022). *Elaboración de vino a base de níspero (*Eriobotrya japonica*) y nibs de cacao arriba (*Theobroma cacao L*) mediante el uso de dos variedades de levaduras vínicas* [Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1734/1/84-%20TAPIA%20HERRERA%20ANGIE%20VERUZCA.pdf>
- Valencia, L. (2021). *Diseño de un reactor tipo batch para la elaboración de una bebida alcohólica tradicional canario*. [Trabajo de Titulación presentado para optar al grado académico de Ingeniera Química]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Valverde, J. A. V. (2006). *Elaboración de Vino de Arazá (*Eugenia stipitata*)*. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3375/3/P109.pdf>
- Vásquez, C. (2020). *Determinación de la concentración óptima de pulpa de camu camu (*Myrciaria dubia* h.b.k. Mc. Vaugh.), como mosto para elaboración de vino dulce en Pucallpa*. [Tesis Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Ucayali]. [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5894/B11\\_2022\\_UNU\\_AGROINDUSTRIAL\\_2022\\_T\\_CHARLYS\\_VASQUEZ\\_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5894/B11_2022_UNU_AGROINDUSTRIAL_2022_T_CHARLYS_VASQUEZ_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Villagómez, S. (2013). Optimización y aprovechamiento del residuo exudado del mucílago de la almendra fresca de cacao (*Theobroma Cacao L.*) CCN51 en la elaboración de Vinagre. *Revista de Investigación Científica UTE*.
- Vidal, R. (2014). *Determinación de las propiedades de ajuste y estimación de los modelos logístico, Gompertz y Baranyi en la dinámica de poblaciones de procariontes con tendencia exponencial*. Universidad Nacional del Callao.  
<https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/900>
- Villagómez, S. (2013). Optimización y aprovechamiento del residuo exudado del mucílago) de la almendra fresca de cacao ( *Theobroma Cacao L.*) CCN51 en la elaboración de Vinagre. *Revista de Investigación Científica UTE*.
- Villarreal, K. (2022). *Uso de las levaduras Lalvin EC-1118 y Premier blanc en la elaboración de un vino espumoso a base de uvilla (*Physalis peruviana*)* [Trabajo de titulación previa la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/1527/1/068-%20VILLARREAL%20TOBAR%20KARLA%20ESTEFAN%c3%8da.pdf>

## Anexos

### Anexo A. Tabla de Simbología del diagrama de flujo

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Actividad. Ejecución de uno o más procedimientos o actividades.
	Operación. Indica las fases del proceso, método o procedimiento.
	Inspección y operación. Supervisión durante las fases del proceso.
	Inspección. Indica que se verifica la calidad y/o cantidad de algo.
	Almacenamiento. Depósito de un objeto cualquiera en un almacén.

### Anexo B Código en Matlab de la Rutina de Mínimos cuadrados no lineales de Levenberg - Marquardt (ajuste\_rpm.m)

```
clear all
clc
close all
options = optimoptions('lsqcurvefit','Algorithm','levenberg-marquardt','Display','iter detailed','FunValCheck','on','FinDiffType','central');
lb = [];
ub = [];
x0 = 5;
load('base.mat')
[x,resnorm,residual,exitflag,output] = lsqnonlin(@gompertz,x0)
y = gompertz1(x)
plot(xdata,ydata(:,1),'o')
hold on
plot(xdata,y,'r')
R2 = 1-sum(residual.^2)/(length(xdata)-1)/var(ydata(:,1));
fprintf('El valor de R2 es: %1.4f\n\n',R2)
```

### Anexo C Código en Matlab de la Rutina de Mínimos cuadrados no lineales de Levenberg - Marquardt (gompertz.m)

```
function F = gompertz(rpm)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
Pmax = 19.9771;
t1 = 2;
load('base.mat')
X = Pmax.*exp(-exp(1+((t1-xdata)*(rpm*(exp(1))))/(Pmax)))); 
F = X - ydata;
end
```

Anexo D Código en Matlab de la Rutina de Mínimos cuadrados no lineales de Levenberg - Marquardt  
(gompertz1.m)

```
function X = gompertz1(rpm)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here % Detailed explanation goes here
tl = 2;
Pmax = 19.9771;
load('base.mat')
X = Pmax.* (exp(-exp(1+((tl-xdata)*(rpm*(exp(1))))/(Pmax))))) ;
end
```

Anexo E Resultados de volumen gastado de tiosulfato de sodio en el experimento en el reactor 1 (prototipo).

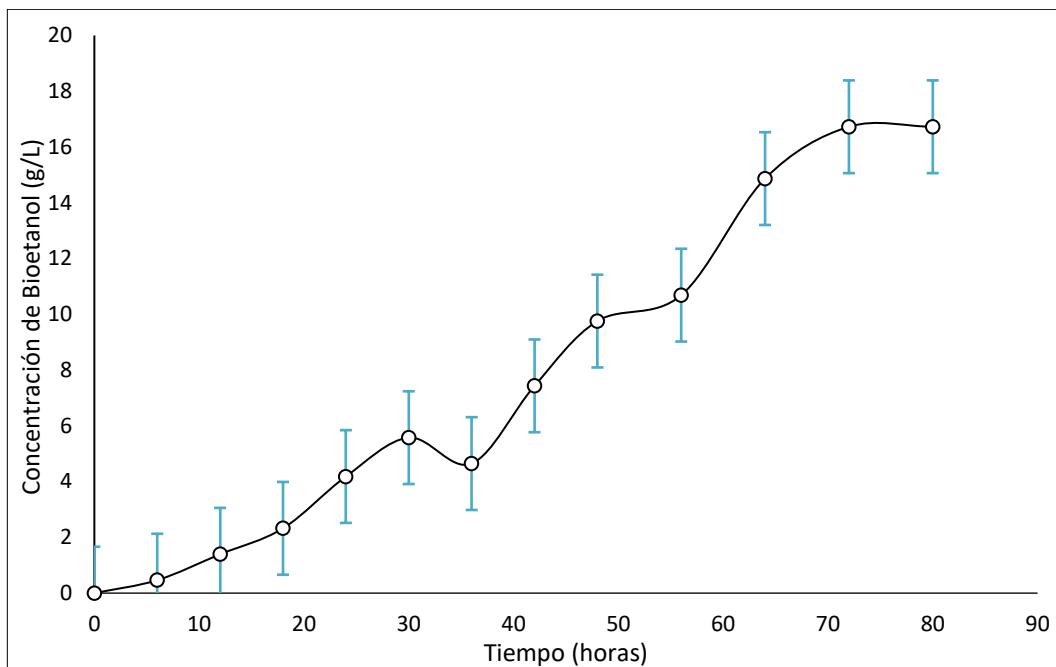
Muestra	Tiempo (horas)	Brix	Volumen gastado de tiosulfato (ml)			Promedio del volumen gastado de tiosulfato de sodio (ml)
			Muestra A	Muestra B	Muestra C	
Blanco	0	20	5.7	5.6	5.65	5.650
1	6	19.1	5.6	5.65	5.65	5.633
2	12	18.8	5.6	5.6	5.6	5.600
3	18	18.3	5.6	5.55	5.55	5.567
4	24	17.7	5.5	5.5	5.5	5.500
5	30	16.9	5.4	5.45	5.5	5.450
6	36	16.6	5.45	5.5	5.5	5.483
7	42	15.3	5.35	5.4	5.4	5.383
8	48	14.7	5.3	5.3	5.3	5.300
9	56	13.8	5.25	5.25	5.3	5.267
10	64	13.1	5.1	5.1	5.15	5.117
11	72	12.4	5	5.1	5.05	5.050
12	80	12.4	5	5.1	5.05	5.050

Anexo F Resultados de la concentración de bioetanol del experimento en el reactor 1 (prototipo).

Concentración de bioetanol (g/L)			Concentración de bioetanol promedio en la muestra (g/L)	Desviación estándar
Muestra A	Muestra B	Muestra C		
0.00	0.00	0.00	0	0.00
2.79	1.39	0.00	0.46	±1.39
2.79	0.00	1.39	1.39	±1.39
2.79	1.39	2.79	2.32	±0.80
5.58	2.79	4.18	4.18	±1.39
8.36	4.18	4.18	5.58	±2.41
6.97	2.79	4.18	4.65	±2.13
9.76	5.56	6.97	7.43	±2.13
11.15	8.36	9.76	9.76	±1.39

12.54	9.76	9.76	10.69	$\pm 1.61$
16.73	13.94	13.94	14.87	$\pm 1.61$
19.51	13.94	16.73	16.73	$\pm 2.79$

Anexo G Curva de concentración de bioetanol del experimento en el reactor 1 (prototipo).



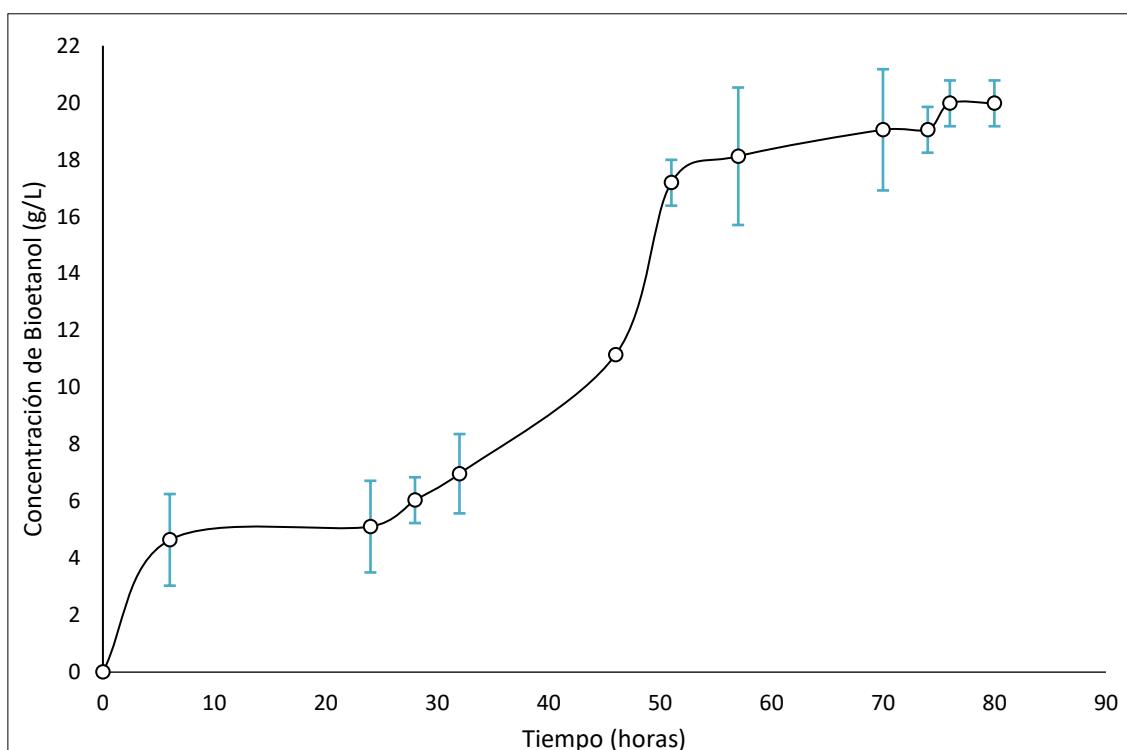
Anexo H Resultados de volumen gastado de tiosulfato de sodio en el experimento en Biotron GX batch reactor.

Muestra	Tiempo (horas)	Brix	Volumen gastado de tiosulfato (ml)			Promedio del volumen gastado de tiosulfato de sodio (ml)
			Muestra A	Muestra B	Muestra C	
Blanco	0	20	5.7	5.7	5.75	5.72
1	6	19	5.5	5.6	5.55	5.56
2	24	17.2	5.55	5.55	5.5	5.53
3	28	16.8	5.5	5.5	5.5	5.50
4	32	15.6	5.45	5.5	5.45	5.47
5	46	13.2	5.3	5.3	5.35	5.32
6	51	12.2	5.1	5.1	5.1	5.10
7	57	12.1	5.1	5.1	5	5.07
8	70	12.1	5	5.1	5	5.03
9	74	12.1	5	5	5.1	5.03
10	76	12	5	5	5	5.00
11	80	12	5	5	5	5.00

Anexo I Resultados de la concentración de bioetanol del experimento en Biotron GX batch reactor.

Muestra A	Muestra B	Muestra C	Concentración de bioetanol promedio en la muestra (g/L)	Desviación estándar
0.00	0.00	0.00	0	± 0.00
5.58	2.79	5.58	4.65	± 1.61
4.18	4.18	6.97	5.11	± 1.61
5.58	5.58	6.97	6.04	± 0.80
6.97	5.58	8.36	6.97	± 1.39
11.15	11.15	11.15	11.15	0.00
16.73	16.73	18.12	17.19	± 0.80
16.73	16.73	20.91	18.12	± 2.41
19.51	16.73	20.91	19.05	± 2.13
19.51	19.51	18.12	19.05	± 0.80
19.51	19.51	20.91	19.98	± 0.80
19.51	19.51	20.91	19.98	± 0.80

Anexo J Curva de concentración de bioetanol del experimento en Biotron GX batch reactor.



Anexo K Resultados curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado reactor prototipo.

Muestra	Tiempo (horas)	Concentración de bioetanol en la muestra (g/L)	Concentración de bioetanol en la muestra (g/L) Matlab	Desviación estándar
Blanco	0	0	0.90	± 0.64
1	6	0.93	1.60	± 0.47
2	12	1.39	2.53	± 0.80
3	18	2.32	3.67	± 0.95
4	24	4.18	4.94	± 0.54
5	30	5.58	6.27	± 0.49
6	36	4.65	7.61	± 2.09
7	42	7.43	8.88	± 1.02
8	48	9.76	10.05	± 0.21
9	56	10.69	11.43	± 0.53
10	64	14.87	12.59	± 1.61
11	72	16.73	13.53	± 2.26
12	80	16.73	14.27	± 1.74

Anexo L Resultados curva ajustada con el modelo de la ecuación de Gompertz modificado en Biotron GX batch reactor.

Muestra	Tiempo (horas)	Concentración de bioetanol en la muestra (g/L)	Concentración de bioetanol en la muestra (g/L) Matlab	Desviación estándar
Blanco	0	0	1.03	± 0.72
1	6	4.65	2.05	± 1.84
2	24	5.11	7.16	± 1.45
3	28	6.04	8.46	± 1.71
4	32	6.97	9.72	± 1.95
5	46	11.15	13.56	± 1.71
6	51	17.19	14.65	± 1.80
7	57	18.12	15.75	± 1.68
8	70	19.05	17.47	± 1.11
9	74	19.05	17.86	± 0.84
10	76	19.98	18.03	± 1.38
11	80	19.98	18.33	± 1.16

Anexo M Modelo de encuesta aplicada

Género: M \_\_\_ F \_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ años

**Instrucciones:** Se le han entregado tres muestras codificadas de bebida alcohólica elaborada con jugo de uvilla. Marque con una X a cada atributo según su percepción sensorial.

Levadura		Calificación			
		Muy agradable	Agradable	Poco agradable	Desagradable
Champion	Olor				
	Sabor				
	Color				
PDM	Olor				
	Sabor				
	Color				
Pan	Olor				
	Sabor				
	Color				

Anexo N Lavado y selección de materia prima



## Anexo O Reactivos utilizados



## Anexo P Nutriente de levadura



Anexo Q Reactor prototipo



Anexo R Reactor Smart Gx de la marca Biotron



Anexo S Peso de materia prima



Anexo T Medición de grados Brix



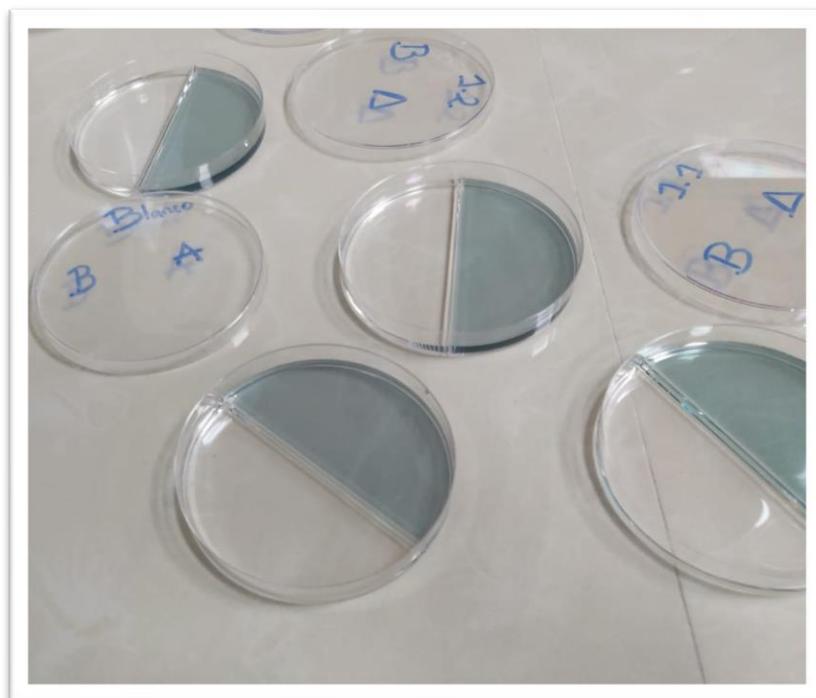
Anexo U Medición de pH



Anexo V Pasteurización



Anexo W Método de Microdifusión



Anexo X Titulación



Anexo Y Estudiantes de 10mo ciclo realizando la prueba de cata



Anexo Z Muestras de vino con sus respectivas levaduras

