

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los seres humanos como parte de su alimentación han utilizado el vinagre como condimento y conservante de alimentos desde hace miles de años. Asimismo, tiene como propiedad uso antibacteriano; el consumo de vinagre también está asociado con beneficios para la salud como; la reducción de la presión arterial, reducción de riesgo de enfermedad cardiovascular, actividad antioxidante y la promoción del metabolismo de nutrientes (Chauvet & Reynier, 1974; Chozas 1998 y Colquichagua 1998).

Las referencias más antiguas al uso de vinagre se encuentran en la cultura Babilónica (5000 A, C). El vinagre ha sido producido y vendido durante miles de años, remontándose antes del siglo VI. Los vinagres aromatizados con frutas, miel y malta eran populares entre los babilonios, mientras que Hipócrates utilizó el vinagre para tratar las heridas (Salazar, 1999 y Sellmer 2006).

En China durante el siglo décimo, algunos utilizaban el vinagre para limpiar las manos y prevenir las infecciones, mientras que en los Estados Unidos era utilizado para tratar la fiebre, la hiedra venenosa, crup, edema, y mucho más.

Los alquimistas lo usaban como disolvente durante siglos ya que el ácido acético que contiene el vinagre fue el ácido más fuerte del que se disponía. En la Biblia, una fuente tan importante como antigua, se lo menciona como una bebida refrescante y energizante, o bien como condimento, tal como se lo utiliza hoy en día (Mazza & Murooka, 2009).

El origen del vinagre fue casual, como consecuencia de dejar involuntariamente vino en contacto con aire (Adams, 1998).

Hoy sabemos que el vinagre, es rico en componentes bioactivos, como el ácido acético, ácido gálico, catequina, epicatequina, ácido cafeico, y más, proporcionándole características de un potente antioxidante, antimicrobiano, y muchas otras propiedades beneficiosas.

1.2. Mercado del vinagre

1.2.1. Mercado de vinagre en el mundo

Los vinagres que se comercializan dependen de las materias primas disponibles en cada país. Así, en EEUU, el principal productor mundial de vinagres, cerca del 70% de la población consume vinagres de granos, y en menor proporción de manzana y sidra. En Francia se prefieren los de vino blanco o tinto, mientras que en Gran Bretaña los favoritos son los de cebada malteada. El vinagre de alcohol de caña es de mayor consumo en Latinoamérica, mientras que en Japón y otros países asiáticos, es el vinagre de arroz. Dentro de los llamados vinagres especiales, en España, el producto más conocido es el procedente de Jerez, cuya elaboración se realiza con el sistema de soleras, criaderos y añejado. Por otro lado, en Italia se destaca el Aceto Balsámico elaborado a partir de uvas blancas Trebbiano, originario de Módena, en el norte de Italia, y posicionado como el mejor Aceto del mundo no sólo por su historia sino por su método de elaboración (Gurisatti, 2012).

1.2.2. Principales importadores mundiales de vinagre

Los países alrededor del mundo importaron y consumieron 344 millones de litros vinagre y sucedáneos del vinagre obtenido a partir del ácido acético, con un valor de \$530 millones dólares en 2015. Los sucedáneos del vinagre son aquellos obtenidos de forma artificial por la disolución de ácido acético en agua. Los países que consumen principalmente este producto son: Estados Unidos de América, Alemania, Francia, Reino Unido, Canadá Austria, Suiza, Italia, Australia y España (ITC, 2015^a).

Según información obtenida de UN Comtrade se puede apreciar en la siguiente tabla I-1 que los países que tienen los mayores volúmenes monetarios en términos de importación de vinagre son:

Tabla I-1. Principales importadores durante 2015

Código	País	Monto (USD)	Cuota%	Volumen(L)	Principales Exportadores
HS220900	Estados Unidos	117.327.142	22%	91.515.171	Italia, España, Japón, Francia, Canadá
	Alemania	67.104.519	13%	44.382.929	Italia, Holanda, España, Grecia, Francia
	Francia	36.626.483	7%	33.476.605	Italia, España, Alemania, Reino Unido, Bélgica
	Canadá	33.730.137	6%	20.744.034	Italia, Estados Unidos, Francia, China
	Reino Unido	31.636.774	6%	19.361.706	Italia, España, Japón, Alemania, Estados Unidos
	Otros	243.410.045	46%	160.650.630	
Total		529.835.100	100%	344.392.815	

Fuente: Informe UN Comtra de 2015.

1.2.3. Principales exportadores mundiales de vinagres

En términos de volúmenes monetarios devenidos de operaciones de exportación de vinagre, los países que se destacan son Italia, España, Alemania, Francia y Estados Unidos.

Tabla I-2. Principales exportadores durante 2015

Código	País	Monto (USD)	Cuota %	Volumen(L)	Principales Importadores
HS22090	Italia	288.682.758	54%	105.369.207	Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido
	España	32.334.520	6%	43.881.107	Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Italia, Alemania
	Alemania	28.843.685	5%	34.568.584	Holanda, Francia, Italia, Austria
	Francia	25.877.420	5%	31.013.574	Estados Unidos, Bélgica, Holanda, Alemania, Japón
	Estados Unidos	22.066.193	4%	32.875.077	Canadá, Arabia Saudita, México, Emiratos Árabes Unidos
	Otros	530.356.146	100%	344.731.495	
Total		529.835.100	100%	344.392.815	

Fuente: Informe UN Comtrade 2015.

En esta tabla puede apreciarse el gran liderazgo que tiene Italia en referencia a exportación de vinagre, y el alto precio promedio que tiene el mismo en comparación con el precio medio de vinagre de los demás países (2,74 USD/ l vs 1,04 USD/l). Esto se debe a que Italia exporta principalmente vinagre de alta calidad, producido a través del método tradicional y que lleva denominación de origen.

1.2.4. Mercado de vinagre en Argentina

En el mercado argentino existe una amplia variedad de vinagres, que difieren en presentación, calidad y precio. El mercado demanda distintos vinagres según la cocina y sus especialidades. Vinagres fuertes para carnes frías. Los de vino tinto para productos de caza o aves salvajes. Los de vino blanco para pescados y salsas tipo mayonesas y los de manzana para carne de cerdo. El vinagre de alcohol es ampliamente utilizado para ensaladas y en menor medida es utilizado como desinfectante y con fines de limpieza.

Según las fuentes del mercado, en Argentina se consumen unos 30 millones de litros de vinagre por año, sin contar Acetos y otras variantes saborizadas, que redondean a la fecha 2,4 millones de litros más. Si bien el crecimiento es lento, las marcas apuestan por hacer crecer la categoría tanto en volumen como en cantidad (J. Hidalgo, 2013).

Mientras que el Aceto Balsámico se produce en pequeñas cantidades, el 90% se destina al consumo familiar y el 10% restante a la industria. El 68% de la producción total corresponde al vinagre de alcohol, el 19% al de vino y el 13% al de manzana. Las empresas elaboradoras están ubicadas, principalmente, en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, San Juan y Mendoza (J. Hidalgo, 2013).

Los vinagres se comercializan en concentraciones entre 4 y 6% de ácido acético, mientras que los más concentrados son empleados para usos domésticos, como blanqueador y limpia vidrios (J. Hidalgo, 2013).

1.2.5. Exportaciones e importaciones de Argentina

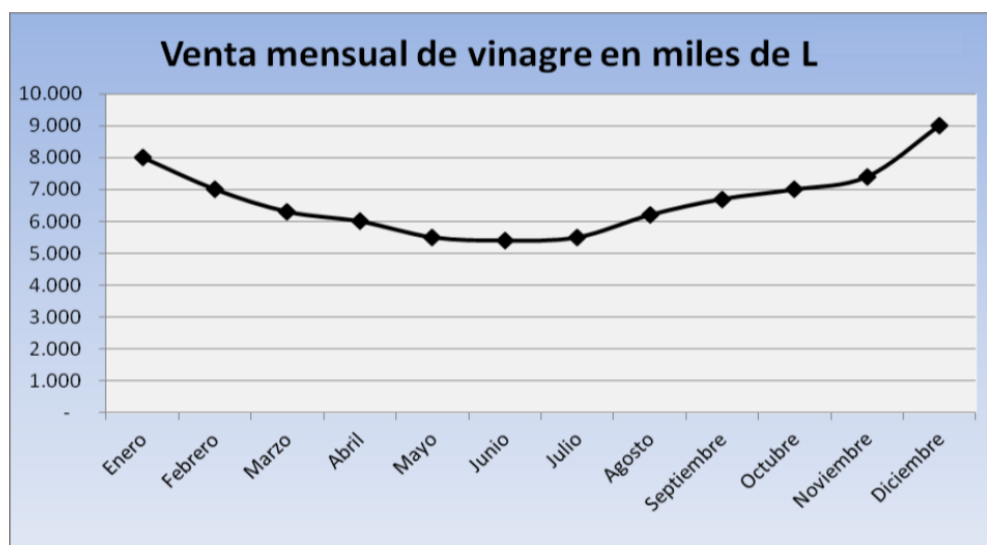
Según información de UN Comtrade, Argentina exportó en los años 2012, 2013 y 2014 alrededor 900 mil litros por año, a un promedio de 0,97 dólares por litro. El principal destino ha sido Brasil, con un 50 % del total exportado. Le siguen Chile y Paraguay en menor medida. Uruguay ha incrementado sus compras a Argentina, en el último quinquenio, para sustituir los vinagres que tradicionalmente adquiría desde Italia y España.

Las importaciones argentinas de vinagre representan un volumen considerablemente menor, llegando a 350 mil litros en 2012, a un precio promedio de 1,43 dólares por litro. Los principales orígenes de estos productos son Italia (75% del volumen total), Francia, Estados Unidos y España, siendo el principal producto el vinagre Balsámico.

1.2.6. Estacionalidad de ventas

En Argentina la venta de este producto alcanza sus puntos más altos en diciembre y enero, principalmente debido a que, en estos meses de verano, se incrementan los consumos de ensaladas y comidas más ligeras. También se consumen más productos conservados en vinagre. El resto de los meses mantiene ventas relativamente constantes.

Figura I-1 Venta mensual de vinagres en miles de litros



Fuente: Código Alimentario Argentino, 2014.

En la actualidad, en Bolivia no se cuenta con industrias que se dediquen a la producción de vinagres a partir de arándanos, motivo por el cual se analizan los países más cercanos al país y los que generan las mayores producciones, importaciones y ganancias de vinagres.

1.2.7. Mercado consumidor en Bolivia

El mercado consumidor según informes del SENASAG ya sea regional o nacional, de vinagre que entra al es de contrabando y no se tiene datos exactos.

En el mercado existen varias marcas de vinagre, la mayoría son vinagres fabricados a partir de ácido acético artificial y pocas marcas de vinagre natural, que generalmente son importados.

Las empresas productoras o distribuidoras de vinagres en Bolivia son:

- SAKURA OKUBO ALIMENTOS: Su línea de Vinagres Doña Filo, de frutas naturales se encuentra ubicada en el departamento de Santa Cruz.
- Pisabol, S.R.L.: Proceso de fermentación natural, se encuentra situada en el departamento de Cochabamba.
- Sobre la Roca: Se encuentra situada en el departamento de Sucre.
- JE Bolivia: Empresa ubicada en el departamento de Santa Cruz, especializada en la comercialización de productos naturales, elabora línea de vinagres naturales (fresa, mora, uva, durazno, melón, guayaba, piña y pitaya).
- Itenez Productos Orientales: se encuentra ubicada en el departamento de Santa Cruz.
- La Case: Tossana produce vinagre de alcohol - triso y toscana, se encuentra en el departamento de Cochabamba.
- Bodega y Viñedos Iñiguez Tarraga: Empresa artesanal, Calamuchita- vinagres legítimos de manzana y uva, ubicada en el departamento de Tarija.

Los países que tienen la mayor participación en valor en las exportaciones en Bolivia, son los que se detallan a continuación según información obtenida de TRADEMAP se puede apreciar en la tabla I-3.

Tabla I-3. Lista de mercados proveedores de un producto importado por Bolivia

Exportadores	Valor importado en 2015	Valor importado en 2016	Valor importado en 2017	Valor importado en 2018	Valor importado en 2019
Mundo	60.385	50.265	52.353	51.370	44.630
Brasil	9.547	10.568	9.977	9.704	11.538
Argentina	15.325	15.295	18.194	19.250	10.781
México	4.563	4.671	5.027	5.640	6.647
Reino Unido	9.302	4.955	5.601	4.379	4.782
Cuba	735	1.492	1.793	1.901	1.704
Panamá	2.632	2.114	2.188	1.234	1.533
Nicaragua	1.135	1.057	1.435	1.079	1.458
Austria	4.415	2.745	2.046	2.821	1.093
Perú	4.806	2.339	804	693	1.068
Estados Unidos	2.485	1.211	955	757	580
Alemania	444	451	473	423	478
Chile	1.480	1.114	839	708	384

Unidad: Miles dólares americanos

Producto: 22 Bebidas, líquidos alcohólicos y vinagre.

Fuente: TRADEMAP, Cálculos del CCI (Centro de Comercio Internacional) basados en estadísticas de Promueve Bolivia desde enero de 2015.

1.3. Mercado del arándano

De acuerdo con las últimas cifras disponibles en la base de datos de la FAO (FAOSTAT), en el 2019 la evolución de la producción de arándanos muestra una tendencia creciente. Los arándanos siguen siendo un producto popular. En Latinoamérica se continúan haciendo grandes inversiones en el cultivo de estos berries. Entre los principales países productores de arándano, destacan Estados Unidos y Canadá. En conjunto, ambos países suman un total de 484 mil toneladas de producción y sus cultivos se desarrollan en 41.5 mil ha de Estados Unidos y 40,6 mil ha de Canadá.

En cuanto a los países de la Unión Europea, el volumen de su producción consolidada solo representa el 12.4% de la producción total, aunque son solo 13 los países productores (entre ellos, Polonia, Alemania, Francia, Países Bajos y España). En cuanto al Perú, ocupa el tercer lugar, las cifras de productividad muestran un promedio de 16.8 toneladas por hectárea en el 2019, cuya producción continúa en crecimiento.

Tabla I-4. Principales países productores de arándano

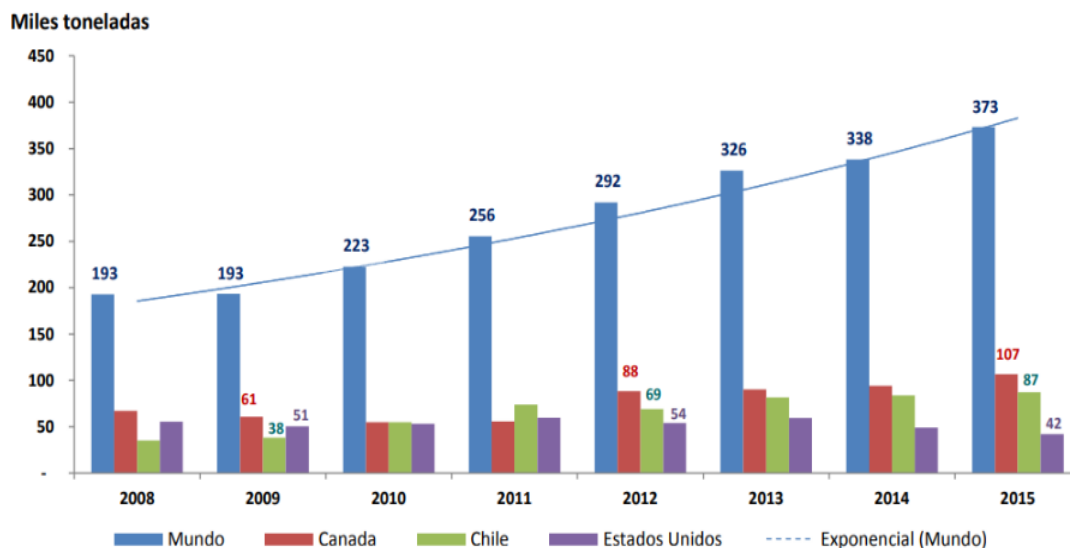
Países	2017		2018		2019	
	Producción obtenida (t)	Superficie cosechada (ha)	Producción obtenida (t)	Superficie cosechada (ha)	Producción obtenida (t)	Superficie cosechada (ha)
Estados Unidos	235.210	33.950	255.050	39.100	308.760	41.560
Canadá	173.641	41.569	155.229	41.068	176.127	40.623
Perú	52.301	4.134	94.805	6.011	142.427	8.502
México	36.700	3.334	40.251	3.611	48.999	4.319
España	35.355	3.260	43.520	3.720	53.380	4.030
Polonia	16.343	7.070	25.300	8.090	34.770	8.480
Alemania	13.805	2.844	12.760	3.040	14.850	3.160
Portugal	9.840	1.540	11.060	1.830	1.910	1.930
Países Bajos	8.935	832	9.300	930	11.060	1.110
Francia	8.496	2.431	9.655	2.970	10.420	3.370
Australia	4.065	2.010	5.808	1.571	6.159	1.675

Fuente: FAOTAT-Mar. 2019.

1.3.1. Exportaciones mundiales de arándanos

Las exportaciones mundiales de arándano fresco muestran un comportamiento sostenidamente creciente, con una tasa de incremento promedio anual de 9,9%. Sin embargo, en el 2015 el incremento fue de 10,3% respecto al año anterior (373 mil toneladas). (DGPA - DEEIA Diciembre, 2016).

Gráfico I-1. Evolución de exportaciones mundiales de arándano fresco



Fuente: ITC-Trade Map 2015.

Se puede destacar que el crecimiento de las exportaciones mundiales de arándano fresco a medida que pasan los años ha ido evolucionando, se han incorporado año tras año nuevos países, haciendo que los precios del arándano sean rentables logrando nuevos proyectos de desarrollo de este cultivo.

En ese sentido, en el 2008 alrededor de 59 países se dedican a las exportaciones en mayor o menor volumen, pero al 2015 se eleva a 73 el número de países dedicados a las exportaciones de arándanos.

1.3.2. Producción agrícola del arándano en Bolivia

Bolivia no es conocida como gran productora de este fruto; sin embargo, en 2007, la Gobernación de Tarija encargó investigar la adaptación de este cultivo en el valle central como una nueva alternativa productiva para el área rural.

En el país este cultivo está tomando mucha importancia y los departamentos productores son Cochabamba, Santa Cruz, Chuquisaca. En el departamento de Tarija, las zonas de mayor producción son el valle central y la provincia O'Connor. El principal objetivo de los mayores productores del territorio nacional es realizar la exportación de este producto, especialmente al continente europeo y al continente

asiático, ya que en estos lugares son más valorados económicamente pues son los mayores consumidores de la baya. Es por eso que, para cumplir con los estándares mínimos de los países importadores de esta fruta, el manejo de la producción debe ser bien ejecutado y cumplir con las normas internacionales de calidad (SEDAG, 2016 citado por Díaz de la Quintana, 2016).

1.3.3. Producción agrícola del arándano en Tarija

La producción de *berries* en el Valle Central de Tarija adquiere importancia a nivel nacional a partir de los años 1995 y está en pleno proceso de expansión, desarrollándose los cultivos de Frambuesa y Zorzamora.

Respecto al Arándano, el registro de su introducción a Tarija es más cercano. A iniciativa de la prefectura del departamento de Tarija, la Fundación FAUTAPO realizó una primera introducción experimental el año 2007, ensayando 4 variedades en 4 parcelas experimentales. Luego con el financiamiento de la Prefectura del Departamento de Tarija, y la administración de la FDTA-Valles, se desarrolló el Proyecto “*Validación de Variedades de Arándano en el Valle Central de Tarija*”, ejecutado entre los años 2006 y 2010 por la asociación accidental AGRO MARCAL.

En el marco de este proyecto, el año 2008 se implementaron 26 parcelas experimentales, 21 parcelas en el Valle Central, provincias Méndez, Cercado y Avilés, y 5 parcelas en las provincias de O’Connor y Arce. En la experimentación se evaluaron 6 variedades de arándano, definiéndose al cabo del proyecto las mejores zonas de producción y las variedades que mejor se adaptaron a nuestras condiciones agroecológicas son la O’neal y Misty.

Mediante el proyecto se logró atraer inversiones al departamento de Tarija, notablemente de una empresa privada que desarrollo este cultivo en la región de Entre Ríos, O’Connor. En el mismo sentido, a partir de los buenos resultados del arándano en Tarija, iniciativa de pequeños productores ampliaron y desarrollaron la cadena de la producción y comercialización del arándano en Tarija para Bolivia.

En una década de trabajo, la empresa MARCAL estableció su producción en el mercado local, con mucha aceptación: luego comenzó a sacar al mercado nacional, siendo los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba los de mayor consumo, y en una menor escala Oruro, Chuquisaca y Potosí.

Actualmente la producción de arándanos en el Valle Central de Tarija es de 3.6 hectáreas distribuidas en pequeñas parcelas en las zonas de Canasmoro, Tomatas Grande, Tolomosa, La Victoria, Coimata, San Lorenzo, Turumayo y El Valle de la Concepción. En la provincia O'Connor, (Entre Ríos), la producción es más elevada que en el Valle Central de Tarija, llegando a 14 hectáreas. El rendimiento que se obtiene por hectárea cultivada de arándano es de 6 a 8 toneladas en ambas regiones. (Ing. Sergio Martínez, Gerente General de Marcal Productores 2017).

Tabla I-5. Tarija: Superficie de arándanos cultivada en Tarija

Zona	Localidad	Superficie de Cultivo (ha)
Valle Central de Tarija	Canasmoro, Tomatas Grande, Tolomosa, La Victoria, Coimata, San Lorenzo, Turumayo y Valle de La Concepción.	3,6
Provincia O'Connor	Entre Ríos	14
Total		17,6

Fuente: Sergio Martínez, 2017.

La cosecha del arándano en estas regiones se realiza dos veces al año, entre los meses de octubre a fines de noviembre y de enero a mayo hasta que comienzan las nevadas en la región (Rocha, 2017).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Elaborar a escala laboratorio Vinagre de Arándano producido en el Valle Central de Tarija.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima (propiedades fisicoquímicas): del arándano en el Valle Central de Tarija para la elaboración de vinagre.
- Diseñar y ejecutar la parte experimental para el proceso tecnológico de elaboración de vinagre de arándano en el Valle Central de Tarija.
- Realizar análisis fisicoquímicos en la etapa de fermentación alcohólica y fermentación acética.
- Determinar el rendimiento para la elaboración de Vinagre de arándano. Mediante un Balance de Materia.
- Realizar una evaluación sensorial al vinagre de arándano en el Valle Central de Tarija.
- Presentar, analizar y valorar los resultados obtenidos en el proceso tecnológico experimental de elaboración de vinagre de arándano en el Valle Central de Tarija.

1.5. Justificación

1.5.1. Impacto tecnológico

Se expondrán las bases técnicas de proceso para poder aplicar las tecnologías necesarias en la producción de vinagre de amplio uso comestible en la Sociedad.

El proceso de producción se define a partir de principios básicos ya existentes en la bibliografía los cuales, con un análisis preliminar, donde la combinación de mano de obra, maquinaria, métodos y procedimientos de operación, son los factores más

relevantes a tomar en cuenta a la hora de definir, diseñar e implementar un nuevo proceso a través de una determinada tecnología con la que ya se cuenta en el medio.

1.5.2. Impacto económico

Con la creación de nuevos productos con alto valor agregado (vinagre), y el aprovechamiento de materia prima (arándano) producida en la región se podrá aportar al desarrollo económico, laboral y productivo en el departamento, generando fuentes de ingreso y empleo para mejorar la calidad de vida de las personas involucradas.

1.5.3. Impacto ambiental

Los métodos y equipos para de elaboración de vinagre de arándano, no son sustancialmente contaminantes para el medio ambiente, ya que por un lado no se utiliza reactivos fuertes o ninguna sustancia toxica y con respecto a la población, esta no será sometida a ningún aspecto de contaminación.

Además, la elaboración de este producto contribuye positivamente en la economía del sector agrario del departamento de Tarija.

1.5.4. Impacto social

La elaboración de vinagre de arándano brinda a la sociedad un producto nuevo que cumpla las especificaciones de calidad y normas para este tipo de productos que sean, saludables y nutritivos, además de ser un vinagre completamente distinto de los que se expenden en el mercado siendo una nueva alternativa de consumo de la misma fruta.

Este proyecto propondrá mejorar la calidad de vida en el sector donde se realizará dicho proyecto, generando un gran impacto social donde repercuta en la creación de fuentes de trabajo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Arándano

El arándano o blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*), es la denominación común para un grupo de especies frutales con arbustos pertenecientes a la familia *Ericaceae*, género *Vaccinium* y que se desarrollan principalmente en el hemisferio norte, en áreas de clima templado a templado frío en suelos ácidos, con alto contenido de materia orgánica y una gran retención de agua (SUDZUKI, 1993).

2.2. Características generales del arándano

El arándano, es una fruta fina de color azul de forma esférica (parecida a la uva), de la familia de las frutillas y frambuesas, tiene excelentes cualidades nutricionales, considerándose un poderoso antioxidante, habiéndose descubierto recientemente otros beneficios que posee esta fruta para la salud humana, como por ejemplo la prevención de determinados tipos de cáncer, regula la presión de la sangre, evita el mal de Alzheimer, la diabetes, el colesterol y otros males para quienes consumen regularmente.

Es probablemente una de las plantas más antiguas en la tierra, ya que los botánicos estiman que tiene 13.000 años de antigüedad, aproximadamente, es un arbusto pequeño de 20 a 50 centímetros de altura y tiene una vida media de 30 años.

El arándano se caracteriza por poseer un agradable aroma, sabor y apariencia, características organolépticas que complementan un componente funcional derivado de su alto contenido de antocianinas, polifenoles y por su capacidad antioxidante siendo muy apreciado en los mercados internacionales.

Esta fruta prefiere suelos ácidos, con mucha aireación, buen drenaje y con un adecuado abastecimiento de agua durante la etapa de crecimiento. Es una planta que tiene interés ecológico porque evita el desgaste del suelo y contribuye a la formación de humus.

2.2.1. Morfología del arándano

Raíz: Presenta un sistema radicular compuesto por numerosas raíces, en su mayoría superficiales. Dichas raíces son, generalmente fibrosas, finas y carentes de pelos absorbentes. En condiciones naturales, las raíces están asociadas con micorrizas formando simbiosis (Infoagro.com, 2016).

Tallo: Presenta un pequeño tallo subterráneo (corona), recto, cuadrangular y muy ramificado. Generalmente son de color marrón-anaranjado, según la especie (Infoagro.com, 2016).

Hoja: Presenta hojas simples, alternas, con forma elíptico-lanceoladas, márgenes dentados y peciolo corto. Son de color verde cuya intensidad varía dependiendo de la especie. En otoño, adquieren un tono rojizo típico en la especie (Infoagro.com, 2016).

Flor: Presentan inflorescencias en racimos de 6-10 flores por yema. Las flores individuales son pequeñas, axilares, con el cáliz compuesto de 4-5 sépalos obtusos y la corola blanca formada por 4-5 pétalos fusionados dando lugar a una forma acampanada. El pistilo es simple, de ovario ínfero y estambres en grupos de 8-10 (Infoagro.com, 2016).

Fruto: Es una baya redondeada, de 7 a 15 mm de diámetro, de color negro azulado, con pequeñas semillas y con un ribete en lo alto a modo de coronita, con un peso que varía entre 1 y 3 gramos. El tamaño de éste está relacionado con el grosor de la rama y la posición en la misma, siendo de menor diámetro aquellos que se encuentran más distales de ésta. Presenta un sabor agridulce que lo caracteriza, tiene piel tersa y pulpa jugosa y aromática. Tiene un proceso de maduración donde cambia de tonalidades rojas a negro azulado al madurar (Infoagro.com, 2016).

2.2.2. Clasificación botánica del arándano

Tabla II-1. Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
Phylum	Teleomorphytae
División	<i>Tracheophytae</i>
Subdivisión	Anthophyta
Grado Evolutivo	Metachlamydeae
Grupo de Ordenes	Pentacíclos
Orden	Ericales
Familia	Ericaceae
Nombre científico	<i>Vaccinium corymbosum</i> L.
Variedad	Misty, O'Neal
Nombre común	Arándano

Fuente: Herbario Universitario. Ismael Acosta 2017.

El género *Vaccinium* es originario del hemisferio norte, concretamente de Norteamérica (EE.UU. y Canadá), América Central, Europa (Alpes, Apeninos centrales, Pirineos) y Eurasia. Este género comprende unas 30 especies, siendo un grupo muy reducido las empleadas comercialmente.

Tabla II-2. Composición química del arándano

Componente	Cantidad
Agua (%)	83,2
Carbohidratos (%)	15,3
Fibras (%)	1,5
Proteínas (%)	0,7
Grasas (%)	0,5
Pectinas (%)	0,5
Azúcares totales (%)	10 - 14
Azúcares reductores (%) *	> 95
Sacarosa (%)	0,24
Fructosa (%)	4,04
Glucosa (%)	3,92
Contenido de sólidos solubles (%)	10,1 - 14,2
Acidez titulable (%)	0,3-0,8
Principal ácido orgánico	Cítrico
Pigmentos Antocianinas (ug /100g) Carotenoides (ug/ 100g) β Caroteno (ug/ 100g)	0,2 - 0,3
Vitamina A (UI)	100
Ácido ascórbico (ug /100g)	14
Componentes volátiles de significancia organoléptica	trans-2-hexanol

* Sobre azúcar total.

Fuente: DINAMARCA *et al.* (1986).

2.2.3. Valor nutricional

El valor nutricional del arándano azul, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, lo cataloga como un producto muy útil en la dieta alimentaria, debido a los beneficios y nutrientes componentes del fruto, lo señala como un alimento entre bajo y libre de grasas y sodio, libre de colesterol y rico en fibras y vitamina C.

Refiriéndonos a la vitamina C, interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos; favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a las infecciones. Son buena fuente de fibra; pues, además, mejora el tránsito intestinal, entre otros beneficios.

Contienen minerales como el potasio, hierro y calcio: el potasio es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso, para la actividad muscular normal e interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. Aportan taninos, de acción astringente, cuando todavía no están maduros. Una vez madurado el fruto ya ejerce un efecto laxante, es decir, lo contrario a la propiedad astringente.

Lo que en realidad caracteriza a estas frutas es su abundancia de pigmentos naturales (antocianinas y carotenoides) de acción antioxidante, ya que neutralizan la acción de los radicales libres que son nocivos para el organismo. Estas propiedades pueden dar lugar a efectos fisiológicos muy diversos; efectos antiinflamatorios y acción antibacteriana, entre otros. La ingesta dietética de estas sustancias potencia nuestro sistema inmunológico o de defensas del organismo y contribuye a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas, cardiovasculares e incluso cáncer (Krause, 2017).

Medicinales: Como su contenido en calorías es muy bajo tienen gran importancia en las dietas; además, reducen el contenido de azúcar en la sangre y tienen propiedades antiinflamatorias. Curan inflamaciones bucales (dejándolos macerar y preparando un gargarismo) debido a sus propiedades desinfectantes. Secos combaten las diarreas y frescos tienen propiedades laxantes. También se emplean para disminuir el efecto de la miopía (Cutz, 2004).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) menciona que el arándano (*Vaccinum myrtillus* L.) por cada 100 g de fruto aporta 60 kcal, y contiene 2.4 g de fibra dietética, 0.74 g de proteína, 9.96 g de azúcares, 9.7 mg de vitamina C, 0.33 g de grasas y otros valores importantes que se pueden observar en la Tabla II-3.

Tabla II-3. Composición nutricional del arándano

Nutrientes	/100 g
Energía	60 kcal
Proteínas	0.74 g
Lípidos	0.33 g
Carbohidratos	14.49 g
Azúcares totales	9.96 g
Fibras dietéticas	2.4 g
Cenizas	0.21 g
Agua	84.1 mg
Calcio	6.0 mg
Hierro	0.17 mg
Magnesio	5.0 mg
Fosforo	10.0 mg
Potasio	79.0 mg
Sodio	6.0 mg
Zinc	0.11 mg
Vitamina C	9.7 mg
Tiamina	0.05 mg
Riboflavida	0.5 mg
Niacina	0.36 mg
Vitamina B6	0.4 mg
Vitamina E	1.0 mg

Fuente: USDA National Nutrient Database.

2.3. Variedades de arándanos

La variedad es diferente en intensidad de color, sabor y tamaño, características de calidad que influyen en la decisión de compra del consumidor. La producción de arándanos proviene tanto de plantas silvestre como cultivadas. En la producción

silvestre se encuentra una variedad nativa de Norteamérica "Lowbush" (tipo arbusto bajo), y en las cultivadas, existen dos tipos de variedades mejoradas, "Rabbiteye" (ojo de conejo) y "Highbush" (arándano alto). (Montreal, Terminal Prices as of 23-JAN-2012, USDA).

Si bien son alrededor de 30 especies que constituyen este género, sólo un pequeño grupo de ellas tienen importancia comercial, siendo las que se exponen a continuación:

TablaII-4. Principales especies de arándanos

Nombre Científico	Nombre Popular	Tipo de Cultivo
Vaccinium Corymbosum	Arándano alto (Highbush)	Cultivado
Vaccinium Ashei	Arándano ojo de conejo	Cultivado
Vaccinium Macrocarpon	Arándano (Cranberry)	Silvestre y cultivado
Vaccinium Vitis-idaea	Arándano europeo (Ligonberry)	Silvestre
Vaccinium Myrtillus	Arándano europeo (Bilberry)	Silvestre

Fuente: Guía Frutihortícola 8a Edición Alejandro León.

2.3.1 Variedad de arándanos en el Valle Central de Tarija

En el Valle Central de Tarija se tiene condiciones agronómicas excepcionales, como: clima, suelos, altitud, que son importantes para obtener un producto de calidad, como producto diferenciado, por ser cultivados en alturas alrededor de 2.000 m.s.n.m., lo cual favorece una mejor atracción solar y está relacionado con el logro de una óptima amplitud térmica que se encuentra en el intervalo de -9 a 35 °C, esto va sumado a otra ventaja competitiva que los productores no usan insecticidas para su producción por lo que se puede indicar que es un producto ecológico de alta calidad, tamaño apropiado, color intenso y buen sabor. (MARCAL, 2018).

En el Valle Central de Tarija, se cultiva distintas variedades de Arándano, entre las variedades más cultivadas se encuentran:

- **O’Neal:** Que requiere de 200 a 300 h de frío/año en la zona de cultivo y se ha adaptado bien a las condiciones de los valles; la fruta es grande, azul claro y de excelente calidad. La planta es vigorosa y de hábito de crecimiento erecto, crece hasta 1,8 m. (Muñoz, 1999).
- **Misty:** Tiene un requerimiento de 150 a 300 h de frío/año en la zona de cultivo, su fruto es pequeño azulclaro, firme y de excelente sabor. Produce fruta muy temprano y puede tener una segunda cosecha de menor cantidad durante el otoño. La planta tiene un hábito de crecimiento arbustivo y requiere un manejo de poda para evitar sobreproducción. (Muñoz, 1999).
- **Biloxi:** Requiere un mínimo de 400 h de frío/año en la zona de cultivo. Florece muy temprano, por lo que puede ser afectada por heladas. Tiene fruta de mediano tamaño, de color azul claro, muy firme y de excelente sabor. La planta es de hábito erecto, muy vigorosa y productiva. (Muñoz, 1999).

2.4. Vinagres

2.4.1. Definición de Vinagre

Es el producto líquido apto para el consumo humano proveniente de la doble fermentación alcohólica y acética de productos alimenticios que contienen azúcares y/o sustancias amiláceas (NB/ISO 0100:2013).

El vinagre es definido como el producto elaborado a partir de materias primas de origen agrícola, que contenga almidón, azúcar o almidón y azúcares mediante el proceso de doble fermentación, alcohólica y acética y conteniendo una cantidad específica de ácido acético (FAO/WHO Food Standards Programme, 1987 citado por TESFAYE *et al.*, 2002).

Etimológicamente la palabra VINAGRE proviene del latín “VINUM ACRE”, que quiere decir VINO AGRÍO, y que luego fue adaptada de la locución del francés “Vinaigre”; pero a pesar que su propio nombre lo determina, el vinagre no solo

proviene del vino, sino también de cualquier materia prima cuyo componente activo sea transformado químicamente a ácido acético (Davies, 2015).

El vinagre es el producto obtenido por la doble fermentación (alcohólica y acética) de cualquier solución de azúcares y/o sustancias amiláceas fermentables, (Casale et al. 2006; Tesfaye et al. 2009). En la primera fermentación las levaduras, del género *Saccharomyces*, convierten el azúcar en etanol anaeróticamente, mientras que en la segunda fermentación el etanol es oxidado a ácido acético aeróticamente por BAA (bacterias del ácido acético).

Los sustratos normalmente utilizados para la acetificación pueden ser vino, sidra, cerveza u otro sustrato alcohólico derivado de la fermentación de granos, frutas, miel, melazas (Raspor y Goranovic 2008).

2.4.2. Características del vinagre

La composición depende del tipo de materia prima utilizada para el proceso, aunque existen algunos compuestos que se agregan al vinagre y que tiene como finalidad aportar ciertas propiedades y características deseadas al producto final, estos agregados pueden ser: aditivos, conservantes, estabilizantes, antioxidantes, etc.

En la tabla II.5 se encuentran detalladas las características que deben tener los vinagres según la norma boliviana NB/NA 100:2013.

- a) Aspecto:** Limpio.
- b) Color:** Uniforme y si es de vino, característico del vino de procedencia.
- c) Olor:** Característico.
- d) Sabor:** Característico del producto.
- e) Si el vinagre es de alcohol ,el color varia de incoloro a amarillento.**

Tabla II-5. Requisitos del vinagre según la norma boliviana NB/NA 100:2013.

Requisito	Mínimo	Máximo	Método
Acidez total ,(como ácido acético).% m/v	4	6	AOAC 930.35
Acidez fija ,(como ácido acético).% m/v	-	0,3	AOAC 930.35
Acidez volátil ,(como ácido acético).% m/v	3,7	-	AOAC 930.35
Alcohol etílico a 20° C ,% v/v	-	1,0	AOAC 930.35
pH a 20° C	2,3	2,8	AOAC 981.12
Número de oxidación con permanganato	3	-	AOAC 944.10
Cenizas totales ,en vinagres diferentes	1	5	AOAC 930.35(D)
Extracto seco/l	1,2		AOAC 930.35(C)
Metanol g/l	-	0,5	AOAC 958.04

Fuente: NB/NA 100:2013.

2.4.3. Clasificación de los vinagres

El vinagre se puede obtener a partir de una gran cantidad de sustratos. Así mismo tiene una gran cantidad de usos, razón por la cual se puede clasificar de acuerdo a su origen y en función al uso o destino del producto. La principal diferencia entre uno y otro está en la concentración de ácido acético, sustancia que determina el carácter del producto. De acuerdo al origen se clasifican en:

Tabla II-6. Tipos de vinagre de acuerdo a su origen

Tipo de Vinagre	Origen	Método de obtención
Vinagre de vino	Vino	Fermentación acética del vino.
Vinagre de alcohol	Soluciones de alcohol etílico	Fermentación acética de alcohol destilado de origen agrícola.
Vinagre de sidra	Sidra, Manzanas	Fermentación acética de la sidra o sus piquetas.
Vinagre de cereales	Cereal en grano	Fermentación alcohólica y acética de cualquier cereal en grano con almidón desdoblado.
Vinagre de cerveza, malta o cereales	Cerveza o malta de cereales	Fermentación alcohólica y acética de una digestión de malta, de cebada o de cereales cuyo almidón haya sido sacarificado.
Vinagre de miel	Miel	Fermentación alcohólica y acética a partir de miel de abejas.
Vinagre de suero de leche	Suero de leche	Fermentación alcohólica y acética de suero de leche.
Vinagre de frutas	Frutas frescas; Vinos de frutas	Fermentación alcohólica y acética de infusiones, maceraciones o cocimiento de frutas azucaradas.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 2188 - Industrias alimentarias, 2012.

2.4.3.1. Vinagre de vino

Es el vinagre obtenido de la fermentación acética del vino NB/NA 100:2013.

El vinagre de vino se obtiene mediante la fermentación de vino tinto o blanco por acción de las bacterias *Acetobacter*: estas en presencia de aire, oxidan el etanol contenido en el vino y lo transforman en ácido acético. Estos vinagres se utilizan con frecuencia en aliños de ensaladas, para cocinar verduras y carnes, y con frutas en postres.

2.4.3.2. Vinagre de alcohol

Es el vinagre obtenido de la fermentación acética de alcohol destilado de origen agrícola NB/NA 100:2013.

El vinagre de alcohol es el que se obtiene mediante la fermentación de soluciones acuosas de alcohol. Este debe proceder de la fermentación alcohólica de materias agrícolas. Por esto en la mayoría de los países se emplea alcohol, con este tipo de origen, para la fabricación de vinagre, éste se diluye a concentraciones semejantes a las que se encuentra en el vino, siendo el proceso de fabricación similar al vinagre vínico. No obstante, el alcohol no contiene los nutrientes que contiene el vino, por lo que han de añadirse para que ocurra la multiplicación y el desarrollo de las bacterias acéticas. (LLAGUNO y POLO, 1991)

2.4.3.3. Vinagre de sidra

Son vinagres obtenidos por fermentación alcohólica y acética de las frutas o del vino de frutas bayas o sidra NB/NA 100:2013.

Se produce por la fermentación alcohólica y subsiguiente acetificación del jugo de manzana. Es probablemente después del vinagre blanco el más utilizado en la cocina por su delicado y exquisito sabor.

2.4.3.4. Vinagre de malta

Es el vinagre obtenido sin destilación intermedia por el procedimiento de doble fermentación: alcohólica y acética, a partir de la cebada malteada con o sin adición de cereales en grano cuyo almidón se ha desdoblado mediante la diastasa de la cebada malteada NB/NA 100:2013.

Es el resultado de la fermentación alcohólica y posterior acetificación, de una infusión de malta de cebada o de otros cereales en el que el almidón se convierte en maltosa. Tiene un sabor ácido y puede ayudar a realzar los sabores de otros alimentos con los que se combina.

2.4.3.5. Vinagre de miel

Es el vinagre obtenido sin destilación intermedia de la miel de abejas NB/NA 100:2013.

Se obtiene de la doble fermentación de agua y miel, mientras que en la primera fermentación se obtiene vino de miel o hidromiel, en la segunda ya se obtiene el vinagre de miel. Es muy recomendable en ensaladas y marinado de carnes y pescados.

2.4.3.6. Vinagre de frutas

Como materia prima para la elaboración de vinagre existen diversas frutas que se utilizan en procesos de fermentación, usualmente las manzanas son las más usadas para la elaboración de vinagre, otras frutas que producen fermentación alcohólica son las uvas, peras, melón, naranjas, ciruelas, berries, zarzamoras, arándanos, entre otras.

Para producir un producto de calidad, la materia prima utilizada debe estar sin contaminación y en su maduración óptima. La fruta debe ser molida y prensada, para obtener un jugo rico en carbohidratos (específicamente dextrosa) para ser posteriormente puesto en fermentadores. De esta forma ocurre una fermentación espontánea que toma lugar en corto tiempo, debido a los microorganismos presentes en el producto (WEISER, 1962 y WOOD, 1985).

BORTOLINI *et al.* (2001) consideran al vinagre de frutas superior en calidad sensorial y nutritiva, comparado con los otros tipos de vinagres, presentando características de sabor y aroma propio. En lo que se refiere a su aspecto nutricional, está compuesto por vitaminas, ácidos orgánicos, proteínas y aminoácidos provenientes del fruto y de la fermentación alcohólica.

Las siguientes tipos de vinagres se clasifican de acuerdo a su uso o destino:

Tabla II-7. Tipos de vinagre de acuerdo a su uso o destino

Tipo de Vinagre	Características
Para Consumo Directo	<ul style="list-style-type: none"> -Producto transparente, libre de partículas en suspensión, vegetación criptogámica, residuos de animales y vermes (<i>anguilullaaceti</i>). -Debe tener olor propio y sabor ácido (no acre). -Sin agentes acidulantes, ácidos, ni edulcorantes. -Se permite la presencia de color caramelo, anhídrido sulfuroso y cloruro de sodio.
Vinagre Industrial	<ul style="list-style-type: none"> -Proveniente directamente de la fermentación, puede ser sometido a filtración. -Puede ser sometido a dilución o concentración.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 2188 - Industrias alimentarias (2012).

2.5. Procesos Fermentativos

La acción de agentes biológicos sobre sustratos específicos en sistemas controlados, promueve la producción de sustancias de interés. Entre los factores que afectan el proceso de conversión se encuentran el tipo de agente biológico utilizado, el pH, la temperatura, la concentración de nutrientes y los requerimientos de oxígeno (Gullo y Giudici, 2008; Vega, 2010; Ferreyra, 2006). De una manera más específica, la fermentación es la transformación bioquímica de sustancias en productos de interés, por la acción catalítica de enzimas específicas producidas por microorganismos tales como mohos, bacterias o levaduras, bajo condiciones fisicoquímicas controladas (Cruzat et al., 2009).

2.5.1. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica se define como el proceso bioquímico por medio del cual las levaduras transforman los azúcares del mosto en etanol y CO₂ (MESAS y ALEGRE, 1999).

Normalmente las levaduras usadas en la fermentación alcohólica, pertenecen a la especie *Saccharomyces cerevisiae* y la transformación del azúcar por esta levadura puede ser representada químicamente en la siguiente reacción según POTTER y HOTCHKINS (1999):



El progreso de la fermentación puede ser monitoreado visualmente observando la tasa de evolución del dióxido de carbono, pero más confiablemente por determinación del peso específico o contenido de alcohol de la mezcla (WOOD, 1985).

2.5.1.1. Levaduras

Las levaduras son hongos unicelulares pertenecientes en su mayor parte al grupo Ascomicetos, es decir, al grupo de hongos capaces de formar esporas contenidas en el interior de un asca (MESAS y ALEGRE, 1999).

PEYNAUD (1977), señala que las levaduras son los agentes de la fermentación y que por otra parte existe un gran número de especies de éstas que se diferencian en su aspecto, propiedades, modos de reproducción y por la forma en que transforman el azúcar.

Las levaduras juegan un papel trascendental en el proceso de elaboración del vino junto con factores climáticos, de cultivo, de la fruta, pH del mosto, etc. Las levaduras del género *Saccharomyces* son las más utilizadas en la elaboración del vino, sin embargo, varias especies no pertenecientes a este género han sido encontradas en el mosto fermentado, tales como *Hanseniaspora guillermondii*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia anomala*, *Candida stellata*, *Torulaspora delbrueckii*. Estas levaduras no pertenecientes

al género *Saccharomyces* contribuyen a mejorar el bouquet del vino, sin embargo no son capaces de resistir todo el proceso de fermentación debido a su escasa tolerancia al etanol. Por esta razón, varios autores han estudiado la fermentación con mezclas de levaduras, aplicadas simultáneamente o en cultivos secuenciales. Las levaduras favorecen el sabor del vino de tres modos significativos: influencia la ecología del proceso de la vinificación, el metabolismo y las actividades enzimáticas y el impacto organoléptico de especies individuales o combinaciones de especies en el sabor del vino (CLEMENTE *et al.*, 2005).

2.5.1.2. Factores que influyen en la fermentación alcohólica

2.5.1.2.1. Temperatura

La actividad de la levadura empieza a 20°C y conforme aumenta hasta los 35°C, la fermentación se hace más lenta y puede detenerse, también existe el riesgo de que desarrollen bacterias acéticas o lácticas. Para obtener una fermentación normal que se efectúa en un tiempo de 6 a 10 días, es preciso que la temperatura del mosto este comprendida al principio entre 18 a 22°C y la temperatura no excede de 35°C (Flanzy, 2000).

2.5.1.2.2. pH

El crecimiento de levadura y la velocidad de fermentación se ve afectado por la variación de pH entre 3,5 y 6,0 en el medio, pero a valores de pH entre 3,05 hasta en el medio, se logra alcanzar un máximo de rendimiento de acuerdo a la formación de producto y crecimiento de la levadura (Aleixandre, 1990).

En una fermentación alcohólica, el pH varía normalmente entre un mínimo de 2,8 y un máximo de 4,5 rango que dependerá básicamente de la composición del medio a ser fermentado (Flanzy, 2000).

2.5.1.2.3. Concentración de alcohol

El alcohol etílico o etanol es el producto final de la fermentación alcohólica, pudiendo alcanzar concentraciones entre 12 y 14 % en volumen de alcohol formado (Rivera, S. 2011). *Saccharomyces cerevisiae* puede trabajar bien en medios alcohólicos como lo

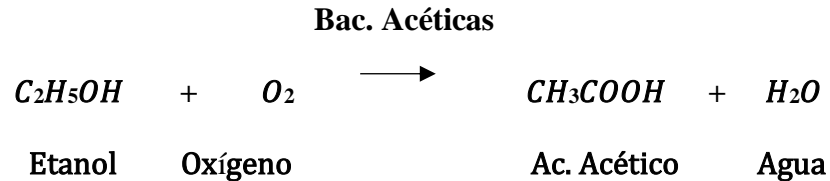
son los mostos transformándose en vino, aunque no resiste extremos. Más allá de los 14 grados de alcohol, su trabajo se hace muy lento.

2.5.1.2.4. Azúcares

Los grados Brix a concentraciones elevadas (mayor a 30%) también tiene un efecto nocivo sobre las levaduras, produciendo plasmólisis, para una buena fermentación alcohólica los grados Brix deben estar entre 16 a 18 °Brix (Flanzy, 2000).

2.5.2. Fermentación acética

La fermentación acética es el proceso de transformación de etanol en ácido acético y agua de acuerdo con la ecuación:



Es llevada a cabo por bacterias. Es un proceso exotérmico, es decir, libera energía en forma de calor. La velocidad de reacción en este proceso varía en función de la temperatura, razón por la cual el control de la temperatura es un factor de control muy importante; generalmente se debe mantener la temperatura constante entre 30 y 31°C (Hernández, 2003).

Existen muchas técnicas de acetificación que se diferencian entre sí por la forma en la que interactúan el etanol, las bacterias y el oxígeno (Adams & Moss, 2000). Con el fin de obtener un producto final satisfactorio se debe garantizar que los microorganismos a usar realicen una oxidación eficiente de etanol, tengan una producción eficiente de ácido acético y una buena tolerancia con el mismo, resistencia a pHs bajos y a agentes bacteriófagos. Adicionalmente estos microorganismos no deben ser productores de celulosa ni de aromas indeseados.

La siguiente tabla se presenta los microorganismos involucrados en la producción de los tipos más comunes de vinagre:

Tabla II-8. Microorganismos usados en la producción de vinagres

Tipo de vinagre	Levadura	Acetobacteria
Vinagre de Cerveza	<i>Saccharomyces sensu stricto</i>	<i>Acetobacter cerevisiae</i> <i>Gluconacetobacter sacchari</i>
Vinagres de Frutas	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Acetobacter aceti</i> <i>Acetobacter pasteurianus</i>
Vinagre Balsámico Tradicional	<i>Zygosaccharomyces bailii</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Zygosaccharomyces pseudorouxii</i> <i>Candidastellata</i> <i>Zygosaccharomyces mellis</i> <i>Zygosaccharomyces bispous</i> <i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	<i>Gluconacetobacter xylinus</i> <i>Acetobacter aceti</i> <i>Acetobacter pasteurianus</i> <i>Gluconacetobacter europaeus</i> <i>Gluconacetobacter hansenii</i> <i>Acetobacter malorum</i>
Vinagre de Vino	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Gluconacetobacter europaeus</i> <i>Gluconacetobacter oboediens</i> <i>Acetobacter pomorum</i> <i>Gluconacetobacter intermedius</i> <i>Gluconacetobacter entanii</i>

Fuente: Solieri & Giudici, 2010.

Para que la fermentación acética ocurra se deben cumplir una serie de requisitos que incluyen el suministro de oxígeno, la temperatura óptima y las características de la materia prima.

2.5.2.1 Factores que influyen en la fermentación acética

2.5.2.1.1. Temperatura

En el proceso de elaboración de vinagres, la temperatura es un parámetro importante a controlar. El rango de temperatura óptima para el crecimiento de las BAA (bacterias del ácido acético) es 25-30°C (Saeki et al. 1997; Ndoye et al. 2006).

Temperaturas menores a 26°C favorecen a una fermentación más lenta, altas temperaturas, sobre 34°C aceleran la evaporación del alcohol, ácido acético y sustancias volátiles que contribuyen a las características del sabor y aroma del vinagre (WEISER, 1962).

2.5.2.1.2. Concentración de ácido acético

La concentración de ácido acético es un importante factor de estrés fisiológico de las células. El ácido acético no disociado puede penetrar la membrana celular, lo que altera los procesos de transporte de dicha membrana y, a continuación, se disocia en el interior de la célula, dando lugar a niveles tóxicos del anión y consecuentemente, un aumento en la acidez (Adams 1998).

2.5.2.1.3. pH

El pH tiene un marcado efecto en la velocidad de crecimiento y en el rendimiento. El pH óptimo para algunos organismos en especial para las levaduras se encuentra en un rango de 4,0 a 6,0. Un cambio en el valor de pH puede afectar su composición o su naturaleza de la superficie microbiana al disociarse ácidos y bases. El pH tiene una gran influencia en los productos finales del metabolismo anaerobio (Fajardo & Sarmientos, 2007).

2.5.2.1.4. Aireación

La incorporación de aire es un proceso esencial, dado el carácter aerobio de las bacterias acéticas. Además de la cantidad de aire suministrado, se debe considerar la pureza y calidad de éste, las bacterias acéticas son sensibles a contaminantes presentes en el aire (LLAGUNO y POLO, 1991).

2.6. Tipos de fermentación acética

Existen diversos métodos de producción de vinagre, específicamente dos esquemas básicos en que se realiza la fermentación acética, estos son fermentación en cultivo superficial (lento) y fermentación en cultivo sumergido (rápido).

2.6.1. Fermentación en cultivo superficial

La fermentación en cultivo superficial, se caracteriza porque las bacterias acéticas se encuentran en contacto directo con oxígeno gaseoso, o situadas en la interface líquido gas, como es el caso del método Orleans o bien, fijadas a soportes de materiales tales como virutas de madera. Este sistema constituye el primer paso hacia la industrialización del proceso de fabricación de vinagre y es también precursor de las

bacterias inmovilizadas. A pesar del avance tecnológico, este método presenta desventajas, como la pérdida de sustancias volátiles por evaporación; el material de soporte, como las virutas de madera, se contamina fácilmente y es preciso reemplazarlo cada año; además es un proceso lento, por lo que se ha optado por el proceso de fermentación sumergida (WEISER, 1962 y LLAGUNO y POLO, 1991).

2.6.1.1. Método Orleáns.

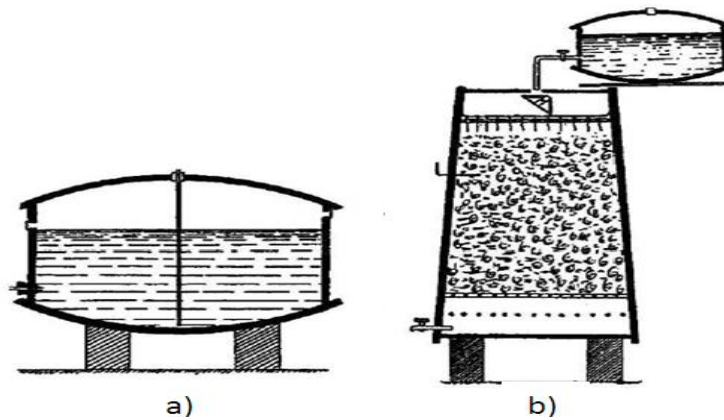
El proceso consiste en la carga de toneles perforados para su aireación, con un líquido alcohólico. Las bacterias forman una película superficial en la interfase entre el líquido y el aire, llamada “madre del vinagre”. Una vez alcanzado el grado de acidez apropiado, se extrae una parte del contenido del tonel, se lo sustituye por nuevo líquido a procesar, y así comienza el proceso (Adams & Moss 1997; Adams 1998; Suarez Lepe & Iñigo Leal 2004; Mazza & Murooka 2009). El vinagre producido por este método es de muy buena calidad, sin embargo, resulta un proceso lento y costoso, por lo que hoy en día, es empleado para la producción de vinagres selectos y tradicionales, como el Aceto Balsámico y el Vinagre de Jerez. Este sistema permite realizar simultáneamente la acetificación y el envejecimiento (Suarez Lepe & Iñigo Leal 2004).

2.6.1.2. Método Schuetzenbach

Emplea virutas de madera sumergidas en el líquido, lo cual aumenta la superficie de acetificación y mejora la transferencia de oxígeno. En este proceso se emplean recipientes verticales de doble fondo, el primer fondo agujereado, donde se coloca una capa de virutas de madera impregnadas de vinagre.

Este método presenta mejores rendimiento que el método Orleans pero puede presentar algunos problemas como la acumulación de bacterias muertas sobre las virutas, el desarrollo de otras bacterias y un aumento en la temperatura, condición que puede ocasionar la pérdida de componentes volátiles (tales como el alcohol) y bajar el rendimiento en la producción de ácido acético (Adams & Moss, 2000).

Figura II-1. Esquema de los sistemas antiguos de fabricación de vinagre: a) Método de Orléans. b) Método Alemán o Schutzenbach.



Fuente: Suarez Lepe & Iñigo Leal, 2004.

2.6.1.3. Método tradicional

Este método se basa en la acetificación de mosto de cerveza y vino en barriles de madera semi-llenos dejados al aire libre con el fin de favorecer la oxidación del etanol a acético (LLAGUNO y POLO, 1991).

Las bacterias acéticas forman un fino film sobre la solución, obteniéndose una película gruesa y gelatinosa. Esta película puede contener gran cantidad de bacterias, conocida como "vinagre madre" (WEISER, 1962).

2.6.2. Fermentación en cultivo sumergido

Los índices más rápidos de acetificación se alcanzan usando la acetificación sumergida en la cual las bacterias acéticas crecen suspendidas en un medio que sea oxigenado con aire. La fermentación en cultivo sumergido es muy eficiente y rápida, en proceso semicontinuo toman normalmente 24-48 h. Sin embargo requiere un control más cuidadoso que procesos más simples (ADAMS y MOSS, 2000).

Este sistema se basa en la presencia de un cultivo de bacterias sumergidas libremente en el seno del líquido a fermentar, en el que se introduce constantemente aire, desde la fase gaseosa a la fase líquida, en forma de burbujas y la temperatura es controlada por un refrigerante interno que actúa automáticamente (LLAGUNO y POLO, 1991).

2.6.2.1. Método alemán o método rápido

En principios se utilizaba solamente un generador de madera previsto de un cilindro vertical. El tanque era llenado de dispositivos para permitir que la solución alcohólica escurra a través de las virutas. Es un proceso donde debía haber calor, por lo tanto se debía prevenir un aumento de la temperatura para no destruir las bacterias encargadas de la fermentación (WEISER, 1962).

Por los inconvenientes de temperatura difícilmente controlables, las pérdidas de alcohol por evaporación, rebaja notablemente los rendimientos. Es por esto que se comienza a renovar estos antiguos generadores de relleno por el acetificador Frings de madera con dispositivos de control de temperatura interna y suministrando aire continuamente. Luego se construyó el Acetator Frings de acero inoxidable. Mediante estudios, se observó que la obtención de vinagre en acetificadores sin relleno, en cultivo sumergido, los rendimientos de la transformación del alcohol en ácido acético son más altos, de esta forma se va automatizando cada vez más este sistema con el fin de obtener el máximo rendimiento de vinagre en el menor tiempo posible, llegando a un sistema de acetificación en semicontinuo (LLAGUNO y POLO, 1991).

2.7. Descripción del proceso de elaboración de vinagre de frutas

2.7.1. Materia prima

La materia prima tiene que ser procesada lo antes posible (entre 4 y 48 horas después de la cosecha) de manera de evitar el deterioro. Estas operaciones preliminares se requieren para procesar todas las frutas y hortalizas, las que deben, generalmente, ser lavadas antes de pasar a otras etapas.

Para el proceso de producción se comienza con la cuantificación de la materia prima y su selección para eliminar las impurezas que puedan alterar al proceso.

2.7.2. Selección

Una vez que la materia prima está limpia, se procede a la selección, es decir, a separar el material que realmente se utilizará en el proceso del que presenta algún defecto que

lo transforma en material de segunda por lo que será destinado a un uso diferente o simplemente eliminado.

Esta selección se realiza en una mesa adecuada a tal propósito o en una cinta transportadora en el caso de contar con una instalación de pequeña escala semi mecanizada. Se trata, entonces, de separar toda fruta u hortaliza que no presente uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, o presencia de daño mecánico o microbiológico.

2.7.3. Extracción de la pulpa

Las frutas y hortalizas que han sido elegidas, deben ser transportadas a la prensa, licuadora o extractora de jugo en un recipiente adecuado que puede ser de plástico con el fin de obtener una mezcla homogénea. Se asume que esto se hace casi de inmediato y sin 'encubar' o 'macerar'. Aun así, el jugo y la pulpa se vuelven marrón en cuestión de minutos y es aquí donde el color natural del producto se determina.

La pulpa extraída luego tiene que ser recogida en un recipiente y en este punto es conveniente medir su nivel de azúcar, acidez y pH para que la mezcla se pueda corregir con otros lotes de pulpa extraída el mismo día. La fruta triturada es prensada con el fin de extraer los componentes sólidos de la fruta, obteniendo así el mosto (Lea, 2013).

2.7.4. Corrección de la cantidad de azúcar

El mosto es diluido con agua hervida o tratada fría, si es que éste es muy denso. La proporción de agua utilizada con respecto al mosto será de 2 a 1. (Hatta, 1993). En términos generales, el 15 % de azúcar corresponde a una gravedad específica de 1,070 y un alcohol potencial total de 8,5 %; 10 % de azúcar corresponde a una gravedad específica de 1,045 y un alcohol potencial del 6 %. Si la gravedad específica jugo es inferior a 1,045 y no tiene jugo más dulce para la mezcla, debe ser llevado hasta este nivel por adición de azúcar o de jugo concentrado de manzana. Para elevar la gravedad específica en 0,005; disolver de 12 g a 15 g de azúcar por litro de jugo y repetir esta operación hasta que se alcanza el nivel deseado medido con el hidrómetro. (Lea, 2013). Luego de la dilución, la cantidad de azúcar disminuye y ésta se puede medir indirectamente a través de un mostímetro, para luego mediante tablas conocer la

equivalencia en grado alcohólico. Para obtener 1 grado alcohólico adicional en el mosto se necesita agregar 17 g de azúcar adicionales por litro de mosto (Hatta, 1993).

2.7.5. Corrección de acidez

La acidez comprendida entre un pH de 3,5 a 4,0 permite seleccionar la flora del mosto, desarrollándose en él, solamente las levaduras fermentativas e inhibiéndose los microorganismos indeseables. Se corrige el grado de acidez adicionando ácido cítrico, según la cantidad requerida. (Hatta, 1993). Según Erazo et al. (2001) el pH óptimo debe ser de 4,0.

2.7.6. Adición de nutrientes

Esta operación se realiza para aquellos mostos deficientes en Nitrógeno, Fósforo y Potasio, como es el caso de los mostos artificiales y el de mostos obtenidos a partir de frutos verdes. Se puede adicionar como nutriente fosfato de amonio hasta una concentración de 40 g/100 litros de mosto. (Hatta, 1993). Según Erazo *et al.* (2001) la cantidad óptima de fosfato de amonio es de 0,5 g/L de sustrato.

2.7.7. Activación e inoculación de levadura

Reactivación de la levadura, lo cual se realiza disolviendo la levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae* o *ellipsoideus* (levadura para panificar) en agua hervida entibada (30°C) con azúcar, dejándola reposar por ½ hora.

Preparación del pie de cuba, que se hace con un poco de mosto a fermentar (aproximadamente el 5 % del total), en el cual se siembra la levadura reactivada, dejándolo reposar en un sitio abrigado (25°C - 30°C) hasta que se vea producción de gas (burbujeo). Una vez preparado el pie de cuba, se siembra finalmente en la cuba o tanque de fermentación (Hatta, 1993).

A veces la levadura sólo necesita hidratación durante aproximadamente 20 minutos. Cualquiera que sea el caso, es importante seguir las instrucciones del proveedor.

La fermentación debe comenzar dentro de 2 ó 3 días si se utiliza un cultivo de levadura activa. Como alternativa, es posible confiar en las pocas levaduras de *Saccharomyces* salvajes que estarán presentes en el jugo después de sulfitado, y permitir que se

multipliquen a niveles suficientes para iniciar la fermentación, pero esto puede tomar hasta 2 o 3 semanas (Lea, 2013).

2.7.8. Fermentación alcohólica

Una vez adicionado el pie de cuba, empieza la fermentación alcohólica que es el desdoble de los azúcares en alcohol y en CO₂., la cual será controlada mediante la medición de la densidad, o grados Brix, y de la temperatura.

Es muy importante que la levadura trabaje en un rango de temperaturas comprendido entre 20°C–25 °C. La temperatura tiene una acción selectiva en el desarrollo de otros microorganismos que no son los fermentativos. Si la temperatura sobrepasa los 30°C puede ocurrir la fermentación por bacterias. (Hatta, 1993). Es llevada a cabo en estanques o marmitas las cuales deben tener un escape o purga de gases, debido a la generación de dióxido de carbono.

Una vez que se observaron valores constantes de este parámetro, se consideró finalizada la fermentación, momento en el cual se procedió al descube.

2.7.9. Descube

Consiste en la separación de la parte sólida (hollejo) de la líquida. Se hará el descube cuando la gravedad específica del mosto esté cercana a 1,000-1,050. (Hatta, 1993)

2.7.10. Trasiegos

Consiste en separar el vino de los precipitados de los depósitos (levadura, gomas, mucilagos, etc.). Por sucesión de trasiegos se van eliminando del vino las materias insolubles y el vino se va clarificando naturalmente.

2.7.11. Fermentación acética

Antes de realizar la fermentación acética, se realiza una filtración del mosto alcohólico obtenido para separar la mayor cantidad de partículas en suspensión ya que estas podrían acarrear otras reacciones no deseadas de estar presentes en la fermentación acética. Para esta etapa se emplean filtros, mallas, coladores o únicamente sedimentación.

La materia prima como ya se indicó es el vino de arándano que también se le denomina mosto alcohólico cuando no es un vino acabado (listo para consumir). Este debe tener, de preferencia un grado alcohólico mayor a 5 % para tener un vinagre con una acidez acética mayor 4 % que es la acidez mínima que tienen los vinagres comerciales.

El mosto alcohólico se trasvasa al tacho, en el cual se debe inocular con el cultivo de bacterias acéticas *Acetobacter aceti*, o también se puede utilizar como iniciador una mezcla del 10 a 20% de vinagre no pasteurizado con una acidez mínima de 6 %.

Se realiza adición de nutriente con la finalidad de enriquecer el mosto alcohólico, con los nutrientes requeridos para un mayor desarrollo y eficiencia de la bacteria acética; favoreciendo con esto un mayor rendimiento en la producción de ácido acético. Como nutrientes se adicionó 0,1 % de fosfato de amonio (Erazo *et al.*, 2001).

Una vez acondicionado e inoculado el mosto alcohólico se inicia la fermentación acética, la cual se tiene que llevar a cabo en presencia de oxígeno, por lo que se tiene que realizar en tanques de fermentación que tengan entrada de aire. El mejor procedimiento es en el recipiente incorporar ingreso constante de oxígeno a temperatura mayor a 25 °C esto genera que la madre de vinagres se forme. El vinagre no debe contener SO₂ u otro conservante (Lea, 2013).

La "madre" es simplemente una alfombra flotante de celulosa hecha por los propios *Acetobacter* para mantenerlos cerca de la superficie, ya que el aire es esencial para su existencia.

2.7.12. Clarificación y filtrado

El vinagre obtenido se deja en reposo, para que los sólidos se sedimenten. El líquido claro, que está en la parte superior se retira y se traslada a un recipiente, de preferencia de madera o vidrio, constituida por los sólidos que se depositan en el fondo se presan para extraer el líquido restante, luego se procede a filtrar y se agrega al líquido que ya se ha colocado en el recipiente.

La filtración se realiza con el uso de coladores y gasas para eliminar los restos de la levadura y de fruta que han precipitado.

Agentes clarificantes: Se especifica a continuación los tipos de clarificantes que pueden ser utilizados en dependencia de la disponibilidad que se tenga de los mismos, con la propuesta del procedimiento más factible, económico y que no sea nocivo para la salud.

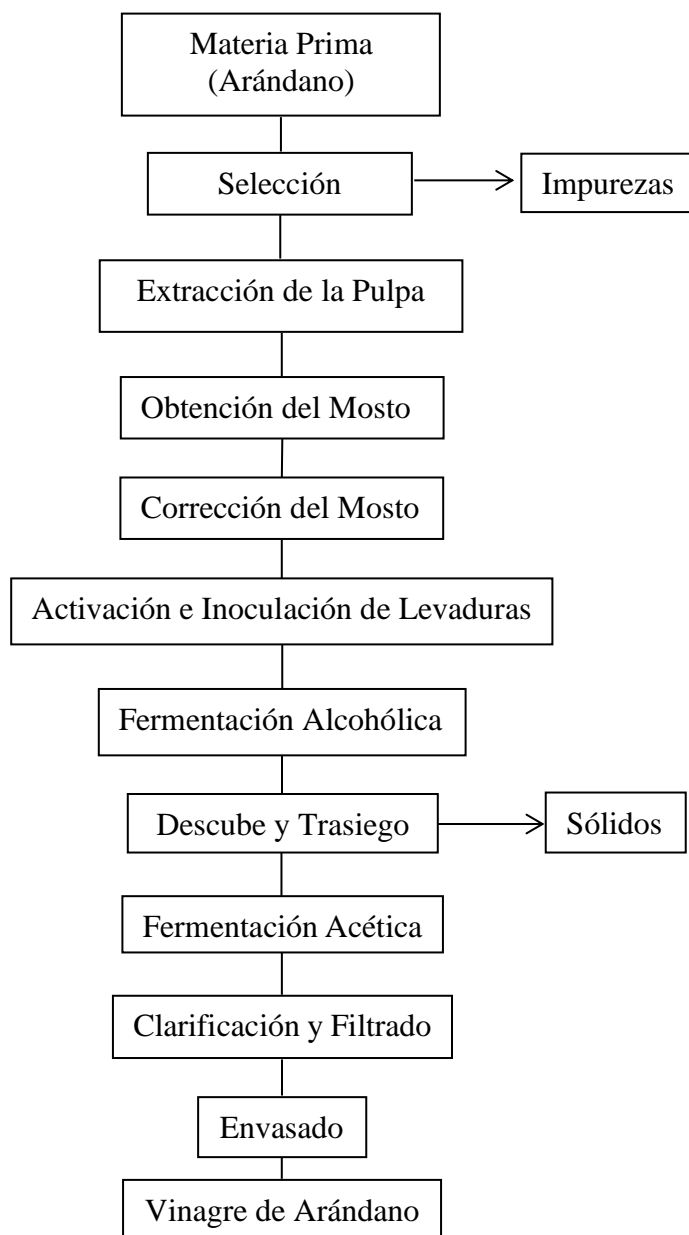
- Naturaleza orgánica (electro positivas): Gelatina, Cola de pescado; Polvo de sangre; Clara de huevo; Caseína; Levaduras, Enzimas; Tanino.
- Naturaleza inorgánica (electronegativas): Bentonita, Gel de sílice y Carbón activado.
- Sintéticos (electronegativas): Poliamida, Polivinilpirrolidona (PVP), polivinilpolipirrolidona Sintéticos (PVPP). (Hurtado, 2012)

En este caso se pretende utilizar los agentes clarificantes orgánicos, que son propios de las frutas, las levaduras y enzimas se encuentran en superficies como las cáscaras de frutas.

Gelatina: con el objeto de clarificar se agrega gelatina pura en proporción de 0.5 g/l, cuando este se halla a temperatura ambiente y se deja reposar por 48 horas.

2.7.13. Envasado

Finalizado el proceso de filtración de cada una de las muestras se procederá a envasar en botellas de plástico o de vidrio previamente esterilizados.

Diagrama II-1. Flujo en bloques de proceso de producción de vinagre de arándano

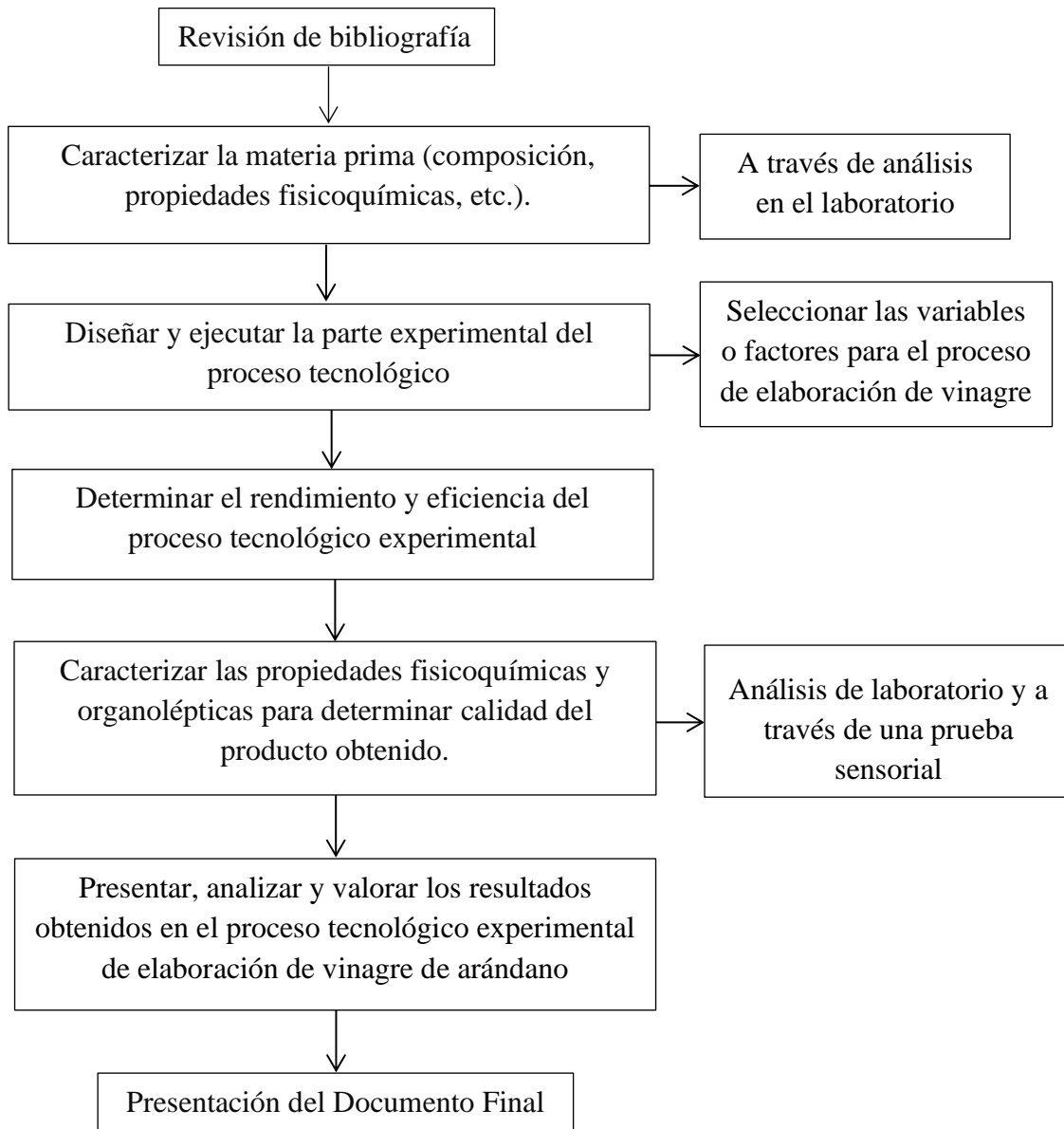
Fuente: Elaboración Propia, en base a investigación de trabajos relacionados a la producción de vinagre de frutas, 2019.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Metodología del estudio

La metodología empleada para este proyecto es una metodología experimental para realizar una investigación aplicada, en el siguiente esquema se describe desde la recolección de información, hasta la presentación del documento final.

Diagrama III-1. Metodología del estudio



Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Selección del proceso experimental

Tabla III-1. Comparación de métodos en la fermentación acética

Fermentación acética				
Método	Aplicabilidad del proceso	Tiempo de la elaboración de vinagre	Temperatura en la elaboración de vinagre	Equipos para la elaboración de vinagre
Fermentación acética en cultivo superficial.	<p>La fermentación de cultivo superficial apenas alcanza un 60 – 70% contenidos de ácido acéticos.</p> <p>Mejor metabolismo de las bacterias acéticas, aporte aromático y sensorial por la madera utilizada, dan mejores resultados.</p>	<p>El proceso de cultivo superficial lleva un tiempo de 12 – 15 días.</p> <p>Es un método lento.</p>	<p>Para el cultivo superficial se realiza a una temperatura de 27-35 °C.</p> <p>Variación de temperatura difíciles de controlar.</p>	No se dispone del equipamiento.
Fermentación acética en con cultivo sumergido.	<p>Fermentación con cultivo sumergido puede dar un mayor contenido de ácidos acéticos superior al 80%.</p> <p>Se obtiene un producto de alta calidad uniforme.</p>	<p>El tiempo necesario para la fermentación de cultivo sumergido es de 9-10 días.</p> <p>Mayor rendimiento y velocidad de acetificación.</p>	<p>La temperatura para la elaboración de vinagre se realiza a 25°C inferior y 30°C superior.</p>	<p>No se dispone del equipamiento</p> <p>Inversión alta para el equipo.</p>

Fuente: Elaboración, 2021.

3.2.1. Selección del método de fermentación acética

Para la selección del método de la fermentación acética actualmente no se cuenta con los equipos necesarios para poder fermentar por estos métodos y no es viable poder conseguirlos, por lo tanto, se construirán los reactores de acuerdo a las exigencias de

la fermentación acética. Para esto se utilizan tachos de plástico de 8 litros de capacidad acondicionados para la fermentación alcohólica y acética para todos los tratamientos a realizar. La fermentación se realizará en condiciones ambientales de temperatura y presión controlando todos los parámetros requeridos en dichos procesos.

3.3. Caracterización de la materia prima

La materia prima utilizada para el estudio de investigación y caracterización fueron arándanos pertenecientes al género *Vaccinium corymbosum* (highbush o arándano alto), proporcionado por productores de La Abrita, ubicado en la localidad La Victoria perteneciente al valle central de Tarija.

Figura III-1. Arándano de la localidad La Victoria



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas del arándano, se realizaron en el laboratorio de operaciones unitarias, perteneciente a la carrera de Ingeniería Química de la U.A.J.M.S.

Tabla III-2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de arándano

Parámetro	Técnica/o método de ensayo
Grados Brix	Método instrumental
pH	Potenciométrico
Acidez total	Método Volumétrico
Temperatura	Termometría

Fuente: Elaboración propia.

Y en el Centro de análisis, investigación y desarrollo (CEANID).

Tabla III-3. Caracterización fisicoquímica del arándano

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo
Ceniza	NB 39034:10
Fibra	Gravimétrico: Digestión Ácida
Grasa	NB 313019:06
Hidratos de Carbono	Cálculo
Humedad	NB 313010:05
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08
Valor energético	Cálculo

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño experimental

Un diseño factorial en el que la variable respuesta se mide para todas las combinaciones posibles de los niveles elegidos de los factores recibe el nombre de diseño factorial.

El diseño experimental que se utilizó corresponde a un diseño factorial de dos niveles 2^k , donde k = número de variables o factores).

3.4.1. Diseño factorial del proceso de elaboración de vinagre de arándano

El diseño factorial para el proceso de elaboración de vinagre de arándano es de 2 factores a 2 niveles cada uno, con dos repeticiones. Por lo tanto, se tendrá un número de experimentos de:

$$2^2 = 4 * 2 \text{ repeticiones} = 8 \text{ experimentos}$$

Las variables identificadas son las siguientes: Acidez total y concentración de azúcares en el jugo (°Brix). Y como variable respuesta la Calidad Global.

Tabla III-4. Niveles de las variables del diseño

Nivel	Acidez total (g/l)	°Brix
Inferior	4	9
Superior	5	13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III-5. Combinaciones de las variables de diseño

Nº Muestras	Acidez (g/l)	°Brix	Variable R. (CG)	Variable R. Réplica (CG)
1	-1	1	a ₁₁ B ₁₁	a ₁₂ B ₁₂
2	1	-1	a ₂₁ B ₁₁	a ₂₂ B ₁₂
3	1	1	a ₁₁ B ₂₁	a ₁₂ B ₂₂
4	-1	-1	a ₂₁ B ₂₁	a ₂₂ B ₂₂

Fuente: Elaboración Propia.

Dónde:

a = Acidez total

B = Concentración de sacarosa en el mosto (°Brix)

CG = Calidad Global, variable respuesta

En la tabla anterior de diseño factorial se muestra los niveles supuestos +1 y -1 de cada variable seleccionada, con sus respectivas respuestas y como también para sus réplicas.

En la Tabla III-6 se detallan las interacciones de estas variables durante la elaboración de vinagre de arándano.

Tabla III-6. Interacciones de las variables de diseño

Parámetros	Acidez Total (g/l)	°Brix	Variable Respuesta (CG)
M 1	4	13	8,2
M 2	5	9	7,2
M 3	5	13	7,5
M 4	4	9	6,9
M 5	4	13	7,9
M 6	5	9	7,3
M 7	5	13	7,3
M 8	4	9	6,7

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2. Condiciones para el diseño

3.5. Materia prima, insumos, reactivos, materiales y equipos utilizados

Para el proceso de obtención de vinagre a nivel de laboratorio, en la etapa de fermentación alcohólica y fermentación acética se utilizarán los siguientes insumos:

3.5.1. Materia prima

Arándano. - Para la elaboración de vinagre de arándano debe de estar en su punto máximo de madurez, además se ha considerado su precio y la disponibilidad de la fruta en todo el año.

3.5.2. Insumos

Agua mineral. - El agua debe ser purificada para eliminar los elementos nocivos, se usa para diluir y preparar el mosto.

Azúcar. - Sirve para aumentar la concentración de azúcar, porque esta disminuye con la dilución.

Ácido cítrico y bicarbonato de sodio. - Se usan para corregir la acidez del mosto diluido, de modo que la levadura actúe apropiadamente en la fermentación alcohólica. En este caso para el arándano se agrega ácido cítrico.

Levadura. - El uso de la levadura *Sacharomyces cerevisiae* resulta necesario para la fermentación alcohólica del mosto. Se recomienda la levadura seca liofilizada de panificación.

Nutriente: Fosfato de amonio. - El uso de sales de amonio como nutriente para la levadura. La adecuada nutrición de la levadura es un factor esencial para poder llevar a cabo una óptima fermentación alcohólica y prevenir las paradas fermentativas.

Ácido ascórbico. - El ácido ascórbico o vitamina C, es un poderoso antioxidante, consumiendo el oxígeno disuelto, de esta forma protege al vino, evitando la oxidación de los compuestos aromáticos (conservando el aroma y afrutado).

Inóculo o vinagre iniciador. (Bacterias acéticas: Acetobacter aceti). - Se denomina así al vinagre sin pasteurizar, que presenta una acidez de 5% a 8%. Se utiliza para iniciar la fermentación acética.

Tabla III-7. Insumos

Insumos	Cantidad
Agua	20 L
Azúcar	3 kg
Ácido cítrico	160 g
Levadura <i>Sacharomyces cerevisiae</i>	25 g
Nutriente: Fosfato de amonio	40 g
Ácido ascórbico	25 g
Inóculo o vinagre iniciador	2,5 L

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. Reactivos

Tabla III-8. Reactivos

Reactivos	Cantidad
Hidróxido de Sodio 0,1N	1 L
Indicador: Azul de bromotimol	25 ml
Agua destilada	4 L
Alcohol al 96%	2 L

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.4. Materiales

Tabla III-9. Materiales

Materiales	Cantidad	Materiales	Cantidad
Vasos de precipitación 100 ml	1	Soporte universal	1
Bureta 50 ml	1	Pinza doble nuez	1
Probeta 25 y 100 ml	1	Termómetro 0-200°C	1
Matraz Erlenmeyer 250 ml	1	Papel filtro (pliegue)	4
Varilla de vidrio	1	Manguera (m)	5
Espátula	1	Balde de plástico 8 L	8
Embudo vidrio 10 mm	1	Guantes	10
Piseta	1	Botellas de plástico	20

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5. Equipos

Los equipos mencionados se encuentran disponibles en UAJMS-LOU.

Refractómetro digital de Abbe. - El refractómetro digital Abbe se utilizó para determinar el valor de los grados Brix. Los grados Brix es la unidad más utilizada en el mundo para medir la concentración de azúcar. Este valor es definido a partir de la cantidad de sólidos disueltos que hay en un líquido, que se obtienen a través de la gravedad específica y se usa sobre todo para medir la azúcar disuelta. (Anexo B)

pH metro. - El pH metro es un instrumento que mide la actividad del ion hidrogeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez o alcalinidad expresado como pH. (Anexo B)

Balanza analítica Kern. - La balanza analítica son instrumentos de medida que se utilizan principalmente para pesar pequeñas masas menores al miligramo. (Anexo B)

Balanza electrónica digital SF-400.- Esta balanza electrónica se utilizó para pesar cantidades mayores a las que se pesaron en la balanza analítica. (Anexo B)

Calentador. - Calentador hasta 180 °C, se utilizó para elevar la temperatura del agua empleada en la activación de la levadura. (Anexo B)

3.6. Diseño del proceso tecnológico seleccionado

3.6.1. Proceso de obtención de vinagre de arándano

3.6.1.1. Recepción de la materia prima

La materia prima, arándanos maduros provenientes de la localidad de La Victoria se reciben en fuentes de plásticos y se mantiene a una adecuada temperatura para su conservación.

Para el proceso de elaboración de vinagre de arándano se comienza con la cuantificación de la materia prima que entrará al proceso.

Figura III-2. Arándano



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.2. Selección y lavado del arándano

Se realizó una selección manual, eliminando la fruta que este dañada y algunas impurezas (hojas y tallos) presentes que puedan alterar al proceso.

Figura III-3. Selección del arándano



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.3. Pesado

El arándano seleccionado se pesó en una balanza electrónica con la finalidad de calcular el rendimiento y las pérdidas que se tendrán durante todo el proceso.

Figura III-4. Pesado del arándano



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-10. Cantidad de arándano inicial y seleccionado

Muestra	Cantidad de Arándano Inicial (kg)	Impurezas (kg)	Cantidad de Arándano Seleccionado (kg)
1	2,600	0,084	2,516
2	2,602	0,087	2,515
3	2,603	0,0103	2,500
4	2,600	0,082	2,518
5	2,605	0,094	2,511
6	2,603	0,085	2,518
7	2,605	0,0101	2,504
8	2,600	0,090	2,510

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.4. Extracción del mosto

Los arándanos se estrujan con las manos de manera que se rompa el fruto, para enriquecer con la levadura y los nutrientes propios de la fruta y así obtener una mezcla más homogénea del mosto. Con el objeto de caracterizar la materia prima de origen, se procedió a la toma de muestra y se realizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, acidez total y sólidos solubles.

Figura III-5. Estrujado manual del arándano



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.5. Corrección del mosto

Añadimos los insumos necesarios para la corrección del mosto según los parámetros que se establecieron en el diseño factorial de la fermentación alcohólica.

El proceso se inicia con la dilución de la mezcla de arándanos estrujados con agua mineral fría, lo que disminuye el grado de azúcar y acidez.

Tabla III-11. Dilución del mosto: Adición de agua

Muestra	Arándano estrujado (kg)	Agua (kg)	Cantidad Total de Mosto
1	2,516	2,500	5,016
2	2,515	2,500	5,015
3	2,500	2,500	5,000
4	2,518	2,500	5,018
5	2,511	2,500	5,011
6	2,518	2,500	5,018
7	2,504	2,500	5,004
8	2,510	2,500	5,010

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la tabla III-11 se adicionó agua en una proporción 2,5 kg fruta / 2,5 kg agua para evitar su gelificación. Por tanto, la relación en la dilución es (1:1).

3.6.1.6. Ajuste de los grados Brix

Se corrige el contenido de azúcar a 9° y 11° grados Brix, para esto se procede a calcular la cantidad de azúcar necesaria para alcanzar los °Brix deseados de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Cantidad\ de\ azúcar = \frac{P_j \times ({}^{\circ}B_d - {}^{\circ}B_a)}{100 - {}^{\circ}B_d}$$

En donde:

P_j = peso del mosto de cada tratamiento.

${}^{\circ}B_d$ = Grados Brix deseados.

${}^{\circ}B_a$ = Grados Brix actuales.

De esta manera se determina la cantidad de azúcar necesaria para alcanzar los °Brix establecidos en el diseño.

Tabla III-12. Corrección de grados Brix: Adición de azúcar

Muestra	Brix Inicial de la Pulpa	Cantidad de Azúcar Añadida(kg)	Brix Corregido
1	11,0	0,340	13,0
2	10,6	0,188	9,0
3	11,0	0,340	13,0
4	11,2	0,170	9,0
5	10,8	0,345	13,0
6	10,6	0,187	9,0
7	10,6	0,346	13,0
8	10,7	0,186	9,0

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.7. Ajuste de la acidez total

Se corrige la acidez del mosto adicionando ácido cítrico o carbonato de potasio, ya sea para subir o bajar la acidez respectivamente.

Para determinar la acidez total o titulable del mosto se realiza una titulación ácido base, luego de determinar la acidez total inicial y en este caso se utilizó ácido cítrico, tomando en cuenta que 1 gramo de ácido cítrico sube 1 grado de acidez, se realizan los cálculos correspondientes y se determinan las cantidades de ácido cítrico necesarios en la siguiente tabla.

Tabla III-13. Corrección de la acidez: Adición de ácido cítrico

Muestra	Acidez Inicial del Mosto	Cantidad Ácido Cítrico Añadido (kg)	Acidez Total Corregida (g/l)
1	1,84	0,011	4
2	2,02	0,015	5
3	1,88	0,016	5
4	1,78	0,011	4
5	2,02	0,010	4
6	2,07	0,015	5
7	2,10	0,014	5
8	1,96	0,010	4

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.8. Activación e inoculación de la levadura

Activación de levadura utilizada *Saccharomyces cerevisia* se llevó a cabo utilizando una proporción de 1:10 (levadura: agua a 37°C).

Se coloca en un vaso agua a 37 °C y se disuelve una cucharilla de azúcar, luego se pesa la levadura en una balanza analítica y se la añade al vaso, mantener la temperatura en baño maría por 15 min. La activación de la levadura se notará por la formación de burbujas en la superficie maso menos hasta duplicar su volumen. Una vez activada la levadura se inocular al fermentador que contiene el mosto corregido.

Para iniciar la fermentación alcohólica es necesario realizar una agitación para homogenizar, finalmente se deja en reposo.

El protocolo de inoculación consistió en el uso de 4 g de la levadura por cada 100 ml de bebida alcohólica (Coronel, 2009).

Figura III-6. Activación de la levadura



Fuente: Elaboración Propia.

Figura III-7. Inoculación de la levadura



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.9. Adición de nutrientes

Los nutrientes adicionados al medio de cultivo para el desarrollo del proceso fermentación son fosfato de amonio (80 g/100 l) y ácido ascórbico (50 g/100 l) se muestra en la tabla III-14.

Figura III-8. Adición de nutrientes



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-14. Inoculación de levadura y nutrientes

Muestra	Levadura Saccharomyces Cerevisiae (kg)	Fosfato de Amonio (kg)	Ácido Ascórbico (kg)	Mosto Total Corregido (kg)
1	0,002	0,004	0,0025	5,376
2	0,002	0,004	0,0025	5,227
3	0,002	0,004	0,0025	5,365
4	0,002	0,004	0,0025	5,208
5	0,002	0,004	0,0025	5,375
6	0,002	0,004	0,0025	5,229
7	0,002	0,004	0,0025	5,373
8	0,002	0,004	0,0025	5,215

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.10. Fermentación alcohólica

Antes de iniciar el proceso fermentativo, se agitó para tener una concentración homogénea de la levadura y nutrientes. Los tachos con el mosto se taparon y se conectó con una trampa de aire.

La trampa de aire para la fermentación alcohólica, consiste en perforar el centro de la tapa del fermentador por donde pase una manguera de 5 mm de diámetro. Esta manguera va hacia una botella que contiene agua, para permitir la salida del CO₂.

Esta operación se realizó a temperatura ambiente, durante el proceso se controlaron la temperatura, pH y grados Brix por un periodo de 13 a 15 días aproximadamente.

Una vez que se observaron valores constantes de los grados Brix, se consideró finalizada la fermentación, momento en el cual se procedió a la filtración.

Figura III-9. Fermentación alcohólica



Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.11. Trasiego

Concluida la fermentación alcohólica, se realizó el trasiego del vino a partir de arándano, con la ayuda de coladores y gasas previamente desinfectados, con el propósito de separar el mosto alcohólico de los restos de sólidos de la fruta precipitada que quedan al fondo del recipiente.

Se dejaron los tachos en reposo por unos días para realizar el trasiego con el fin de eliminar los lodos de las levaduras que se sedimentaron en el fondo de los baldes.

Figura III-10. Trasiego del mosto alcohólico



Fuente: Elaboración Propia.

Figura III-11. Pesado de los sedimentos después del trasiego



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III-15. Pesos de trasiegos del vino de arándano

Muestra	Primer Trasiego (kg)	Segundo Trasiego (kg)	Tercer Trasiego (kg)	Vino Total (kg)
1	0,616	0,307	0,255	4,198
2	0,620	0,310	0,259	4,038
3	0,608	0,303	0,265	4,189
4	0,612	0,307	0,248	4,041
5	0,618	0,317	0,265	4,175
6	0,607	0,315	0,268	4,039
7	0,605	0,299	0,250	4,219
8	0,613	0,312	0,260	4,030

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.12. Inoculación de bacterias acéticas

Figura III-12. Inoculación de bacterias acéticas



Fuente: Elaboración Propia.

Para la inoculación, se añadió al mosto alcohólico filtrado, vinagre iniciador (*Acetobacter aceti*) en una proporción de 1:0,1, como se detalla en la siguiente tabla III-16.

Tabla III-16. Inoculación de bacterias acéticas

Muestra	Vino Total (kg)	Bacterias Acéticas (kg)	Vino Total Inoculado (kg)
1	4,198	0,300	4,498
2	4,038	0,300	4,338
3	4,189	0,300	4,489
4	4,041	0,300	4,341
5	4,175	0,300	4,475
6	4,039	0,300	4,339
7	4,219	0,300	4,519
8	4,030	0,300	4,330

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.13. Fermentación acética

Una vez inoculado el mosto alcohólico se inicia el proceso de transformación del alcohol a ácido acético. En esta etapa de la fermentación se harán controles diarios de pH y temperatura.

La acidez del mosto para iniciar el proceso de acidificación fue de 2.68%, por lo que se utilizó vinagre iniciador (*Acetobacter aceti*) con un 6 % de acidez.

3.6.1.14. Filtración

Una vez cumplidos los parámetros necesarios de acidez y pH durante el proceso de oxidación, se procedió a filtrar el vinagre con el propósito de eliminar toda cantidad de sedimentos, siendo indispensable para obtener un producto limpio.

Tabla III-17. Pesos de la filtración del vinagre

Muestra	Vinagre Total (kg)	Partículas sólidas sedimentadas (kg)	Vinagre Total Filtrado (kg)
1	4,498	0,238	4,260
2	4,338	0,242	4,096
3	4,489	0,255	4,234
4	4,341	0,231	4,110
5	4,475	0,245	4,230
6	4,339	0,237	4,102
7	4,519	0,268	4,251
8	4,330	0,232	4,098

Fuente: Elaboración Propia.

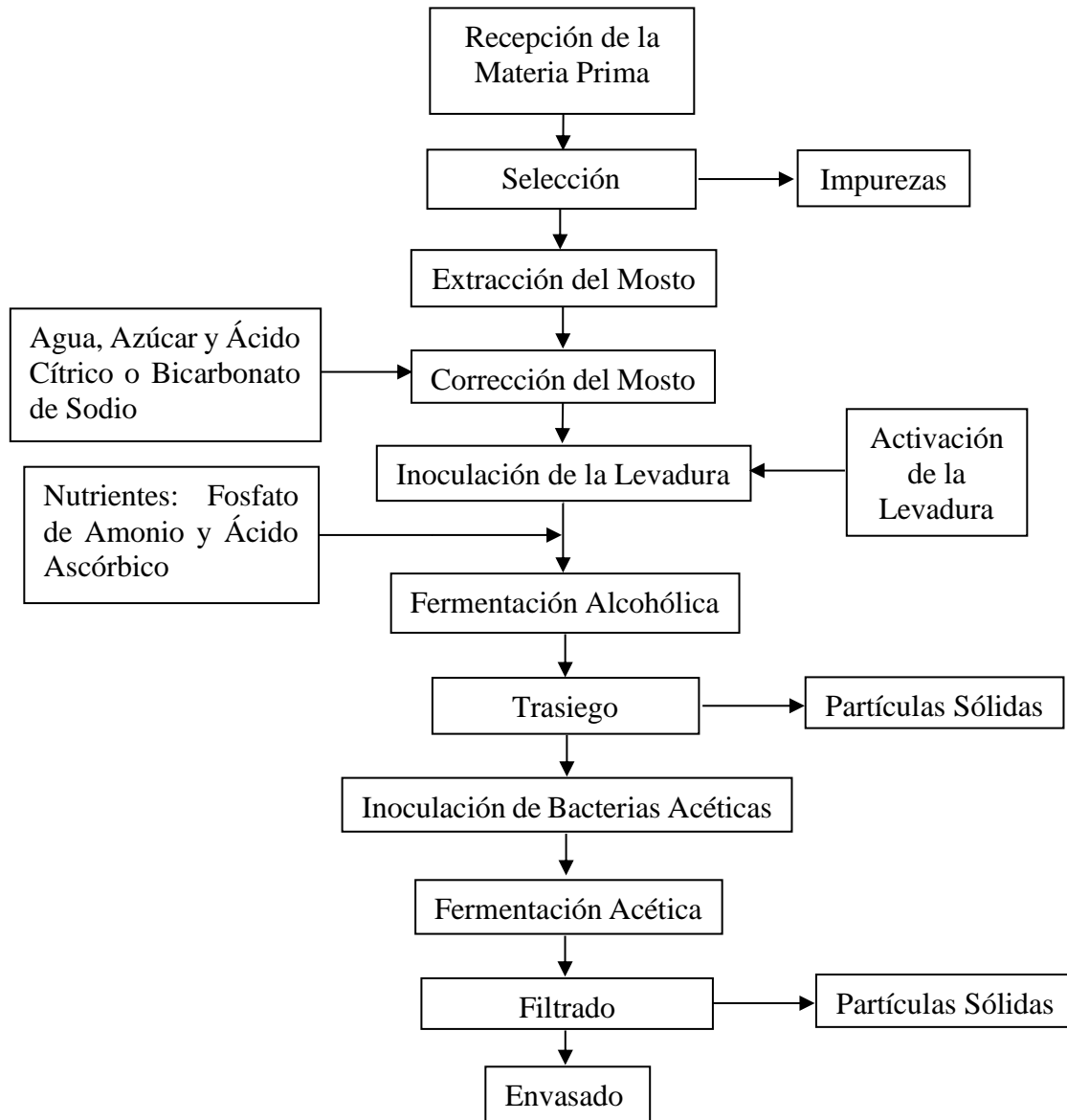
3.6.1.15. Envasado

Finalizado el proceso de filtración, se procedió a envasar manualmente en botellas de plástico previamente esterilizadas, se etiquetaron y se almacenó el vinagre en un lugar seco y limpio protegido del sol.

Figura III-13. Envasado del vinagre de arándano.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama III-2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de vinagre de arándano.



Fuente: Elaboración Propia.

3.7. Análisis sensorial del producto obtenido

La evaluación sensorial de los alimentos constituye hoy en día un pilar fundamental para el diseño y desarrollo de nuevos productos alimenticios. Sin duda el poder medir en laboratorio el grado de satisfacción que brindará un determinado producto permite anticipar la aceptabilidad que este tendrá.

El análisis sensorial del producto obtenido, se realizó con la finalidad de evaluar las características organolépticas como: color, olor, sabor y calidad global. La calidad global es el conjunto de características que diferencian entre distintas unidades de un producto y que influyen en la aceptación del mismo por el consumidor. En este caso se refiere a las características de color, olor y sabor.

Se utilizó las pruebas sensoriales basadas en escala hedónica de 9 puntos de valorización, con diferentes jueces no entrenados. Esta se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UAJMS.

Tabla III-18. Escala hedónica de 9 punto

Escala Hedónica de 9 Puntos	
9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta poco
5	No me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta poco
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta muchísimo

Fuente: Elaboración Propia.

Al obtener el vinagre de arándano se procedió a realizar la prueba sensorial en donde se puso a disposición de los jueces calificadores como se muestra en la figura III-14,

al llenado del test sensorial para el vinagre de arándano. (Anexo D)

Figura III-14. Jueces evaluadores de la prueba sensorial

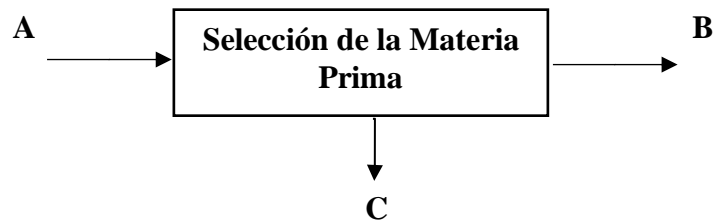


Fuente: Elaboración Propia.

3.8. Balance de Materia

El balance de materia proporciona datos sobre flujos intermedios y pérdidas en el proceso. El balance se hizo a la muestra M1, muestra que presentó un mejor rendimiento.

Balance de materia en la selección de la materia prima



Donde:

A = 2,600 kg de Arándano

B = 0,084 kg de Impurezas

C = 2,516 kg de Arándano Seleccionado

Hallar la cantidad de materia que se perdió en la selección:

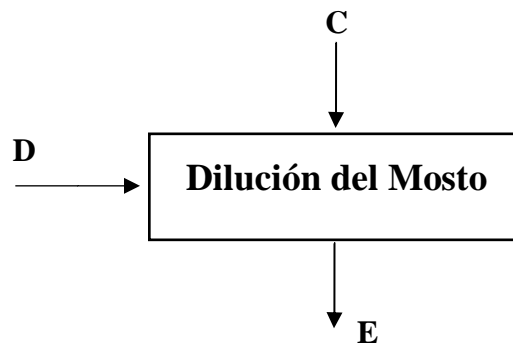
$$A = B + C$$

$$2,600 \text{ kg} = B + 2,516 \text{ kg}$$

$$B = 2,600 \text{ kg} - 2,516 \text{ kg}$$

$$B = 0,084 \text{ kg de Impurezas}$$

Balance de materia en la dilución y corrección del mosto



$$C + D = E$$

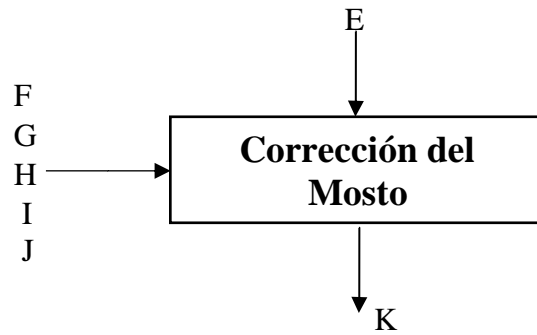
$$2,516 \text{ kg} + 2,500 \text{ kg} = E$$

$$E = 5,016 \text{ kg Mosto Diluido}$$

Donde:

D = 2,500 kg de Agua mineral

E = 5,016 kg de Mosto Diluido



$$E + F + G + H + I + J = K$$

$$5,016 \text{ kg} + 0,340 \text{ kg} + 0,011 \text{ kg} + 0,002 \text{ kg} + 0,004 \text{ kg} + 0,0025 \text{ kg} = K$$

$$K = 5,376 \text{ kg Mosto Corregido}$$

Donde:

F = 0,340 kg de Azúcar

G = 0,011 kg de Ácido cítrico

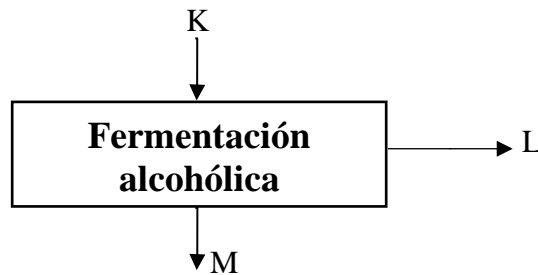
H = 0,002 kg de Levadura

I = 0,004 kg de Fosfato de Amonio

J = 0,0025 kg de Ácido Ascórbico

K = 5,376 kg de Mosto Corregido

Fermentación alcohólica: Primer trasiego



Donde:

L = 0,616 kg Sedimentos (Primer Trasiego)

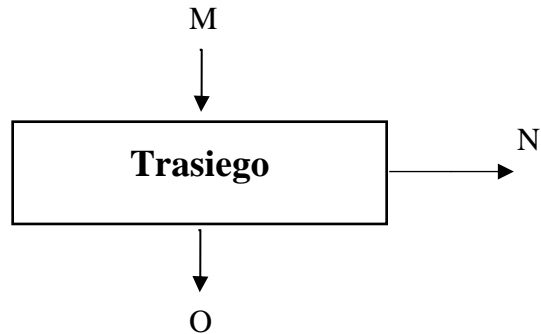
M = 5,467 kg de Vino de Arándano Trasegado

$$K = L + M$$

$$5,376 \text{ kg} = 0,616 \text{ kg} + M$$

$$M = 5,376 \text{ kg} - 0,616 \text{ kg} = 4,760 \text{ kg Vino Trasegado}$$

Balance de materia: Segundo trasiego



Donde:

$N = 0,307$ kg Sedimentos (Segundo Trasiego)

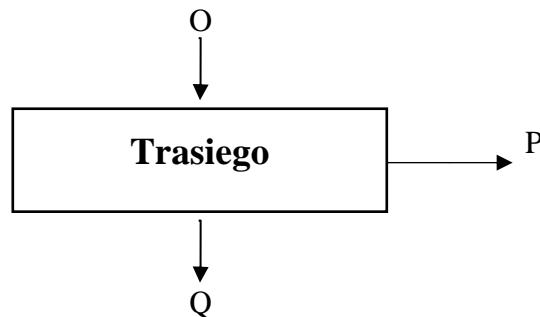
$O = 4,453$ kg de Vino de Arándano Trasegado

$$M = N + O$$

$$4,760 \text{ kg} = 0,307 \text{ kg} + O$$

$$O = 4,760 \text{ kg} - 0,307 \text{ kg} = 4,453 \text{ kg Vino de Arándano trasegado}$$

Balance de materia: Tercer trasiego



Donde:

$P = 0,255$ kg Sedimentos (Tercer Trasiego)

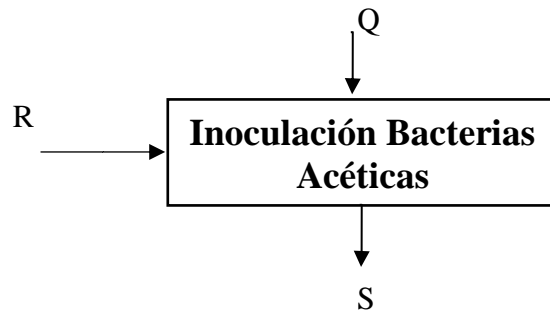
$Q = 4,198$ kg de Vino de Arándano Trasegado

$$O = P + Q$$

$$4,453 \text{ kg} = 0,255 \text{ kg} + Q$$

$$Q = 4,453 \text{ kg} - 0,255 \text{ kg} = 4,198 \text{ kg Vino de Arándano trasegado}$$

Fermentación Acética: Balance de materia en la inoculación bacterias acéticas



Donde:

$R = 0,300$ kg Bacterias Acéticas

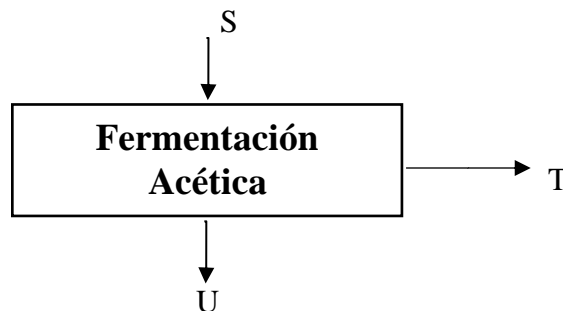
$S = 4,498$ kg de Vino de Arándano inoculado

$$R + Q = S$$

$$S = 0,300 \text{ kg} + 4,198 \text{ kg}$$

$$S = 4,498 \text{ kg Vino de Arándano inoculado}$$

Fermentación Acética: Filtrado



Donde:

$T = 0,238$ kg Filtrado (Restos de levaduras)

$U = 4,080$ kg de Vinagre de Arándano

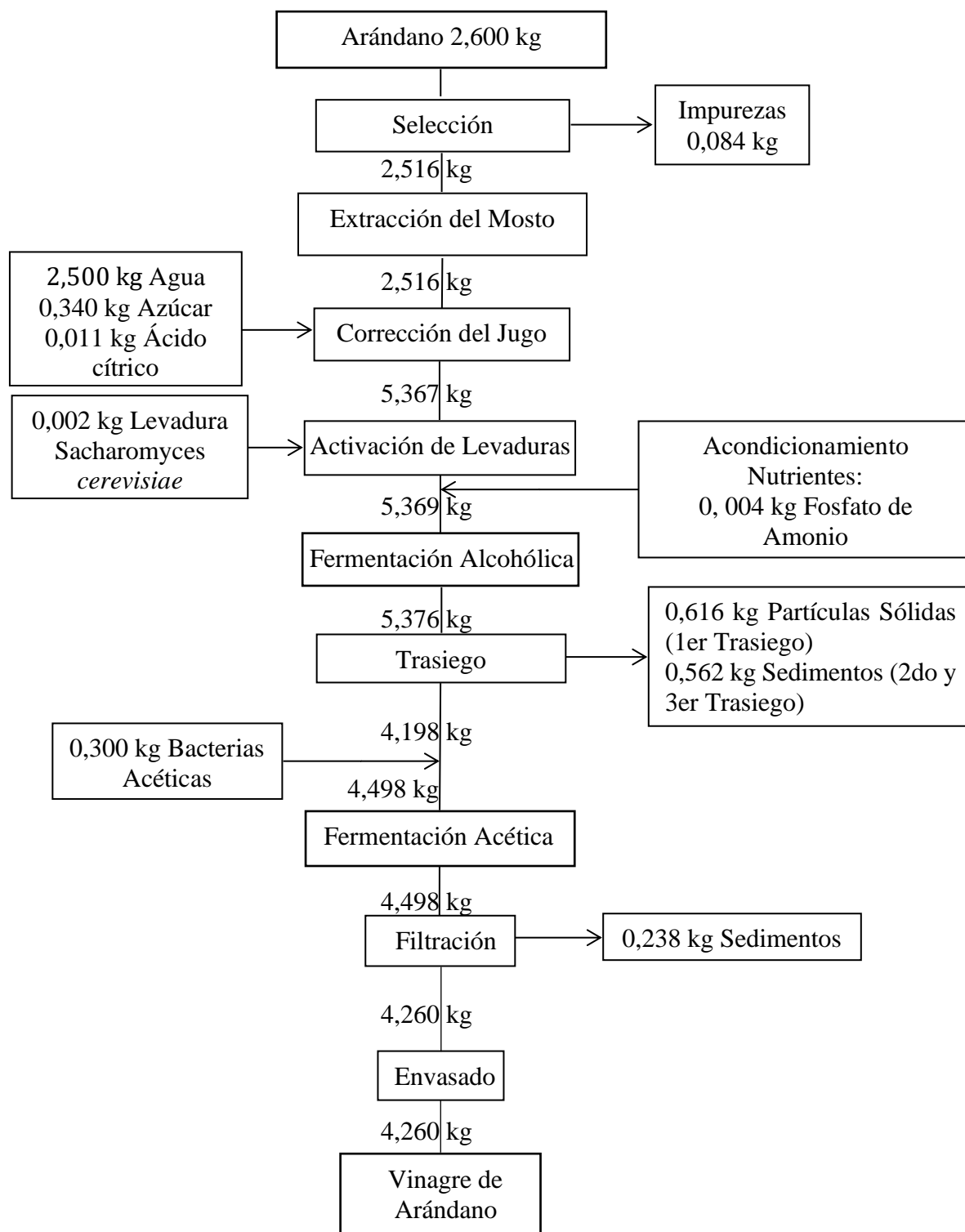
$$S = T + U$$

$$4,498 \text{ kg} = 0,238 \text{ kg} + U$$

$$U = 4,498 \text{ kg} - 0,238 \text{ kg}$$

$$U = 4,260 \text{ kg de Vinagre de Arándano}$$

Diagrama III-3. Diagrama de flujo del balance del proceso de elaboración de vinagre de arándano.



Fuente: Elaboración Propia.

3.9. Rendimiento del proceso de elaboración de vinagre de arándano

Tomando en cuenta que se inició el proceso de elaboración de vinagre de arándano con 5,016 kg de mosto y se obtuvo 4,260 kg de vinagre de arándano final para el tratamiento M1.

$$\text{Rendimiento másico del producto } (\eta) = \frac{\text{masa de vinagre (VE)}}{\text{masa de mosto inicial (MD)}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\text{VE}}{\text{MD}} \times 100\% = \frac{4,260 \text{ kg}}{5,016 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$\eta = 84,93 \%$$

El rendimiento obtenido es de **84,93 %** en el proceso de obtención de vinagre de arándano para el tratamiento M1 que se toma como referencia.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la materia prima: Arándano

En el proceso de elaboración de vinagre de arándano se comenzó caracterizando la materia prima para los tratamientos de este proyecto, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla IV-1: Análisis fisicoquímicos de la materia prima: Arándano

Parámetro	Resultado
Brix	11,0
pH	3,7
Acidez total (g/l Ac. cítrico)	0,79
Temperatura (°C)	20

Fuente: Elaboración Propia (LOU).

Tabla IV-2: Resultados de análisis fisicoquímicos de la materia prima

Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L)			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Ceniza	NB 39034:10	%	0,36
Fibra	Gravimétrico: Digestión Ácida	%	0,36
Grasa	NB 313019:06	%	0,10
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	13,10
Humedad	NB 313010:05	%	86,05
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	0,75
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	56,30

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.

NB: Norma Boliviana

ISO: Organización Internacional de Normalización

4.2. Características y resultados de la fermentación alcohólica

Durante la fermentación alcohólica se procedió a determinar las características fisicoquímicas del mosto, empleando un refractómetro digital para la determinación de los grados Brix, termómetro de mercurio para medir la temperatura y pH-metro digital para la determinación del pH, realizando mediciones diarias.

4.2.1. Medición de los grados Brix en la fermentación alcohólica

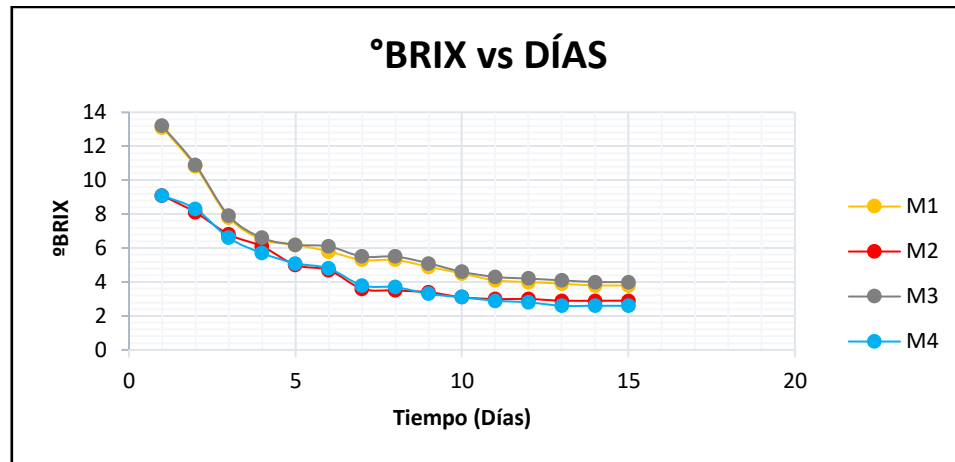
El azúcar durante periodo de la fermentación alcohólica es muy importante ya que determina el tiempo de fermentación.

Tabla IV-3. Consumo de sustrato durante la fermentación alcohólica

Tiempo (Días)	° Brix							
	Tratamientos				Réplicas			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	13,1	9,1	13,2	9,1	13,4	9,1	13,1	9,0
2	10,8	8,1	10,9	8,3	11,1	8,9	11,8	8,8
3	7,8	6,8	7,9	6,6	10,3	7,2	10,7	7,2
4	6,5	6,1	6,6	5,7	9,8	6,7	10,1	6,5
5	6,2	5,0	6,2	5,1	7,5	5,9	8,3	6,1
6	5,8	4,7	6,1	4,8	6,4	5,2	6,9	5,0
7	5,3	3,6	5,5	3,8	5,9	4,5	5,8	4,5
8	5,3	3,5	5,5	3,7	5,5	4,1	5,3	4,2
9	4,9	3,4	5,1	3,3	4,8	3,7	4,9	4,0
10	4,5	3,1	4,6	3,1	4,6	3,3	4,5	3,3
11	4,1	3,0	4,3	2,9	4,2	3,2	4,2	3,0
12	4,0	3,0	4,2	2,8	4,0	3,2	4,0	2,8
13	3,9	2,9	4,1	2,6	3,9	3,0	4,1	2,6
14	3,8	2,9	4,0	2,6	3,8	3,0	3,9	2,6
15	3,8	2,9	4,0	2,6	3,8	3,0	3,9	2,6

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico IV-1. Consumo de los grados °Brix con relación al tiempo



Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica 4-1 se observa que durante el periodo de la fermentación la disminución del contenido de azúcar representado por una concentración inicial de 9 y 13 Brix. A partir del día 14 la concentración en grados Brix se mantuvo constante en dos etapas consecutivas de la toma de datos para las muestras M1 y M3 y en el día 13 para las muestras M2 y M4, lo que indica que la conversión del azúcar en alcohol llega a su punto de equilibrio, lo que permite concluir la etapa de fermentación alcohólica.

Figura IV-1. Medición de los grados Brix



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Medición del pH en la fermentación alcohólica

Se controló el pH durante el proceso fermentativo ya que la actividad de las levaduras disminuye cuando se encuentra a niveles de pH bajos. Por lo que un pH óptimo es donde el metabolismo de las levaduras es satisfactorio para promover un buen consumo del sustrato. Según varias investigaciones el pH óptimo para el crecimiento de las levaduras en la fermentación alcohólica oscila entre el rango de 3 y 5.

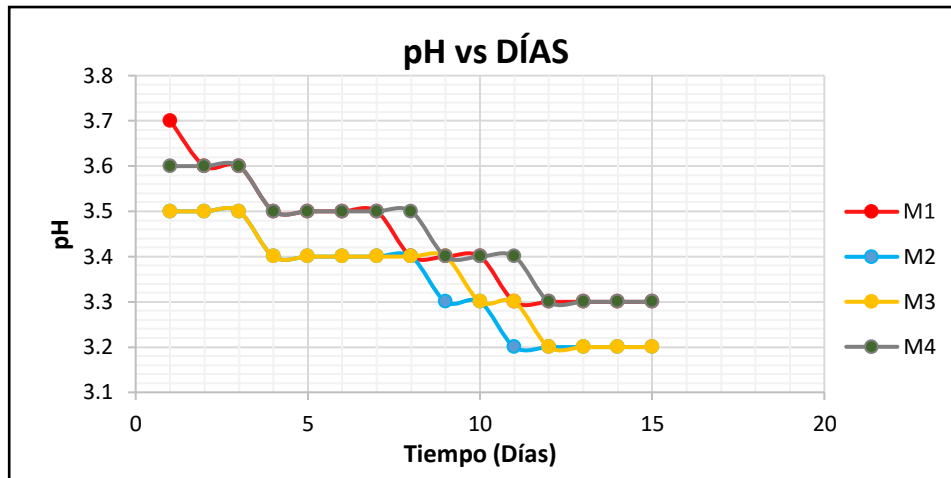
Tabla IV-4. Medición del pH durante la fermentación alcohólica

Tiempo (Días)	pH							
	Tratamientos				Réplicas			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	3,7	3,5	3,5	3,6	3,7	3,5	3,5	3,6
2	3,7	3,5	3,5	3,6	3,7	3,5	3,5	3,6
3	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,5	3,5	3,6
4	3,6	3,5	3,4	3,5	3,6	3,4	3,5	3,6
5	3,5	3,4	3,4	3,5	3,5	3,4	3,5	3,5
6	3,5	3,4	3,4	3,5	3,5	3,4	3,4	3,5
7	3,5	3,4	3,4	3,5	3,5	3,4	3,4	3,5
8	3,5	3,4	3,4	3,4	3,5	3,4	3,4	3,5
9	3,5	3,4	3,4	3,4	3,5	3,3	3,4	3,5
10	3,5	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,4
11	3,4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,4
12	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
13	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
14	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
15	3,4	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,4

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la tabla anterior los pH iniciales están dentro de los rangos establecidos, y se observa hay una disminución del pH con el paso de los días debido al mismo metabolismo microbiano en donde el azúcar se convierte en alcohol, además de la producción de ácidos orgánicos.

Gráfico IV-2. pH con relación al tiempo



Fuente: Elaboración Propia.

Figura IV-2. Medición del pH en el mosto



Fuente: Elaboración Propia.

Se midió el pH como se muestra en la figura IV-2, el procedimiento de medición consistió en limpiar con agua destilada el pH-metro antes y después de hacer cada

lectura y se lo introdujo dentro de las muestras esperando a que la lectura se estabilice para tomar el dato del pH indicado.

4.2.3. Medición de la temperatura en la fermentación alcohólica

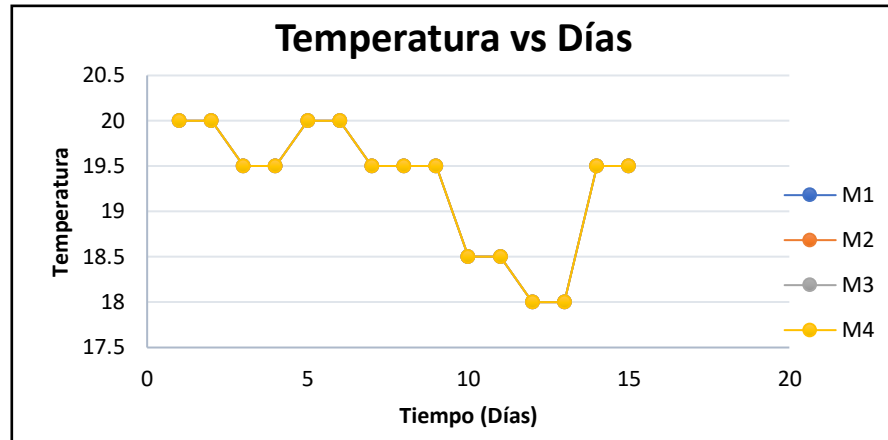
El control de la temperatura durante la fermentación es un parámetro importante para que la actividad de los microorganismos no se vea afectada, la actividad fermentativa de la levadura *Saccharomyces Cerevisiae* está influenciada por la temperatura del mosto.

Tabla IV-5. Medición de la temperatura durante la fermentación alcohólica

Tiempo (Días)	Temperatura (°C)							
	Tratamientos				Réplicas			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
2	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
3	19,5	19,5	19,5	19,5	17,5	17,5	17,5	17,5
4	19,5	19,5	19,5	19,5	17,5	17,5	17,5	17,5
5	20,0	20,0	20,0	20,0	17,5	17,5	17,5	17,5
6	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
7	19,5	19,5	19,5	19,5	18,0	18,0	18,0	18,0
8	19,5	19,5	19,5	19,5	17,5	17,5	17,5	17,5
9	19,5	19,5	19,5	19,5	17,5	17,5	17,5	17,5
10	18,5	18,5	18,5	18,5	17,0	17,0	17,0	17,0
11	18,5	18,5	18,5	18,5	17,0	17,0	17,0	17,0
12	18,0	18,0	18,0	18,0	17,0	17,0	17,0	17,0
13	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
14	19,5	19,5	19,5	19,5	18,0	18,0	18,0	18,0
15	19,5	19,5	19,5	19,5	17,5	17,5	17,5	17,5

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico IV-3. Temperatura con relación al tiempo



Fuente: Elaboración Propia.

El intervalo de temperatura de 20-25 °C es muy favorable para el buen desarrollo de la fermentación alcohólica. Sin embargo, a esta temperatura se puede correr el riesgo de que la fermentación se lleve a cabo demasiado rápido y como consecuencia se podría reducir la presencia de algunos compuestos aromáticos. Así pues, en general la fermentación alcohólica se realizó dentro de un intervalo de temperatura de 16-20 °C, con el fin de completar la fermentación sin problemas. Se realizó la medición de temperatura con un termómetro de mercurio como se muestra en la siguiente figura:

Figura IV-3. Medición de la temperatura del mosto



Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Resultados de la fermentación alcohólica

Los resultados obtenidos de las mediciones de mosto al inicio y final de la etapa de la fermentación alcohólica, se muestran en las siguientes tablas.

Tabla IV-6 Resultados del mosto corregido para de la fermentación alcohólica

Tratamiento	°Brix inicial del mosto	pH inicial del mosto	Acidez total inicial del mosto
M1	13	3,7	4
M2	9	3,5	5
M3	13	3,5	5
M4	9	3,6	4
M5	13	3,7	4
M6	9	3,5	5
M7	13	3,5	5
M8	9	3,6	4

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV-7. Resultados del mosto alcohólico de la fermentación alcohólica

Tratamiento	°Brix final del mosto alcohólico	pH final del mosto alcohólico	Acidez total final del mosto alcohólico % ac. acético	°GL del mosto alcohólico
M1	3,8	3,4	0,55	7
M2	2,9	3,3	0,52	6
M3	4,0	3,3	0,56	7
M4	2,6	3,3	0,44	6
M5	3,8	3,4	0,55	7
M6	3,0	3,3	0,52	6
M7	3,9	3,3	0,52	7
M8	2,6	3,4	0,46	6

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV-8: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto obtenido en la fermentación alcohólica: Vino de arándano

Tratamiento: M 1			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez Volátil (como ácido acético)	NB 322005:04	g/l	0,05
Azúcares reductores	Volumetría	g/l	1,08
Grado alcohólico	NB 322003:04	°GL	7,00
Tratamiento: M 2			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez Volátil (como ácido acético)	NB 322005:04	g/l	0,06
Azúcares reductores	Volumetría	g/l	1,70
Grado alcohólico	NB 322003:04	°GL	6,00
Tratamiento: M 3			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez Volátil (como ácido acético)	NB 322005:04	g/l	0,08
Azúcares reductores	Volumetría	g/l	1,38
Grado alcohólico	NB 322003:04	°GL	7,00
Tratamiento: M 4			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez Volátil (como ácido acético)	NB 322005:04	g/l	0,06
Azúcares reductores	Volumetría	g/l	1,0
Grado alcohólico	NB 322003:04	°GL	6,00

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.

NB: Norma Boliviana.

4.4. Características y resultados de la fermentación acética

Durante esta etapa también se realizó el control diario de pH y temperatura hasta concluir la fermentación.

4.4.1. Medición del pH en la fermentación acética

El control del pH es un parámetro importante que permite un monitoreo adecuado del proceso, ya que una variación en los valores de pH se asocia a cambios metabólicos funcionales de los microorganismos que participan en la fermentación.

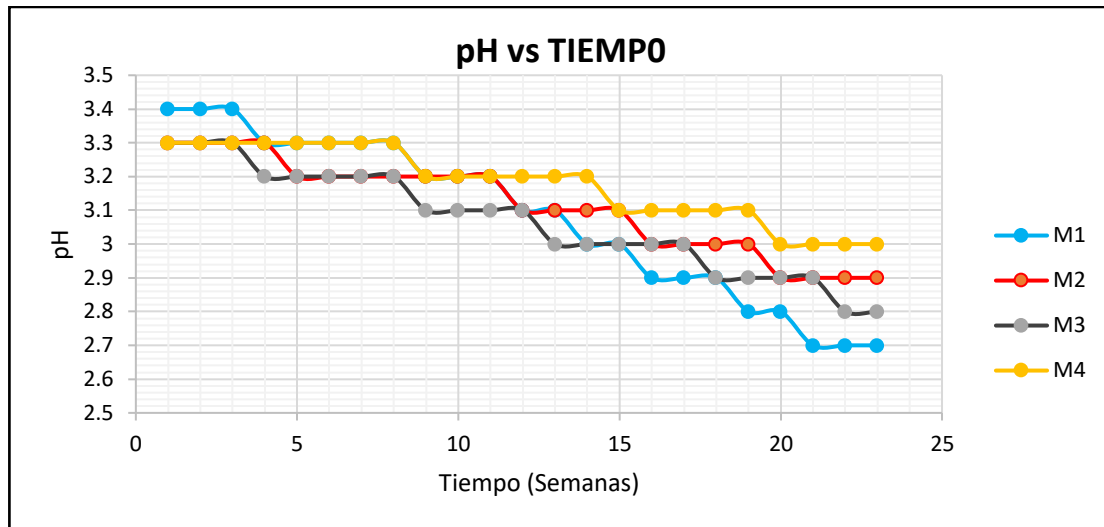
Los resultados de pH que se presentan en la tabla muestran la tendencia de los microorganismos por aumentar la acidez del medio de fermentación. La determinación de pH se realizó para todos los tratamientos ya que es importante para el monitoreo y determinación del punto final de la acetificación al alcanzar los niveles de pH requeridos por norma NB /NA 100:2021.

Tabla IV-9 Medición del pH durante la fermentación acética

Tiempo (Semanas)	pH							
	Tratamientos				Réplicas			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	3,4	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,4
2	3,4	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,4
3	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
4	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2	3,3
5	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,2	3,2	3,3
6	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3	3,2	3,2	3,3
7	3,3	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2	3,2	3,3
8	3,3	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2	3,2	3,3
9	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
10	3,2	3,2	3,1	3,2	3,1	3,2	3,2	3,3
11	3,2	3,2	3,1	3,2	3,1	3,2	3,2	3,3
12	3,1	3,1	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	3,2
13	3,1	3,1	3,0	3,2	3,0	3,1	3,1	3,2
14	3,0	3,1	3,0	3,2	3,0	3,1	3,1	3,2
15	3,0	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	2,9	3,2
16	2,9	3,0	3,0	3,1	2,9	3,1	2,9	3,1
17	2,9	3,0	3,0	3,1	2,9	3,0	2,9	3,1
18	2,9	3,0	2,9	3,1	2,9	3,0	2,9	3,1
19	2,8	3,0	2,9	3,1	2,8	3,0	2,8	3,1
20	2,8	2,9	2,9	3,0	2,8	3,0	2,8	3,1
21	2,7	2,9	2,9	3,0	2,8	2,9	2,8	3,0
22	2,7	2,9	2,8	3,0	2,7	2,9	2,7	3,0
23	2,7	2,9	2,8	3,0	2,7	2,9	2,7	3,0

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica IV-4. Comportamiento del pH durante la fermentación acética



Fuente: Elaboración Propia.

En el gráfico IV-4 se ve como el pH va disminuyendo mediante transcurren los días hasta mantenerse constante y transformarse completamente en ácido acético.

Las mediciones se realizaron con un pH-metro digital como se muestra en la figura 4.

Figura IV-4. Medición del pH



Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2. Medición de la temperatura en la fermentación acética

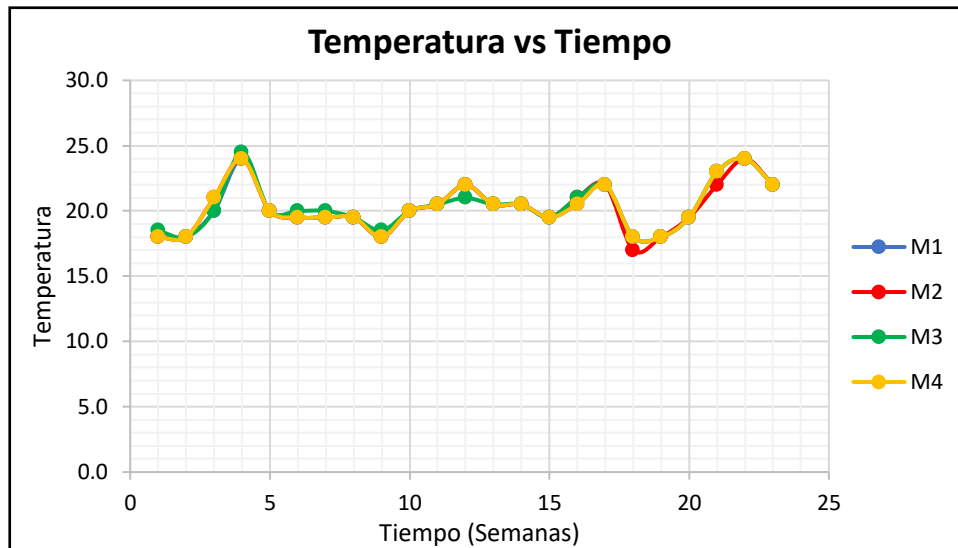
La temperatura de la acetificación influye en el tiempo de fermentación acética. Los resultados de las mediciones de temperatura que se presentan en la tabla muestran que a temperaturas por debajo de los 18 °C la fermentación acética es más lenta y por encima de los 18 °C aumenta la reproducción de bacterias acéticas.

Tabla IV-10. Medición de la temperatura durante la fermentación acética

Tiempo (semanas)	Temperatura							
	Tratamientos				Réplicas			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	18,0	18,0	18,5	18,0	19,0	19,0	18,0	19,0
2	18,0	18,0	18,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0
3	20,0	21,0	20,0	21,0	20,0	21,0	20,0	20,0
4	24,0	24,0	24,5	24,0	20,0	20,0	20,0	20,0
5	20,0	20,0	20,0	20,0	19,0	19,0	18,0	18,0
6	19,5	19,5	20,0	19,5	18,0	18,0	18,0	18,0
7	19,5	19,5	20,0	19,5	20,5	20,5	20,5	20,5
8	19,5	19,5	19,5	19,5	20,5	20,5	20,5	20,5
9	18,0	18,0	18,5	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0
10	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,0	19,0	18,0
11	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
12	22,0	22,0	21,0	22,0	24,0	24,0	24,0	24,0
13	20,5	20,5	20,5	20,5	22,0	22,0	22,0	22,0
14	20,5	20,5	20,5	20,5	19,5	19,5	19,5	19,5
15	19,5	19,5	19,5	19,5	18,0	18,0	18,0	18,0
16	20,5	21,0	21,0	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
17	22,0	22,0	22,0	22,0	19,5	19,5	19,5	19,5
18	18,0	17,0	18,0	18,0	20,5	20,5	20,5	20,5
19	18,0	18,0	18,0	18,0	22,0	22,5	22,0	22,0
20	19,5	19,5	19,5	19,5	22,0	22,0	22,0	22,0
21	23,0	22,0	23,0	23,0	20,5	20,5	20,5	20,5
22	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	18,0	18,0	18,0
23	22,0	22,0	22,0	22,0	20,5	20,5	20,5	20,5

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico IV-5. Temperatura en función del tiempo



Fuente: Elaboración Propia.

Las mediciones de temperatura se realizaron con termómetro de mercurio como se ve en la siguiente figura.

Figura IV-5. Medición de la temperatura



Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Resultados de la fermentación acética

Los resultados al inicio y final de la etapa de la fermentación acética, se muestran en las siguientes tablas.

Tabla IV-11. Resultados al inicio de la fermentación acética

Tratamiento	°Brix inicial	pH inicial	Acidez total inicial (% ac. acético)	°GL inicial
M1	3,8	3,4	0,55	7
M2	2,9	3,3	0,52	6
M3	4,0	3,3	0,56	7
M4	2,6	3,3	0,44	6
M5	3,8	3,4	0,55	7
M6	3,0	3,3	0,52	6
M7	3,9	3,3	0,52	7
M8	2,6	3,4	0,46	6

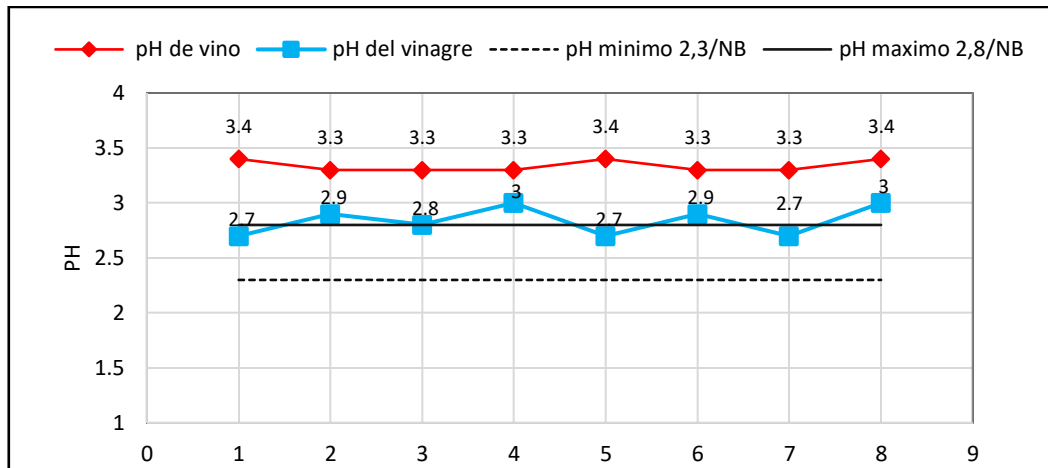
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla IV-12. Resultados obtenidos de la fermentación acética

Tratamiento	°Brix final	pH final	Acidez total final % de ac. acético	°GL final
M1	3,5	2,7	6,08	0,9
M2	2,8	2,9	5,74	0,8
M3	3,4	2,8	6,09	1,2
M4	2,2	3,0	5,81	1,0
M5	3,8	2,7	5,97	1,0
M6	2,7	2,9	5,62	0,9
M7	3,5	2,7	5,98	1,1
M8	2,3	3,0	5,74	0,9

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico IV-6. Diferencia de pH del vino y pH en vinagre

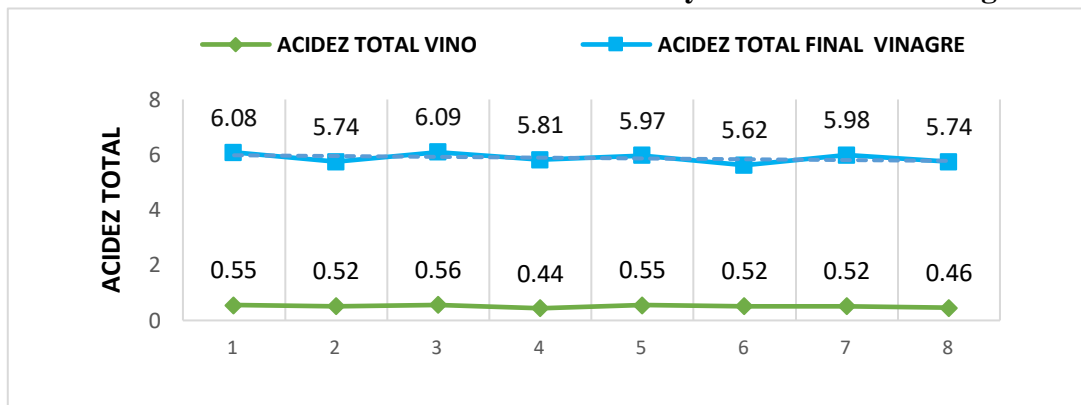


Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica IV-96 se muestra la comparación del cambio del pH en las diferentes etapas de elaboración del vinagre en todos los tratamientos. Se observa la disminución del pH, debido a que mayor producción de ácido acético, el pH disminuye.

En esta investigación, los tratamientos que cumplieron con el parámetro de pH establecido en la norma NB/NA 100, fueron: M1, M3, M5 y M7.

Gráfico IV-7. Diferencia acidez total en vino y acidez total del vinagre



Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica IV-7, se muestra la comparación de la acidez total como ácido acético en los vinos y vinagres arándano obtenidos. El aumento en la acidez total, indicativo del incremento en la producción de ácido acético. Los tratamientos cumplieron con el parámetro de acidez de 4 a 6 establecido en la norma NB/NA 100.

Tabla IV-13: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto final

Tratamiento: M 1			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez fija (como ac. acético)	NB 322004:03	g/100ml	0,15
Acidez total (como ac. acético)	NB 229:98	g/100ml	6,08
Acidez Volátil (como ac. acético)	NB 322005:04	g/100ml	5,93
pH (20°C)	SM 4500-H-B		2,70
Tratamiento: M 2			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez fija (como ac. acético)	NB 322004:03	g/100ml	0,06
Acidez total (como ac. acético)	NB 229:98	g/100ml	5,74
Acidez Volátil (como ac. acético)	NB 322005:04	g/100ml	5,68
pH (20°C)	SM 4500-H-B		2,93
Tratamiento: M 3			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez fija (como ac. acético)	NB 322004:03	g/100ml	0,18
Acidez total (como ac. acético)	NB 229:98	g/100ml	6,09
Acidez Volátil (como ac. acético)	NB 322005:04	g/100ml	5,91
pH (20°C)	SM 4500-H-B		2,75
Tratamiento: M 4			
Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Acidez fija (como ac. acético)	NB 322004:03	g/100ml	0,04
Acidez total (como ac. acético)	NB 229:98	g/100ml	5,81
Acidez Volátil (como ac. acético)	NB 322005:04	g/100ml	5,77
pH (20°C)	SM 4500-H-B		2,96

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, 2021.NB.

Tabla IV-14: Resultados de análisis fisicoquímicos del producto final

MUESTRA	Grado alcohólico NB 322003:2003 °GL (a 20 °C)
1	0,9
2	0,8
3	1,2
4	1,0

Fuente: Centro Vitivinícola Tarija CEVITA.

4.6. Análisis de las pruebas organolépticas

En la evaluación del vinagre de arándano se describe el grado de aceptabilidad del producto obtenido mediante una evaluación olfativa, visual, gustativa y de calidad global, las cuales fueron calificadas mediante un panel de jueces de diferentes edades.

4.6.1. Comparación de medias para el parámetro color

En la siguiente tabla IV-15 se detalla los valores obtenidos en la evaluación sensorial del atributo color en el vinagre de arándano.

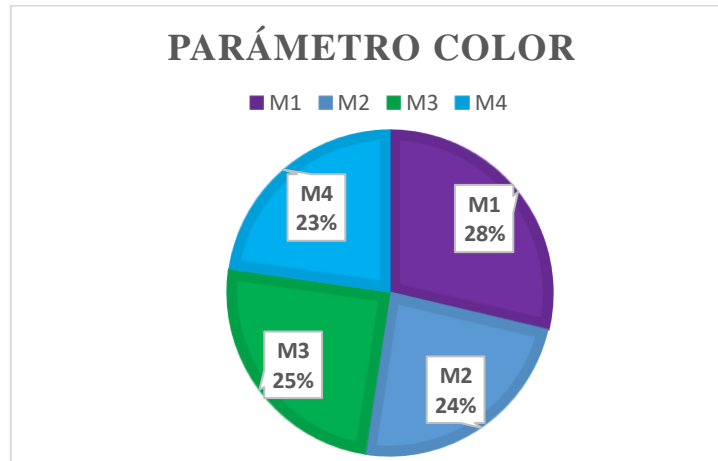
Tabla IV-15. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Color

JUECES	TRATAMIENTOS			
	M1	M2	M3	M4
1	9	7	8	6
2	7	6	8	7
3	8	9	6	7
4	7	6	4	4
5	9	8	6	6
6	8	9	7	7
7	9	8	8	9
8	8	2	9	6
9	9	7	8	7
10	8	6	7	6
PROMEDIO	8,2	6,8	7,1	6,5

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que el tratamiento M1 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M2, M3 y M4, por lo que se concluye que el atributo de color del tratamiento M1 tiene mayor aceptación por los jueces.

Gráfico IV-8. Promedio del parámetro color



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis ANOVA de las medias del parámetro color para todos los tratamientos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV-16. Pruebas de efectos inter-sujetos:

Variable dependiente: COLOR						
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Valor crítico F
Tratamientos	16,500	3	5,500	3,160	,041	2,960
Error	47,000	27	1,741			
Total, corregido	93,100	39				
a. R al cuadrado = ,495 (R al cuadrado ajustada = ,271)						

Fuente: SPSS 19.0

El nivel de significancia es 0,041, valor menor a la significación del 5%, lo que quiere decir que existen diferencias significativas en el parámetro de color en los tratamientos. R al cuadrado = 0,495 indica que el modelo explica el 49,5% de la variabilidad de los datos.

4.6.1.2. Comparaciones múltiples

Tabla IV-17. Comparaciones múltiples: Tratamientos

Variable dependiente: COLOR							
	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	1,00	2,00	1,4000	,59004	,107	-,2147	3,0147
		3,00	1,1000	,59004	,267	-,5147	2,7147
		4,00	1,7000	,59004	,036	,0853	3,3147
	2,00	1,00	-1,4000	,59004	,107	-3,0147	,2147
		3,00	-,3000	,59004	,956	-1,9147	1,3147
		4,00	,3000	,59004	,956	-1,3147	1,9147
	3,00	1,00	-1,1000	,59004	,267	-2,7147	,5147
		2,00	,3000	,59004	,956	-1,3147	1,9147
		4,00	,6000	,59004	,741	-1,0147	2,2147
	4,00	1,00	-1,7000	,59004	,036	-3,3147	-,0853
		2,00	-,3000	,59004	,956	-1,9147	1,3147
		3,00	-,6000	,59004	,741	-2,2147	1,0147
DMS	1,00	2,00	1,4000	,59004	,025	,1893	2,6107
		3,00	1,1000	,59004	,073	-,1107	2,3107
		4,00	1,7000	,59004	,008	,4893	2,9107
	2,00	1,00	-1,4000	,59004	,025	-2,6107	-,1893
		3,00	-,3000	,59004	,615	-1,5107	,9107
		4,00	,3000	,59004	,615	-,9107	1,5107
	3,00	1,00	-1,1000	,59004	,073	-2,3107	,1107
		2,00	,3000	,59004	,615	-,9107	1,5107
		4,00	,6000	,59004	,318	-,6107	1,8107
4,00	1,00	-1,7000	,59004	,008	-2,9107	-,4893	
	2,00	-,3000	,59004	,615	-1,5107	,9107	
	3,00	-,6000	,59004	,318	-1,8107	,6107	
El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,741.							

Fuente: SPSS 19.0

La tabla IV-17 muestra un resumen de las pruebas de comparaciones de medias de cada tratamiento con los restantes y los intervalos de confianza simultáneos construidos por los métodos Tukey y DMS.

Comparando ambos métodos, se observa que hay diferencia significativa en el tratamiento M1 con el M4 el cuales de 0,036 para el método Tukey y 0,008 para el método DMS.

Por otra parte, para poder detectar los grupos con comportamiento homogéneos se realiza la prueba de homogeneidad de subconjuntos mediante los métodos Tukey y Duncan.

Tabla IV-18. Subconjuntos homogéneos

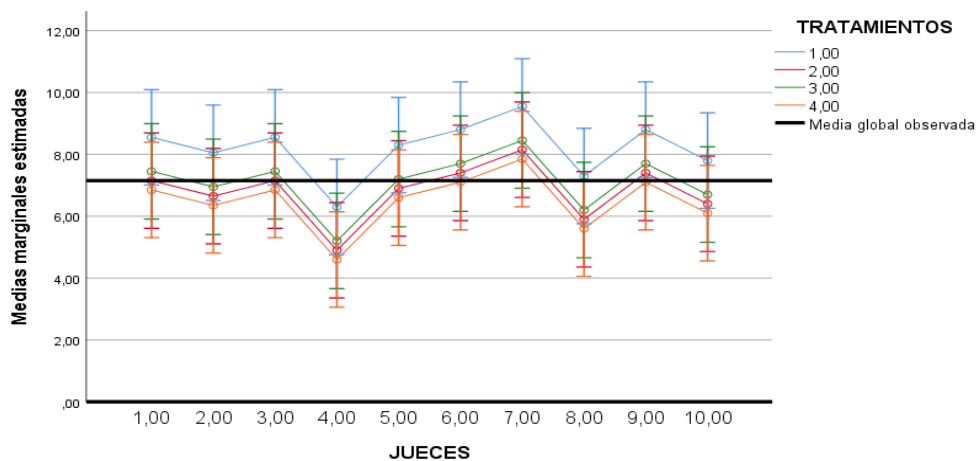
COLOR				
	TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey^{a,b}	4,00	10	6,5000	
	2,00	10	6,8000	6,8000
	3,00	10	7,1000	7,1000
	1,00	10		8,2000
	Sig.		,741	,107
Duncan^{a,b}	4,00	10	6,5000	
	2,00	10	6,8000	
	3,00	10	7,1000	7,1000
	1,00	10		8,2000
	Sig.		,346	,073

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000. b. Alfa = 0,05.

Fuente: SPSS 19.0

Los subconjuntos homogéneos 1 y 2 por ambos métodos no tiene diferencias significativas del parámetro color en los tratamientos. También se puede observar que la media del parámetro color es mayor para el tratamiento M1 (8,2) y menor para el tratamiento M4 (6,5), es decir que la M1 tiene mayor aceptabilidad.

Gráfico IV-9. Medias marginales estimadas del color



Fuente: SPSS 19.0

4.6.2. Comparación de medias para el parámetro olor

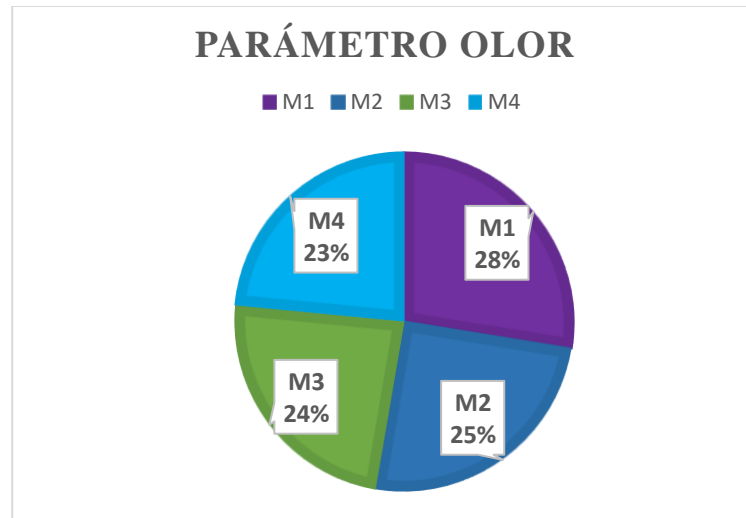
Tabla IV-19. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Olor

JUECES	TRATAMIENTOS			
	M1	M2	M3	M4
1	8	9	7	7
2	7	7	8	9
3	9	7	5	6
4	6	6	5	5
5	8	8	7	7
6	9	9	8	8
7	8	8	8	7
8	7	5	8	6
9	8	7	7	7
10	9	8	7	7
PROMEDIO	7,6	7,4	7	6,9

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el tratamiento M1 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M2, M3 y M4, por lo que se concluye que el parámetro olor tiene mayor aceptación por los jueces.

Gráfico IV-10. Promedio del parámetro olor



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis ANOVA de las medias del parámetro olor para todos los tratamientos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV-20. Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: OLOR						
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Valor crítico F
Tratamientos	8,900	3	2,967	3,888	,020	2,960
Error	20,600	27	,763			
Total, corregido	57,100	39				
a. R al cuadrado = ,639 (R al cuadrado ajustada = ,479)						

Fuente: SPSS 19.0

El nivel de significancia es 0,020, valor menor a la significación del 5%, lo que quiere decir que existen diferencias significativas en el parámetro de color en los tratamientos. R al cuadrado = 0,639 indica que el modelo explica el 63,9% de la variabilidad de los datos.

4.6.2.1. Comparaciones múltiples

Tabla IV-21. Comparaciones múltiples: Tratamientos

Variable dependiente: OLOR							
	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	1,00	2,00	,7000	,39063	,299	-,3690	1,7690
		3,00	1,1000*	,39063	,042	,0310	2,1690
		4,00	1,2000*	,39063	,023	,1310	2,2690
	2,00	1,00	-,7000	,39063	,299	-1,7690	,3690
		3,00	,4000	,39063	,737	-,6690	1,4690
		4,00	,5000	,39063	,583	-,5690	1,5690
	3,00	1,00	-1,1000*	,39063	,042	-2,1690	-,0310
		2,00	-,4000	,39063	,737	-1,4690	,6690
		4,00	,1000	,39063	,994	-,9690	1,1690
	4,00	1,00	-1,2000*	,39063	,023	-2,2690	-,1310
		2,00	-,5000	,39063	,583	-1,5690	,5690
		3,00	-,1000	,39063	,994	-1,1690	,9690
DMS	1,00	2,00	,7000	,39063	,084	-,1015	1,5015
		3,00	1,1000*	,39063	,009	,2985	1,9015
		4,00	1,2000*	,39063	,005	,3985	2,0015
	2,00	1,00	-,7000	,39063	,084	-1,5015	,1015
		3,00	,4000	,39063	,315	-,4015	1,2015
		4,00	,5000	,39063	,211	-,3015	1,3015
	3,00	1,00	-1,1000*	,39063	,009	-1,9015	-,2985
		2,00	-,4000	,39063	,315	-1,2015	,4015
		4,00	,1000	,39063	,800	-,7015	,9015
	4,00	1,00	-1,2000*	,39063	,005	-2,0015	-,3985
		2,00	-,5000	,39063	,211	-1,3015	,3015
		3,00	-,1000	,39063	,800	-,9015	,7015

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,763.

Fuente: SPSS 19.0

La tabla IV-21 muestra los intervalos de confianza simultáneos construidos por los métodos Tukey y DMS. Comparando ambos métodos, se observa que hay diferencia significativa en el tratamiento M1 con el M3 de 0,042 y M1 con el M4 de 0,023 para el método Tukey. Para el método DMS hay diferencia significativa de igual manera el tratamiento M1 con el M3 de 0,009 y M1 con el M4 con significancia de 0,005.

Para detectar los grupos con comportamiento homogéneos se realiza la prueba de homogeneidad de subconjuntos por el método Tukey y Duncan.

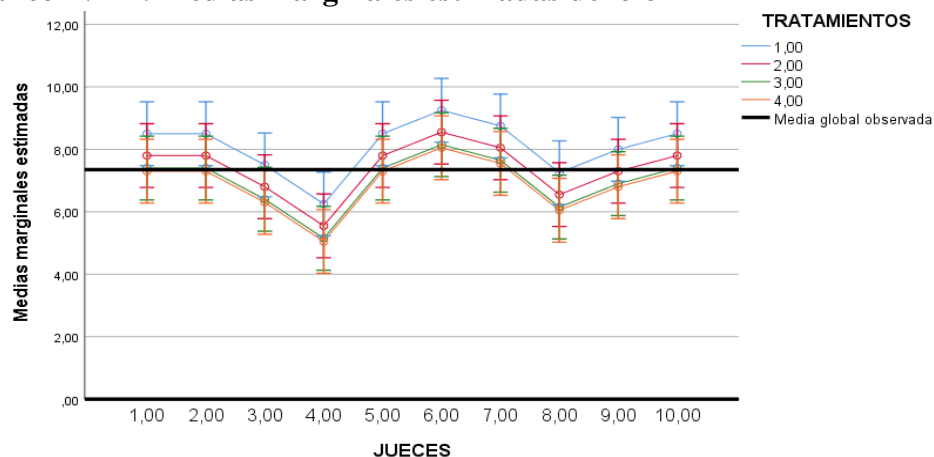
Tabla IV-22. Subconjuntos homogéneos

OLOR				
	TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey^{a,b}	4,00	10	6,9000	
	3,00	10	7,0000	
	2,00	10	7,4000	7,4000
	1,00	10		8,1000
	Sig.		,583	,299
Duncan^{a,b}	4,00	10	6,9000	
	3,00	10	7,0000	
	2,00	10	7,4000	7,4000
	1,00	10		8,1000
	Sig.		,237	,084
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000. b. Alfa = 0,05.				

Fuente: SPSS 19.0

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Donde los subconjuntos 1 y 2 por ambos métodos no tienen diferencias significativas del parámetro olor en los tratamientos. También se puede observar que la media del parámetro olor es mayor para el tratamiento M1 (8,1) y menor para el tratamiento M4 (6,9), es decir que la M1 tiene mayor aceptabilidad.

Gráfico IV-11. Medias marginales estimadas del olor



Fuente: SPSS 19.0

4.6.3. Comparación de medias para el parámetro sabor

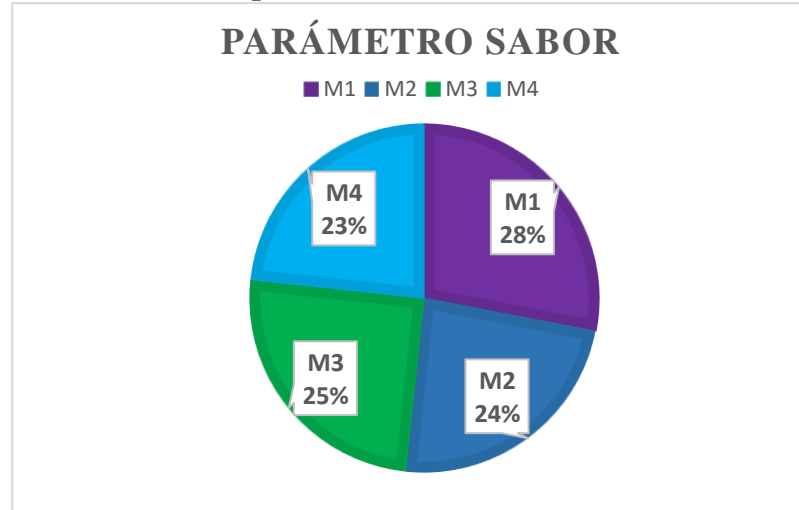
Tabla IV-23. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Sabor

JUECES	TRATAMIENTOS			
	M1	M2	M3	M4
1	8	7	7	6
2	9	7	6	8
3	8	6	8	7
4	7	8	8	6
5	8	7	7	7
6	9	9	8	8
7	9	8	8	6
8	8	5	8	6
9	8	6	7	8
10	9	7	7	7
PROMEDIO	8,3	7	7,4	6,9

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla IV-3 se puede observar que el tratamiento M1 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M2, M3 y M4, por lo que se concluye que el atributo de sabor del tratamiento M1 tiene mayor aceptación por los jueces.

Gráfico IV-12. Promedio del parámetro sabor



Fuente: Elaboración Propia.

El análisis ANOVA de las medias del parámetro sabor para todos los tratamientos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV-24. Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: SABOR						
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Valor crítico F
Tratamientos	12,200	3	4,067	5,689	,004	2,960
Error	19,300	27	,715			
Total, corregido	39,600	39				
a. R al cuadrado = ,513 (R al cuadrado ajustada = ,296)						

Fuente: SPSS 19.0

El nivel de significancia es 0,004, valor menor a la significación del 5%, lo que quiere decir que existen diferencias significativas en el parámetro de color en los tratamientos. R al cuadrado = 0,513 nos indica que el modelo explica el 51,3% de la variabilidad de los datos.

4.6.3.1. Comparaciones múltiples

Tabla IV-25. Comparaciones múltiples: Tratamientos

Variable dependiente: SABOR							
	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	1,00	2,00	1,3000*	,37810	,010	,2653	2,3347
		3,00	,9000	,37810	,105	-,1347	1,9347
		4,00	1,4000*	,37810	,005	,3653	2,4347
	2,00	1,00	-1,3000*	,37810	,010	-2,3347	-,2653
		3,00	-,4000	,37810	,717	-1,4347	,6347
		4,00	,1000	,37810	,993	-,9347	1,1347
	3,00	1,00	-,9000	,37810	,105	-1,9347	,1347
		2,00	,4000	,37810	,717	-,6347	1,4347
		4,00	,5000	,37810	,557	-,5347	1,5347
	4,00	1,00	-1,4000*	,37810	,005	-2,4347	-,3653
		2,00	-,1000	,37810	,993	-1,1347	,9347
		3,00	-,5000	,37810	,557	-1,5347	,5347
DMS	1,00	2,00	1,3000*	,37810	,002	,5242	2,0758
		3,00	,9000*	,37810	,025	,1242	1,6758
		4,00	1,4000*	,37810	,001	,6242	2,1758
	2,00	1,00	-1,3000*	,37810	,002	-2,0758	-,5242
		3,00	-,4000	,37810	,299	-1,1758	,3758
		4,00	,1000	,37810	,793	-,6758	,8758
	3,00	1,00	-,9000*	,37810	,025	-1,6758	-,1242
		2,00	,4000	,37810	,299	-,3758	1,1758
		4,00	,5000	,37810	,197	-,2758	1,2758
	4,00	1,00	-1,4000*	,37810	,001	-2,1758	-,6242
		2,00	-,1000	,37810	,793	-,8758	,6758
		3,00	-,5000	,37810	,197	-1,2758	,2758
El término de error es la media cuadrática (Error) = ,715.							

Fuente: SPSS 19.0

Comparando ambos métodos, se observa que hay diferencia significativa en el

tratamiento M1 con el M2 el cuales de 0,010 para el método Tukey y 0,002 para el método DMS. En M1 con el M4 el cuales de 0,005 para el método Tukey y 0,001 para el método DMS. En M1 con el M3 el cuales de 0,025 para el método DMS y por el método Tukey no es significativo.

En la tabla IV-26 se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, por columna los subgrupos de media iguales, formados al utilizar los métodos Tukey y Duncan.

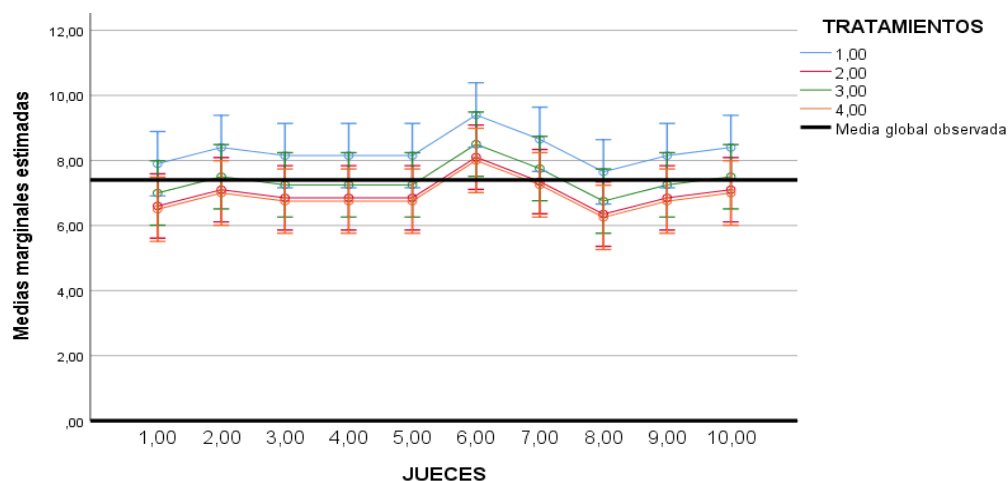
Tabla IV-26. Subconjuntos homogéneos

SABOR				
	TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey^{a,b}	4,00	10	6,9000	
	2,00	10	7,0000	
	3,00	10	7,4000	7,4000
	1,00	10		8,3000
	Sig.		,557	,105
Duncan^{a,b}	4,00	10	6,9000	
	2,00	10	7,0000	
	3,00	10	7,4000	
	1,00	10		8,3000
	Sig.		,222	1,000
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000. b. Alfa = 0,05.				

Fuente: SPSS 19.0

Los subconjuntos homogéneos 1 y 2 por ambos métodos no tiene diferencias significativas del olor en los tratamientos. También se puede observar que la media del parámetro olor es mayor para el tratamiento M1 (8,3) y menor para el tratamiento M4 (6,9), es decir que la M1 tiene mayor aceptabilidad.

Gráfico IV-13. Medias marginales estimadas del sabor



Fuente: SPSS 19.0

4.6.4. Comparación de medias para el parámetro calidad global

Tabla IV-27. Evaluación sensorial (Escala Hedónica): Calidad Global

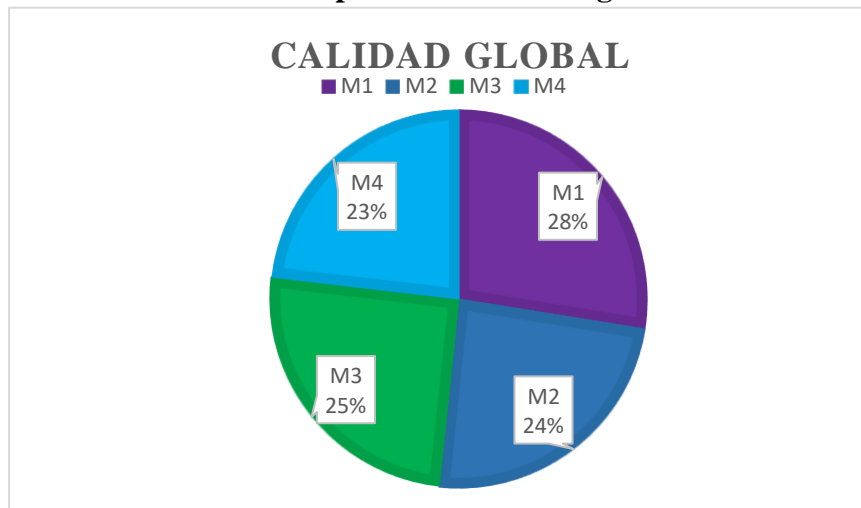
JUECES	TRATAMIENTOS			
	M1	M2	M3	M4
1	9	8	8	7
2	8	6	7	8
3	9	8	8	6
4	6	7	8	6
5	9	8	7	7
6	8	7	8	8
7	8	8	7	8
8	8	6	8	7
9	9	7	6	6
10	8	7	8	6
PROMEDIO	8,2	7,2	7,5	6,9

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla IV-27 se puede observar que el tratamiento M1 tiene mayor puntuación en comparación con los tratamientos M2, M3 y M4, por lo que se concluye que la calidad global del tratamiento M1 tiene mayor aceptación por los jueces y es el tratamiento que cumple con la normativa NB/ISO 0100 con los parámetros de vinagre con un aspecto

límpido, con un color oscuro-rojizo, tiene el olor y sabor característico al arándano.

Gráfico IV-14. Promedio del parámetro calidad global



Fuente: SPSS 19.0

El análisis ANOVA de las medias del parámetro calidad global para todos los tratamientos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV-28. Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CALIDAD GLOBAL						
Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Valor crítico F
Tratamientos	6,675	3	2,225	3,418	,031	2,940
Error	17,575	27	,651			
Total, corregido	33,975	39				
a. R al cuadrado = ,483 (R al cuadrado ajustada = ,253)						

Fuente: SPSS 19.0

El nivel de significancia es 0,031, valor menor a la significación del 5%, lo que quiere decir que existen diferencias significativas de la calidad global en los tratamientos.

R al cuadrado = 0,253 indica que el modelo explica el 25,3% de la variabilidad de los datos.

4.6.4.1. Comparaciones múltiples

Tabla IV-29. Comparaciones múltiples: Tratamientos

Variable dependiente: CALIDAD GLOBAL							
	(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	1,00	2,00	1,0000*	,36081	,046	,0126	1,9874
		3,00	,7000	,36081	,236	-,2874	1,6874
		4,00	1,0000*	,36081	,046	,0126	1,9874
	2,00	1,00	-1,0000*	,36081	,046	-1,9874	-,0126
		3,00	-,3000	,36081	,839	-1,2874	,6874
		4,00	,0000	,36081	1,000	-,9874	,9874
	3,00	1,00	-,7000	,36081	,236	-1,6874	,2874
		2,00	,3000	,36081	,839	-,6874	1,2874
		4,00	,3000	,36081	,839	-,6874	1,2874
	4,00	1,00	-1,0000*	,36081	,046	-1,9874	-,0126
		2,00	,0000	,36081	1,000	-,9874	,9874
		3,00	-,3000	,36081	,839	-1,2874	,6874
DMS	1,00	2,00	1,0000*	,36081	,010	,2597	1,7403
		3,00	,7000	,36081	,063	-,0403	1,4403
		4,00	1,0000*	,36081	,010	,2597	1,7403
	2,00	1,00	-1,0000*	,36081	,010	-1,7403	-,2597
		3,00	-,3000	,36081	,413	-1,0403	,4403
		4,00	,0000	,36081	1,000	-,7403	,7403
	3,00	1,00	-,7000	,36081	,063	-1,4403	,0403
		2,00	,3000	,36081	,413	-,4403	1,0403
		4,00	,3000	,36081	,413	-,4403	1,0403
	4,00	1,00	-1,0000*	,36081	,010	-1,7403	-,2597
		2,00	,0000	,36081	1,000	-,7403	,7403
		3,00	-,3000	,36081	,413	-1,0403	,4403

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,651.

Fuente: SPSS 19.0

Comparando ambos métodos, se observa que hay diferencia significativa en el

tratamiento M1 con el M2 el cuales de 0,046 para el método Tukey y 0,010 para el método DMS. Para M1 con el M4 el cuales de 0,046 para el método Tukey y 0,010 para el método DMS.

En la tabla IV-30 se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos, por columna los subgrupos de media iguales, formados al utilizar los métodos Tukey y Duncan.

Tabla IV-30. Subconjuntos homogéneos

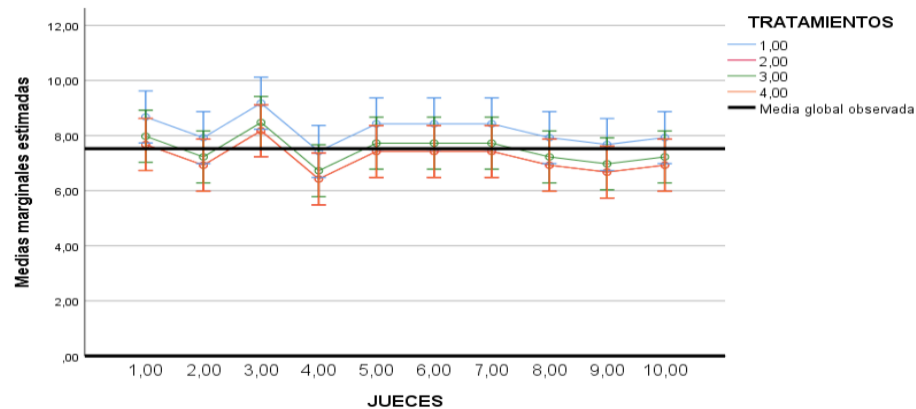
CALIDAD GLOBAL				
	TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey^{a,b}	4,00	10	7,2000	
	2,00	10	7,2000	
	3,00	10	7,5000	7,5000
	1,00	10		8,2000
	Sig.		,839	,236
Duncan^{a,b}	4,00	10	7,2000	
	2,00	10	7,2000	
	3,00	10	7,5000	7,5000
	1,00	10		8,2000
	Sig.		,441	,063

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000. b. Alfa = 0,05.

Fuente: SPSS 19.0

Los subconjuntos homogéneos 1 y 2 por ambos métodos no tienen diferencias significativas de la calidad global en los tratamientos. También se puede observar que la media del parámetro de calidad global es mayor para el tratamiento M1 (8,2) y menor para el tratamiento M4 (7,2), es decir que la M1 tiene mayor aceptabilidad.

Gráfico IV-15. Medias marginales estimadas de la calidad global



Fuente: SPSS 19.0

Según los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, se llegó a la conclusión que la prueba que obtuvo una mayor aceptación fue el tratamiento M1, ya que este se obtuvo una mayor calificación en los cuatro parámetros evaluados.

4.7. Análisis estadístico de las variables del diseño factorial para el proceso de elaboración de vinagre de arándano

El análisis de resultados se realiza utilizando el programa estadístico SPSS STATISTICS 19.0 (Statistical Package for the Social Sciences) para Windows, este programa tiene la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para los análisis.

Con el análisis de varianza ANOVA se determina la influencia de los factores Acidez y °Brix con sus respectivas interacciones sobre la variable respuesta que es la calidad global determinada a través de un análisis sensorial.

Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental se muestran en la tabla IV-31.

Tabla IV-31. Datos para el análisis de varianza (ANOVA)

Muestras	Variables		
	Acidez Total (g/l)	°Brix	Variable Respuesta Calidad Global
1	4(-1)	13(1)	8,2
2	5(1)	9(-1)	7,2
3	5(1)	13(1)	7,5
4	4(-1)	9(-1)	6,9
5	4(-1)	13(1)	7,9
6	5(1)	9(-1)	7,3
7	5(1)	13(1)	7,3
8	4(-1)	9(-1)	6,7

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la tabla cada factor posee un nivel superior (1) y un nivel inferior (-1), el mismo que se aclara en el diseño de experimentos.

4.7.1. Análisis univariado de varianza

Las tablas que se presentarán a continuación nos dan el análisis estadístico de los factores inter-sujetos que se realiza con el programa SPSS.

Tabla IV-32. Factores inter-sujetos (variable respuesta calidad global)

Factores inter-sujetos		
		N
Acidez total	-1	4
	1	4
°Brix	-1	4
	1	4

Fuente: SPSS 19.0

N.- Número total de pruebas realizadas.

A continuación, en la tabla IV-33 se muestran los resultados del análisis de varianza, aplicado a los datos experimentales del proceso de elaboración de vinagre de arándano.

Tabla IV-33. Análisis de varianza (ANOVA), pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,605 ^a	3	,535	23,778	,005
Intersección	435,125	1	435,125	19338,889	,000
Ac. Total	,020	1	,020	,889	,199
Brix	,980	1	,980	43,556	,003
Ac. Total * Brix	,605	1	,605	26,889	,007
Error	,090	4	,022		
Total	436,820	8			
Total corregido	1,695	7			

R al cuadrado = ,947 (R al cuadrado ajustada = ,907)

Fuente: SPSS 19.0

De acuerdo al Estadístico F (Fisher), las variables significativas con una confianza del 95% es decir, variables que poseen una cola de significancia menor a 5% o 0,05. A partir de este análisis se puede observar las variables de °Brix iniciales con un valor de 0,003 y la interacción Acidez total vs °Brix con un valor de 0.007, son significativos para el proceso de elaboración de vinagre de arándano.

Para la determinación de su respectivo modelo matemático se toma los valores que son significativos según el análisis realizado previamente y se los introduce al programa.

Tabla IV-34. Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	AcTotalbrix, Brix	.	Introducir
a. Todas las variables solicitadas introducidas.			

Fuente: SPSS 19.0

La tabla IV-35 muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 19.0 con el diseño experimental realizado.

Tabla IV-35. Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
1(Constante)	7,375	,052		140,636	,000
Brix	,350	,052	,760	6,674	,001
AcTotalBrix	-,275	,052	-,597	-5,244	,003

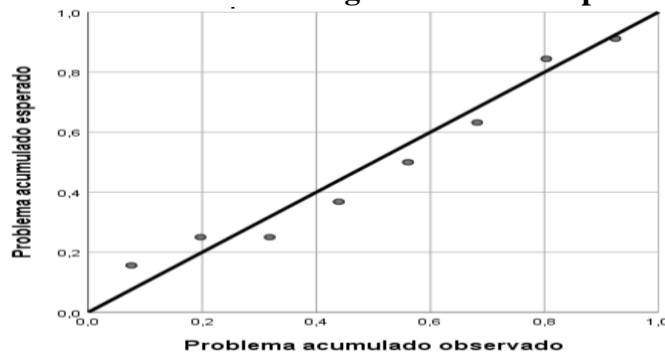
Fuente: SPSS 19.0

El modelo matemático para Calidad Global = f (variables) con un 95 % de confianza, a partir de los coeficientes obtenidos se tiene que la ecuación matemática de la regresión es:

$$\text{Calidad Global} = 7,375 + 0,35 \text{ Brix} - 0,275 \text{ AcTotal} * \text{Brix}$$

Este modelo matemático sirve para poder determinar las interacciones significativas de las variables para la obtención de vinagre de arándano. Por tanto, la calidad global está en función de la concentración de los grados brix y de la interacción de acidez total-grados brix, lo que indica que a mayor concentración de °Brix se obtiene una mejor calidad del producto.

Gráfico IV-16. Problema Normal de regresión residuo tipificado



Fuente: Elaboración propia, SPSS 19.0.

El modelo escogido expresado en la gráfica, muestra la posición de los puntos respecto al modelo, algunos puntos no se ajustan al modelo, sin embargo, según el análisis ANOVA no es muy significativo el desajuste, por lo cual el modelo escogido es correcto.

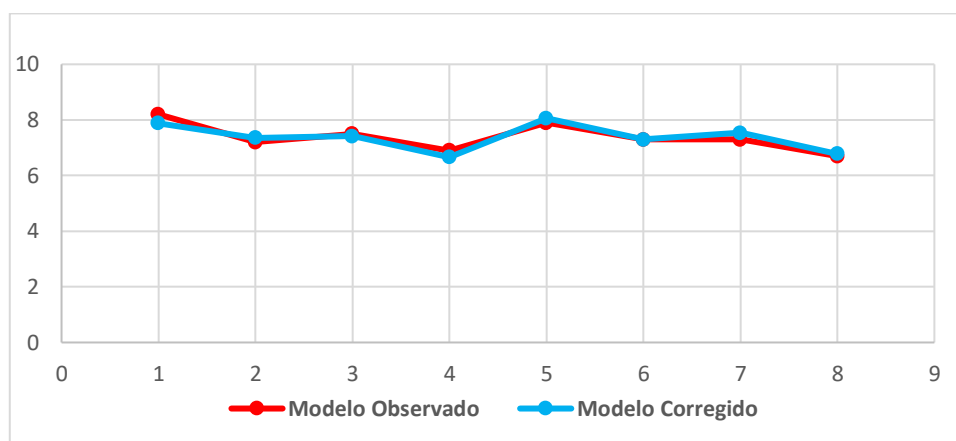
A continuación, se comparan los resultados de la calidad global del vinagre de arándano obtenido de manera experimental y el obtenido a través del modelo matemático, donde se observa que no existe una varianza mayor al 5 %.

Tabla IV-36. Diferencia del modelo observado y el modelo corregido

Tratamiento	Calidad Global Observado	Calidad Global Corregido	Error
1	8,2	7,88	0,32
2	7,2	7,36	-0,16
3	7,5	7,42	0,08
4	6,9	6,66	0,24
5	7,9	8,06	-0,16
6	7,3	7,3	0
7	7,3	7,54	-0,24
8	6,7	6,78	-0,08

Fuente: SPSS 19.0.

Gráfico IV-17. Diferencia entre modelo observado y modelo corregido



Fuente: SPSS 19.0.

En la Gráfica IV-17 se puede observar mejor la varianza entre el modelo observado y el modelo corregido, ambos siguen una ruta paralela, se puede concluir que los factores aplicados para el método dieron los resultados adecuados.

4.8. Costos de la investigación

Para determinar el presupuesto de investigación se realiza la evaluación de costos que se realizan durante la elaboración de todo el proyecto.

Tabla IV-41. Detalle de costos de materia prima, insumos y reactivos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo total (Bs)
Materia prima	Arándano	kg	20	700
Insumos	Levadura Saccharomyces Cerevisiae	g	25	20
	Ácido cítrico	g	160	6
	Fosfato de amonio	g	40	10
	Ácido ascórbico	g	25	7
	Azúcar	kg	3	12
	Agua mineral	L	20	21
	Bacterias acéticas	L	2,5	80
Reactivos	Hidróxido de Sodio	L	1	180
	Azul de bromotimol	ml	25	35
	Agua destilada	L	4	35
	Alcohol al 96%	L	2	24
Total				1130

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-42: Detalle de costos de materiales

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Papel filtro	Pliegue	5	5	25
Tachos plásticos	pza	8	14	112
Manguera	m	4	3	12
Botellas de plástico	pza	25	3,5	87,5
Etiqueta	pza	10	0,5	5
Guantes	-	6	1,5	9
Total				250,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-43: Detalle de costos de análisis

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor total (Bs)
Arándano	Ceniza	1	126
	Fibra	1	
	Grasa	1	
	Hidratos de Carbono	1	
	Humedad	1	
	Proteína total	1	
	Valor energético	1	
Vino de Arándano	Acidez volátil	4	332,50
	Azúcares reductores	4	
	Grado alcohólico	4	
Vinagre de Arándano	Acidez volátil	4	156
	Acidez total	4	
	Acidez fija	4	
	pH	4	
	Grado alcohólico	4	80
Total			694,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-44: Detalle de costos material de apoyo

Ítem	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (Bs)	Valor total (Bs)
Internet	meses	6	75	450
Impresiones	hojas	1200	0,35	420
Anillado	pza	6	5	30
Empastado	pza	4	50	200
Otros	-	-	-	200
Total				895

Fuente: Elaboración propia.

4.8.1. Costo total de investigación del proyecto

Tabla IV-45: Detalle de costos totales

Ítem	Descripción	Valor total (Bs)
1	Detalle de costos de materia prima, insumos y reactivos	1130
2	Detalle de costos de materiales.	250,5
3	Detalle de costos de análisis.	694,5
4	Detalle de costos material de apoyo	895
Total		2970

Fuente: Elaboración propia.

4.8.2. Costo del producto obtenido

El costo aproximado del producto obtenido se calculará para el ensayo que se alcanzó un mejor rendimiento M1 del 84,93% y se obtuvo un volumen de vinagre de arándano de 4,260 l, para dicho ensayo se utilizó:

Tabla IV-46. Detalle de Costos de materia prima, insumos

Materia prima	Arándano	700 Bs
Insumos	Levadura Saccharomyces Cerevisiae	20 Bs
	Ácido cítrico	6 Bs
	Fosfato de amonio	10 Bs
	Ácido ascórbico	7 Bs
	Azúcar	12 Bs
	Agua mineral	21 Bs
	Bacterias acéticas	80 Bs
Otros		100 Bs
Total		956 Bs

Fuente: Elaboración propia.

Al realizarse la sumatoria del valor total como muestra la tabla IV-46 se llega a la determinación que el costo necesario para llevar a cabo la investigación será de 956 Bs aproximadamente, para los 8 tratamientos. El valor total de vinagre obtenido de todos los tratamientos es 30,69 litros.

Se determina que de acuerdo a la inversión en este proyecto que el precio unitario por litro de vinagre de arándano será de 31,15 Bs.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se puede concluir del presente trabajo de investigación que se obtuvo un vinagre de arándano mediante el proceso de doble fermentación alcohólica y fermentación acética, utilizando como materia prima arándano variedad Highbush-Misty, a escala laboratorio, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las propiedades fisicoquímicas obtenidas del arándano; Ceniza 0,36%, Fibra 0,36%, Grasa 0,10%, Humedad 86,05%, Proteína Total 0,75%, Hidratos de Carbono 13,10% y valor energético 56,30 Kcal/100 g.

Brix: 11,0, Ph:3,7, Acidez total (g/l Ac. cítrico): 0,79 y Temperatura :20,0°C.

- Las variables para el diseño factorial del proceso de elaboración de vinagre de arándano fueron las siguientes: Acidez total (nivel inferior de 4 y nivel superior de 5), °Brix (nivel inferior de 9 y nivel superior de 13), y la variable respuesta es la Calidad Global el cual está evaluada en función a la prueba sensorial.

Al haber seguido un diseño experimental se analizaron las variables a través de un cálculo estadístico SSPS en el cual el factor °Brix tiene mayor significancia. Dando como resultado que la combinación más óptima es el tratamiento M1: Acidez total (-4) y °Brix concentración de azúcar en el mosto (+13).

- En la etapa de fermentación alcohólica que duro un tiempo de 14 días, dio como resultado para la muestra M1: Acidez volátil (como ac. acético):0,05g/l, azúcares reductores:1,08g/l, grado alcohólico (°GL):7,0, pH:3,4 y una acidez total (como ac. acético):0,55 g/l.

En la etapa de fermentación acética se siguió con las condiciones de la etapa anterior ya que es un proceso continuo, hasta alcanzar las condiciones óptimas de un vinagre determinado en un tiempo fermentativo que duro alrededor de 23 semanas.

El análisis para el tratamiento M1, dio como resultados: Acidez fija (como ac. acético):0,15 g/100 ml, acidez total (como ac. acético):6,08 g/100 ml, acidez volátil (como ac. acético):5,93 g/100 ml, pH (a 20°C):2,70 y grado alcohólico (°GL a 20°C): 0,9.

- Para determinar el rendimiento se realizó un balance de materia al mejor tratamiento (M1), el cual dio como resultado en 84,93% de rendimiento final de vinagre teniendo una pérdida del 15,07% en el proceso. Se determinó el precio unitario de acuerdo a los costos de materia prima e insumos el valor que se obtuvo fue de 29,90 Bs por litro de vinagre de arándano.
- Se realizó un análisis sensorial para el vinagre de arándano, evaluando los parámetros de color, olor, sabor y calidad global, en el cual se determinó que el tratamiento M1 tuvo mayor aceptabilidad por los jueces calificadores, teniendo una puntuación más alta.

Con los resultados obtenidos del análisis sensorial se realizó un estudio estadístico de comparación de medias, en el cual se confirma que el tratamiento M1 tiene la mayor significancia en los parámetros evaluados.

- Dentro de la normativa NB/ISO 0100 de los requisitos necesarios para un vinagre, el vinagre de arándano elaborado cumple con las especificaciones técnicas tanto fisicoquímicas como organolépticas, siendo un producto apto para el consumo humano.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que durante el proceso de producción del vinagre es imprescindible llevar un control diario sobre los cambios que se van dando tanto en la fermentación alcohólica como en la fermentación acética, ya que de un momento a otro se pueden producir transformaciones que podrían ocasionar un daño irreparable en las características del producto final.

Para poder obtener los mejores resultados tanto organolépticos como fisicoquímicos en el producto final, se debe realizar el proceso de manera natural, usando los insumos necesarios como ser levaduras, nutrientes, bacterias acéticas de muy buena calidad y acidez adecuada.

Para posteriores estudios se recomienda seguir con la línea de investigación para obtener vinagre de arándano de otras familias de este fruto.

Se recomienda hacer un estudio de pre factibilidad para determinar la cantidad de arándano que no es aprovechado en el departamento de Tarija.

Se recomienda aprovechar la fruta de arándano cuando sea temporada alta de producción para disminuir los costos de inversión.

Para futuros proyectos se recomienda el diseño de fermentadores controlados que puedan mejorar las condiciones de fermentación y de esta manera reduciendo el tiempo de acidificación y garantizando la calidad del producto.